

# ВІСНИК СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 4 рази на рік.

Серія «Агрономія і біологія»  
Випуск 3 (45), 2021

## ЗМІСТ

<b>Коваленко І. М.</b> , д.б.н., професор, головний редактор, Сумський національний аграрний університет (Україна)	
<b>Власенко В. А.</b> , д.с.-г.н., професор, заступник головного редактора, Сумський національний аграрний університет (Україна)	
<b>Кирильчук К. С.</b> , к.б.н., доцент, відповідальний секретар, Сумський національний аграрний університет (Україна)	
<b>Ліпса Флорин Деніел</b> , к.с.-г.н., доцент, Університет сільського господарства та ветеринарної медицини (Румунія)	
<b>Русу Теодор</b> , д.с.-г.н., професор, Університет сільського господарства та ветеринарної медицини (Румунія)	
<b>Тунгуз Весна</b> , к.с.-г.н., доцент, Університет Східного Сараєво (Боснія і Герцеговина)	
<b>Мен Фаньхуа</b> , к.с.-г.н., головний науковий співробітник, НДІ зернових культур Академії аграрних наук Китаю (КНР)	
<b>Сметанська І. М.</b> , к.с.-г.н., д.інж.наук, професор, Університет прикладних наук Вайнштефан-Трісдорф (Німеччина)	
<b>Кашпар Ян</b> , к.б.н., доцент, Чеський університет природничих наук (Чеська республіка)	
<b>Сопотлієва Десіслава</b> , к.б.н., головний науковий співробітник, Інститут досліджень біорізноманіття та екосистем, Болгарська академія наук (Болгарія)	
<b>Данилик І. М.</b> , д.б.н., ст.н.с., провідний науковий співробітник, Інститут екології Карпат НАН України (Україна)	
<b>Дегтярьов В. В.</b> , д.с.-г.н., професор, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва (Україна)	
<b>Дубина Д. В.</b> , д.б.н., професор, головний науковий співробітник, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (Україна)	
<b>Жатова Г. О.</b> , к.с.-г.н., професор, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна	
<b>Захарченко Е. А.</b> , к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)	
<b>Злобін Ю. А.</b> , д.б.н., професор, Почесний професор кафедри екології та ботаніки Сумського національного аграрного університету, (Україна)	
<b>Клименко Г. О.</b> , к.б.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)	
<b>Куземко А. А.</b> , д.б.н., професор, ст.н.с., Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, відділ геоботаніки і екології (Україна)	
<b>Лихолат О. А.</b> , д.б.н., ст.н.с., професор, Університет митної справи та фінансів (Україна)	
<b>Мельник А. В.</b> , д.с.-г.н., професор, Сумський національний аграрний університет (Україна)	
<b>Бакалова А. В., Грицюк Н. В., Титаренко В. Є.</b> Модернізація обприскувача ОП-2000 для захисту насаджень смородини чорної проти сисних шкідників.....	3
<b>Бакуменко О. М., Власенко В. А., Осьмачко О. М., Бурудланюк А. О., Татарінова В. І., Деменко В. М., Ємець О. М., Сахошко М. М., Башлай А. Г., Півторайко В. В.</b> Характеристика адаптивних ознак у міжсортних гібридів пшениці м'якої озимої в умовах північно-східного Ліссостепу.....	10
<b>Верещагін І. В., Кандиба Н. М., Шашко М. Р., Недогібченко А. С.</b> Насіння льону ( <i>Linum usitatissimum</i> L.) як цінний кормовий ресурс.....	18
<b>Кабанець В. М., Оничко В. І., Музика Л. П., Бердін С. І.</b> Сортова реакція на формування насінневої продуктивності картоплі при обробці посівів регуляторами росту.....	27
<b>Подгаєцький А. А., Шаповал Р. М., Кравченко Н. В.</b> Енергія проростання та польова схожість насіння картоплі від схрещування та самозапилення.....	38
<b>Скляр В. Г., Тихонова О. М., Кирильчук К. С., Клименко Г. О., Онопрієнко В. П., Бондарєва Л. М., Троцька С. С., Клименко Ю. О.</b> Вивчення фіторізноманіття долини річки Сироватка з перспективою використання її природних комплексів в екологічному туризмі.....	45
<b>Cao Zhishan, Cao Jinjun, Zhu Hongxia, Vlasenko Volodymyr</b> Molecular identification of a short-type peptidoglycan recognition protein, GmPGRP-SC from <i>Grapholitha molesta</i> .....	52
<b>Fu Yuanzhi, Trotsenko Volodymyr</b> Accumulation of heavy metals in sunflower seedlings under the influence of Cadmium stress.....	64
<b>Qiaoyan Chen, Xingqi Ou, Xinhua Li, Wenhui Wei, Kandyba Nataliya</b> Effect of different sowing date, planting density on yield and main agronomic traits in winter wheat variety Bainong 207.....	71
<b>Yan Tengfei, Kremenetska Yevheniia, Wan Shibin, Hu Qiang, He Songlin</b> Study of community structure and distribution of mixed forest near Nanwan Lake.....	78
<b>Zhu Hongxia, Cao Zhishan, Rozhkova Tetiana, Linfeng Hu</b> Study on antifungal activity of hyphae extract of a <i>Streptomyces</i> strain HU2014 against four phytopathogenic fungi.....	87



**Мельничук С. Д.**, д.б.н., професор,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

**Оничко В. І.**, к.с.-г.н., доцент,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

**Подгасцький А. А.**, д.с.-г.н.,  
професор, Сумський національний  
аграрний університет (Україна)

**Скляр В. Г.**, д.б.н., професор,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

**Скляр Ю. Л.**, к.б.н., доцент,  
Сумський національний аграрний  
університет, м. Суми, (Україна)

**Троценко В. І.**, д.с.-г.н., професор,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

**Федорчук М. І.**, д.с.-г.н., професор,  
Миколаївський національний аграрний  
університет, м. Миколаїв (Україна)

**Хаблак С. Г.**, д.б.н., доцент, AGR  
group (Україна)

**Харченко О. В.**, д.с.-г.н., професор,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

**Ярощук Р. А.**, к.с.-г.н., доцент,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

Науковий журнал  
«Вісник Сумського національного  
аграрного університету.  
Серія: Агрономія і біологія»  
визнано фаховим виданням  
Категорії «Б» у галузі біологічних наук,  
природничих наук та аграрних наук  
і продовольства  
(наказ МОН України  
від 24.09.2020 р. № 1188)

Науковий журнал «Вісник  
Сумського національного аграрного  
університету» індексується в  
Міжнародних наукометричних базах  
Index Copernicus, PИHЦ

Матеріали журналу знаходяться  
у вільному доступі на сайті  
<https://snaubulletin.com.ua/index.php/ab>

Усі статті проходять процедуру  
таємного рецензування. До  
публікації в журналі не допускаються  
матеріали, якщо є достатньо підстав  
вважати, що вони є плагіатом.  
Відповідальність за точність  
наведених даних і цитат  
покладається на авторів.

Матеріали друкуються українською  
та англійською мовами.

У разі цитування посилання на  
«Вісник Сумського національного  
аграрного університету» обов'язкове

Друкується згідно з рішенням  
вченої ради  
Сумського національного  
аграрного університету  
(Протокол № 2 від 24.09.2021 р.)

Видавництво і друкарня –  
Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса,  
вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (048) 709 38 69,  
+38 (095) 934-48-28,  
+38 (097) 723-06-08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої  
справи ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

Тираж 300 пр.  
Зам. № 0122/023

© Сумський національний  
аграрний університет, 2021

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБПРИСКУВАЧА ОП-2000 ДЛЯ ЗАХИСТУ НАСАДЖЕНЬ СМОРОДИНИ ЧОРНОЇ ПРОТИ СИСНИХ ШКІДНИКІВ

**Бакалова Алла Володимирівна**

кандидат сільськогосподарських культур, доцент  
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна  
ORCID: 0000-0002-6803-6304  
bakalova1970@ukr.net

**Грицюк Наталя Вікторівна**

кандидат сільськогосподарських культур, доцент  
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна  
ORCID: 0000-0002-4185-7495  
ngritsyuk78@gmail.com

**Титаренко Володимир Євгенійович**

Кандидат технічних наук, доцент  
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна  
ORCID: 0000-0002-4518-1808  
Voldtit@gmail.com

*Завдяки смаковим, дієтичним, вітамінним і поживчим якостям смородина чорна є досить поширена у багатьох господарствах та на присадибних ділянках. Але на жаль, як і багато інших культур, схильна до ураження хворобами і пошкодження шкідниками, особливо з колючо-сисним ротовим апаратом. Тому, технологія захисту смородини чорної наразі є актуальним питанням.*

*У статті запропоновано використання модернізованого обприскувача ОП–2000 з оновленими особливостями конструктивного спеціального рухомого складу, для кращої ефективності обприскування кущів смородини чорної.*

*Нашими дослідженнями доведено, що щільність сисних фітофагів зменшилася при обприскуванні модернізованим, оновленим ОП-2000. Відповідно зменшився коефіцієнт заселеності великої смородинової попелиці на 0,34, червоносмородинової галової попелиці на – 0,36, смородинового брунькового кліща на – 0,29 та звичайного павутинного кліща на – 0,23 одиниці, порівняно з використанням штангового обприскувача ОП–2000.*

*Встановлено, що зменшення чисельності сисних шкідників на рослинах смородини чорної позитивно вплинуло на формування ягід, та збільшення маси 1000 ягід, маси ягід з куща, що підвищило урожайність на 2,9 т/га порівняно з контрольним варіантом і на 0,6 т/га порівняно з варіантом, де застосовували штанговий обприскувач. Використання пристрою спеціального рухомого складу для модернізації обприскувача ОП–2000 забезпечило підвищення економічної ефективності. Так, чистий прибуток при застосуванні обприскувачів ОП–2000 становив 63459–69587 грн./га, рентабельність 350–362 %. При використанні модернізованого обприскувача чистий прибуток збільшився на 6128 гривень з гектара, рентабельність врожаю – на 12 % порівняно з використанням штангового обприскувача.*

*Дані досліджень, щодо створення спеціального рухомого складу (СРС) проводилося вперше і можуть мати продовження при подальшому вдосконаленні конструкції для системи захисту ягідних культур від шкідників.*

***Ключові слова:** смородина чорна, сисні фітофаги, вдосконалений обприскувач, показники продуктивності, спеціалізований рухомий склад.*

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.1>

**Вступ.** У технологіях захисту від шкідливої біоти, механізація, так як і будь-який інший технологічний процес, відіграє важливу роль у підвищенні продуктивності праці та якості і кількості ягідної продукції у тому числі чорної смородини (Zaika, 2002; Voitiuk et al., 2005; Hoffmann et al., 2019). Наразі в Україні смородина чорна є однією з поширених провідних культур не тільки на присадибних ділянках, а й у господарствах усіх форм власності. Ягоди смородини не тільки смачні, а й корисні, в їх склад входять вітаміни А, Е, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, пектини, аскорбінова кислота, яка не втрачає своїх властивостей навіть при термічній обробці. (Morosko-Bicevska et al., 2021; Bakalova et al., 2019).

Проблемою у технологіях вирощування ягід чорної смородини є недобір врожаю (30–40 %) від сисних фітофагів (Stepanova, 2018; Chrzanowski, et al., 2012). Тому, ефективні методи захисту рослин смородинових агроценозів від шкідників – актуальне завдання сьогодення. Для забезпечення високоякісного врожаю, в Україні при вирощуванні сільськогосподарських культур, у тому числі ягідних, пріоритетною ланкою інтегрованої системи захисту рослин є застосування пестицидів. (Makova et al., 2020; El-Sayed et al., 2016). Суттєві негативні чинники, що безпосередньо впливають на урожай сільськогосподарських культур – це шкідники (Khomenko & Slon, 2014). Механізоване обприскування у виробничих промислових

насаджень смородини чорної є одним з дієвіших заходів захисту від шкідливих організмів. (Bondarenko, 2017; Li et al., 2019). Отримання високих стабільних врожаїв насаджень чорної смородини проти групи сисних фітофагів, залежить насамперед, від вчасного та якісного застосування інсектицидів. (Berk et al., 2019; Pedersen, 1998). Обробка хімічними засоби захисту проти шкідливих організмів вимагають наявності вискоефективної техніки (Sanchez-Hermosilla et al., 2021; Bakalova, 2020). На початкових стадіях біологічного розвитку фітофагів проведення профілактичних заходів захисту дає можливість зменшити їх чисельність з меншими нормами витрати препаратів (Broring et al., 2019; Suchkova et al., 2015). Сисні фітофаги завдають значної шкоди всім ягідним культурам, в тому числі і насаджень смородини чорної (Berk et al., 2019; Vityaz et al., 2015).

Дослідження науковців показують, що у господарствах різних форм власності в технологіях захисту рослин в більшості використовуються стандартні обприскувачі типу ОП–2000, ОПШ–3,5-24 (Україна) та ін., ці обприскувачі, порівняно, є малоефективними у системах захисту смородини від сисних шкідників (Pysarenko et al., 2017; Melnyk et al., 2013). На думку багатьох вчених, для недопущення масових спалахів сисних шкідників необхідно проводити моніторинг фітосанітарного стану насаджень смородини чорної (Duvnjak et al., 2004; Drozda & Kocherha, 2012). За статистичними даними багатьох вчених сисні комахи під час свого живлення знаходяться під листками (Pinchuk, & Kovalenko, 2021; Chebotok, 2019). При використанні стандартних обприскувачів нижні і середні яруси габітусу куща залишаються в зоні недосяжності хімічних речовин. Щоб вирішити цю проблематику обприскування було удосконалено штанговий обприскувач типу ОП–2000, з подальшою розробкою, на його базі, спеціалізованого рухомого складу. Для цього була забезпечена можливість бокового розпилування робочої рідини з регулюванням її дисперсності для забезпечення оптимальних зон обприскування. Бокове розпилування малодисперсних фракцій забезпечує утворення «легкого туману», що стійко покриває верхні нижні та середні зони куща з об'ємним ефектом епідермісу кожного листка.

Метою роботи є розробка та визначення ефективності застосування спеціалізованого рухомого складу в системі заходів захисту смородини чорної від сисних шкідників в агроєкологічних умовах Полісся України. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання: визначення оптимальних зон розпилування інсектицидів на кущах смородини чорної для подальшої модернізації обприскувача ОП–2000; розробка спеціалізованого рухомого складу з модернізованим обприскувачем ОП–2000 для забезпечення ефективного захисту насаджень смородини від сисних фітофагів; дослідження ефективності застосування розробленого рухомого складу з модернізованим обприскувачем.

**Матеріали і методи досліджень.** Польові дослідження проводили в 2019–2021 рр. у СФГ «Надія» Черняхівського району Житомирської області та у лабораторії кафедри захисту рослин Поліського національного університету.

Ефективність пестицидів вивчали за способу обприскування рослин смородини чорної проти сисних фітофагів. Дослідження проводили на сорті Вернісаж, рослини 6-річного віку, з норма витрати робочої рідини 1000 л/га. Робочий розчин при цьому готували перед застосуванням. Моніторинг насаджень чорної смородини та облік чисельності сисними фітофагами, проводили згідно загальноприйнятих у ентомології методик. Для визначення чисельності рослин сисними шкідниками використовували висічку (площею 3,14 см<sup>2</sup>) з облікових листків. В межах такої висічки за допомогою лупи підраховували кількість комах.

Обліки починають за появи перших листків і продовжують впродовж всієї вегетації рослин. Окомірним методом обліковували брунькового смородинового кліща за кількістю пошкоджених бруньок на кущ. Для визначення процента заселених бруньок на п'яти гілках кожного куща підраховували загальну кількість до кількості заселених кліщем бруньок.

Середню щільність фітофагів (екз./см<sup>2</sup>) визначали за формулою 1:

$$\chi = \frac{\sum x_i}{S \times n}, \quad (1)$$

де:  $\Sigma x_i$  – сумарна чисельність нарахованих особин фітофагів з усіх облікових листків, екз;  
S – площа облікової висічки, см<sup>2</sup>;  
n – кількість облікових листків, шт.

Площу висічки (S), зробленої за допомогою трубки, розраховували за формулою 2:

$$\pi R^2 = 3,14 \times R^2, \quad (2)$$

де: R – внутрішній радіус трубки для висікання.

Обстеження заселеності рослин чорної смородини звичайним павутинним кліщем проводили з IV етапу органогенезу (початок реактивації зимуючих самиць) та періодично впродовж вегетаційного сезону.

Заселеність рослин шкідниками (%) визначали за формулою 3:

$$P = \frac{100 \times n}{N}, \quad (3)$$

де: n – кількість заселених рослин, шт.;  
N – загальна кількість рослин в обліку, шт.

Економічна ефективність залежить від розміру приросту врожаю та витрат на обробку культури хімічними речовинами. Основними показниками, що характеризують економічну ефективність застосування пестицидів, є собівартість одиниці продукції, чистий прибуток і рівень рентабельності. Економічну ефективність підраховували методом співвідношення вартості отриманої додаткової продукції до всіх витрат на проведення заходів захисту і збирання ягід.

**Результати.** Системний підхід до сільськогосподарської техніки вимагає постійного відновлення та удосконалення для ефективного функціонування конструкцій агрегатів. Відновлення забезпечується високим рівнем показників ремонтпридатності конструкцій, а удосконалення можливо забезпечити шляхом їх переоснащення



на основі використання модульного принципу заміни агрегатів.

В нашому випадку система захисту насаджень смородини чорної була покращена через удосконалення серійної моделі оприскувача ОП-2000 та створено спеціалізований рухомий склад (СРС) з його використанням. Спеціалізований рухомий склад включає силову тягову установку трактор марки МТЗ-82 (Білорусь), з'єднувальний пристрій, що забезпечує маневреність і гнучкість системи, та модернізований оприскувач ОП-2000. Запропонована модернізація забезпечує більшу повноту обробки хімічним розчином ягідних кущів смородини чорної. До переваг, що забезпечуються модернізованою конструкцією, слід віднести рівномірність нанесення розчину препарату на всю поверхню листя куща смородини за рахунок мікродисперсного розпилювання.

Удосконалення конструкції оприскувача має наступні особливості:

1. Встановлені форсунки нової конструкції, що забезпечують туманоподібний ефект розпилювання розчину препарату. Форсунки закріплені на дугоподібних кронштейнах. Дугоподібні кронштейни встановлені з двох боків оприскувача, що забезпечує можливість одночасної односторонньої обробки двох суміжних рядів насаджень або, іншими словами, одного міжряддя.

2. Проведення оптимізації зон розпилювання розчину препарату досягнуто за рахунок моделювання геометрії дугоподібних кронштейнів та кута нахилу форсунок. Вихідними параметрами для моделювання розмірів конструктивних елементів модернізованої агрегатної установки були прийняті: відстань між рядами кущів – 3000 мм; ширина агрегатної установки з модернізованим оприскувачем – 1500 мм; параметри куща смородини чорної: висота – 1200 мм, розлогість – 1200 мм.

3. Моделювання конструкцій дуг и кронштейнів (довжина 1250 мм визначена конструктивно, виходячи з середніх розмірів куща смородини чорної.)

При русі спеціалізованого агрегату в процесі обприскування насаджень смородини чорної забезпечується:

1. Кожна форсунка на дугоподібних кронштейнах виконує оптимальну обробку відповідної зони куща (верхню, середню та нижню з найбільшою заселеністю шкідників).

2. Ефект перекриття зон обприскування за рахунок геометричних особливостей установки форсунок, що визначає точку сходження потоків з певним наближенням в інтервалі 200–250 мм за середину куща.

Виходячи з таких міркувань, були визначені геометричні параметри розміщення форсунок за розрахунковою схемою. Відстань від крайніх форсунок до краю куща (а) визначається різницею ширини міжряддя по осі кущів та шириною агрегату. Дана різниця ділиться на два і від отриманого значення віднімається число 600 мм (половина ширини куща). В даному випадку розрахункове значення  $a = 150$  мм.

Для визначення нахилу кута форсунки висоту AD трикутника ABC розраховуємо додаванням параметру перекриття (приймаємо найменше значення – 200 мм) до суми чисел: числа що визначає половину ширини

куща (600 мм) та відстані «а» від форсунки до краю куща (150 мм). За результатом розрахунку 950 мм, використовуючи трикутник ABC, визначаємо кут  $\alpha$  нахилу осі форсунки відносно горизонтальної лінії, що перпендикулярна до осі симетрії спеціалізованого агрегату.

$$A = \arctg \frac{BD}{AD} \quad (4)$$

Прийнявши припущення, що BD наближено дорівнює половині дуги L, отримаємо кут  $\alpha = 33,3^\circ$ .

Для визначення радіуса дуги (R) кронштейнів використовуємо розміри сторін AB і AC, які рівні між собою, дорівнюють радіусу та складають 1137 мм (трикутник ABC).

Забезпечення обробки одного міжряддя кущів смородини за один прохід агрегату відбувається за рахунок змодельованого геометричного розміщення форсунок бокових розпилювачів, що створює дрібнодисперсне туманоподібне середовище (рис. 1). Обробка певної площі насаджень здійснюється за схемою, приведеною на рис. 2.

Оптимальність хімічної обробки забезпечується наступними параметрами та режимами:

1. Швидкість руху (1,2–1,4 км/год.) самохідного агрегату розрахована з умови забезпечення норми обприскування, яка дорівнює 800 л/га.

2. Діаметр отвору щільного розпилювача (3,0 мм) та тиск в комунікаційній системі (0,3–0,4 кгс/см<sup>2</sup>) розраховані з умови забезпечення мікродисперсного розпилювання розчину препарату.

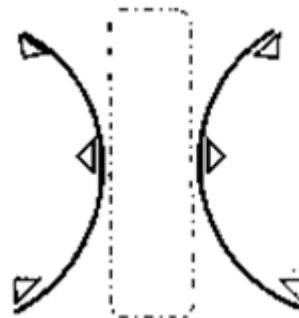


Рис. 1. Схема розміщення бокових розпилювачів на оприскувачі

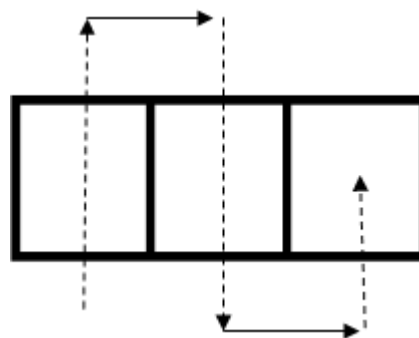


Рис. 2. Схема руху агрегату

Важливим моментом обприскування є забезпечення узгодженості наступних параметрів технологічного процесу хімічної обробки:

- інтенсивність розпилювання;
- швидкість руху самохідного агрегату.

Практика підтвердила, що оптимальність хімічної обробки насаджень смородини чорної забезпечується швидкістю руху самохідного агрегату, яка знаходиться в інтервалі 1,2–1,4 км/год. (4–4,6 м/сек) та інтенсивністю розпилювання при тиску 0,3–0,4 кгс./см<sup>2</sup>, в узгодженні з нормою витрати робочої рідини 800 л/га.

Моніторинг заселеності сисних фітофагів проводили на основних етапах органогенезу смородини чорної (VI, VIII, X етапи) у виробничих умовах СФГ «Надія» Житомирської області. Порівняння ефективності обприскування виконували для штангового та модернізованого обприскувача (табл. 1).

Значення сумарного коефіцієнта заселеності  $\Sigma K_z$  змінюється від 0,56 до 2,68 залежно від варіантів дослідження захисту рослин смородини чорної від сисних шкідників. Зменшення щільності шкідників за сумарним коефіцієнтом заселеності ( $\Sigma K_z$ ) складає 2,2 рази при використанні штангового обприскувача ОП–2000. Застосування модернізованого обприскувача ОП–2000 зменшило чисельність великої смородинової попелиці на 15,3 коло-

ній з куща; червоно смородинової галової попелиці – на 15,8 колоній з куща; смородинового брунькового кліща – на 22,6 бруньок на кущ; звичайного павутинного кліща – на 32,3 екземплярів на кущ, порівняно з контрольним варіантом.

Дослідження вирішують певною мірою актуальну проблему зменшення втрат урожайності від сисних шкідників та можуть бути використані в умовах Полісся України. Зменшення чисельності сисних фітофагів та стимуляція росту і розвитку рослин позитивно впливає на показники структури врожаю ягід смородини чорної (рис. 3).

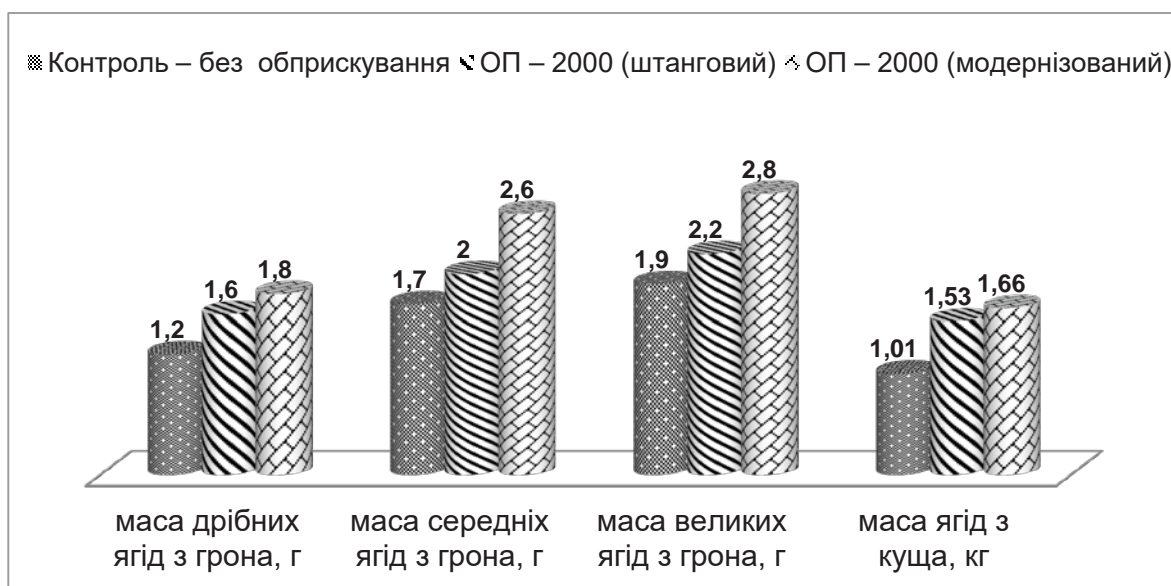
За результатами наших досліджень, при застосуванні різних обприскувачів, маса ягід з грона смородини чорної варіювала від 1,2 до 2,8 г. Мінімальні величини маси ягід змінювалися в інтервалі 1,2–1,8 г спостерігали у варіанті без обприскування. Ягоди розміром 1,6–2,2 г збирали при використанні штангового обприскувача. При застосуванні модернізованого обприскувача ОП – 2000 збільшилася маса ягід з грона по всіх фракціях, також збільшилася маса 1000 ягід – на 81 г та маса ягід з куща на 0,652 кг, порівняно з контрольним варіантом (без обприскування).

Таблиця 1

**Заселеність сисними фітофагами смородини чорної залежно від застосування обприскувачів ОП–2000 (2019–2021 рр.)**

Варіанти	Щільність шкідників								$\Sigma K_z$
	ВСП*		ГП*		БК*		ЗПК*		
	колон./кущ	Кз	колон./кущ	Кз	брун./кущ	Кз	екз./кущ	Кз	
Контроль – без обприскування	18,2	0,66	19,7	0,68	28,3	0,65	38	0,69	2,68
ОП–2000 (штанговий)	12,1	0,44	14,5	0,49	18,7	0,42	24	0,43	1,78
ОП–2000 (модернізований)	2,9	0,10	3,9	0,13	5,7	0,13	5,7	0,20	0,56

Примітка\*: ВСП – велика смородинова попелиця, ГП – галова попелиця, БК – бруньковий кліщ, ЗПК – звичайний павутинний кліщ; Кз – коефіцієнт заселення;  $\Sigma K_z$  – сумарний коефіцієнт заселеності.



**Рис. 3. Структура урожаю ягід при застосуванні різних обприскувачів на смородині чорній (2019–2021 рр.).**

Покращення елементів структури ягід смородини чорної забезпечує значне збільшення урожайності (рис. 4).

Урожайність ягід смородини чорної, при застосуванні модернізованого обприскувача ОП–2000, підвищилася на 0,6 т/га, порівняно з використанням звичайного штангового обприскувача ОП–2000 та на 2,9 т/га, порівняно з контрольним варіантом, де не використовували обприскування. Розрахунки прогнозування урожаю підтверджують достовірність результатів досліджень, оскільки найменша істотна різниця ( $HP_{0,5}$ ) значно менша приривку урожаю.

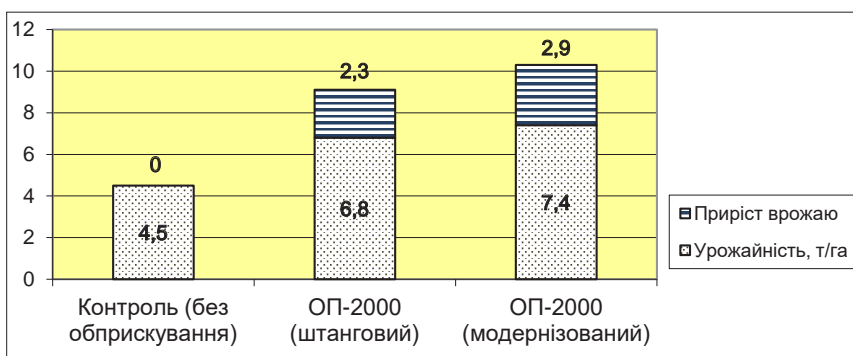
Розрахунки економічної ефективності приведені в таблиці 2.

Використання спеціального рухомого складу у модернізованому обприскувачі ОП–2000 є економічно вигідним прийомом захисту насаджень смородини чорної. При обприскуванні смородини чорної модернізованим обприскувачем вартість врожаю збільшилася на 34800 грн./га, чистий прибуток – на 29618 грн./га, рентабельність – 77 %.

**Обговорення.** Підбираючи тип обприскувачів, потрібно враховувати специфіку морфологічних ознак ягідних культур та біологічні особливості шкідників (Zhidehina et al., 2017; Osokina et al., 2021). Сучасні технологічні способи реалізації захисту сільськогосподарських культур характеризуються низькою ефективністю. У багатьох випадках це пов'язано з недосконалістю конструкцій для їх внесення (Munck et al., 2015). Вченими була вдосконалена технологія управління початковими параметрами цільового максимального нанесення крапель розчинів пестицидів на об'єкти обробки. При

цьому сконструйовані пристрої можуть застосовуватися з широко використовуваними на практиці штанговими обприскувачами і агрегатами для обробки багаторічних насаджень. Створені механізми забезпечують максимальну інжекцію крапель форсунок розпилювачів, що знижує до мінімуму коагуляцію частинок рідини і в значній мірі зберігає їх число, утворене розпилювачем (Kigeev & Koval', 2018; Mitchell et al., 2011; Postolenko, 2016). На жаль, подібних наукових праць з обприскувачами на смородині мало, але є розробки з удосконалення обприскувачів під час обробки соняшнику. У застосовуваних технологічних процесах хімічної обробки посівів соняшнику не в повній мірі враховуються архітектурні особливості рослини, через що знижується якість обприскування у фазі розвитку 2–8 пар листків. Найбільш ефективним вважається новий спосіб нанесення розчину на рослини з урахуванням перерозподілу розчину з міжряддя на оброблювану поверхню. Для цього розроблено технічне рішення, яке дозволяє змішувати потоки робочих розчинів, спрямовані назустріч один до одного, з утворенням нового. Застосування бокового способу розпилювача дозволяє при злитті перетворювати потоки розпилювача від кожної форсунки в новий, більш стабільний потік, що має постійні геометричні параметри з більшою площею покриття у верхівки рослин і незмінної при коливаннях штанги обприскувача ( Borisenko et al., 2020).

**Висновки.** Розраховані геометричні параметри спеціальних кронштейнів для модернізації штангового обприскувача ОП–2000 (для забезпечення оптимальних зон розпилювання робочої рідини). На базі модернізованого обприскувача розроблено спеціалізований рухомий



**Рис. 4.** Господарська ефективність при застосуванні різних оприскувачів на смородині чорній (2019–2021 рр.)

Таблиця 2

**Економічна ефективність застосування модернізованого оприскувача при захисті смородини чорної (2019–2021 рр.)**

№ п/п	Варіант дослідження	Урожайність т/га	Вартість урожаю, грн./га	Всього прямих витрат, грн./га	Чистий прибуток, грн./га	Рентабельність врожаю, %
1	Контроль без обприскувача	4,5	54000	14031	39969	285
2	ОП –2000 (штанговий)	6,8	81600	18141	63459	350
3	ОП–2000 (модернізований)	7,4	88800	19213	69587	362

склад для ефективного обприскування чорної смородини в системі захисту від сисних фітофагів (велика смородинова попелиця, галова попелиця, бруньковий кліщ, звичайний павутинний кліщ). Дослідження ефективності застосування розробленого спеціалізованого рухомого

складу показали наступні основні результати: зменшення чисельності фітофагів у 3,9 рази порівняно з варіантом, де застосовували штанговий обприскувач; збільшення приросту урожайності ягід смородини чорної до 2,9 т/га, що збільшує чистий прибуток від 43093 до 67666 грн./га.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Bakalova, A. V., Tkalenko, H. M., Grytsiuk, N. V., Derecha, O. A. & Shchepanivskyi, D. S. (2019). Fenolohichni osoblyvosti rozvytku smorodynovoi vuzkotiloi zlatky v nasadzhenniakh smorodiny chornoj v umovakh Polissia Ukrainy. *Visnyk PDAA*, 3, 65–71. doi: 10.31210/visnyk2019.03/08/ (in Ukrainian).
2. Bakalova, A. V., Grytsiuk, N. V., Stoliar, S. H., & Tkalenko, N. M. (2020). Special aspects of the development of black currant bushes depending on weediness level in the Ukrainian Polissia. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(4), 18–22. doi: 10.15421/2020\_161 (in Ukrainian).
3. Berk, P., Belsak, A., Stajnko, D., Lakota, M., Muskinja, N., Hocevar, M., & Rakun, J. (2019). Intelligent automated system based on a fuzzy logic system for plant protection product control in orchards. *International journal of agricultural and biological engineering*, 12(3), 92–102. doi: 10.25165/j.ijabe.20191203.4476.
4. Bondarenko, T. V. (2017). Innovatsiyni rozvytok yak umova efektyvnoho funktsionuvannia sadivnytskykh pidpryemstv. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Seriya Ekonomichni nauky*, 24(1), 92–96 (in Ukrainian).
5. Borisenko, I. B., Meznikova, M. V., & Ulybina, E. I. (2020) Nauchnye aspekty tekhnicheskoy modernizatsii opryskivatelye dlya himicheskoy zashchity podsolnechnika. *Izvestie Nizhnenovgorodskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 4 (60), 341–348 (in Russian). doi: 10.32786/2071-9485-2020-04-33
6. Broring, J., & von Horsten, D. Nozzle (2019). Combinations and Arrangements for Use of a Tramline Deactivation on Field Sprayers, *Gesunde pflanzen*, 71, 45–49. doi: 10.1007/s10343-019-00449-7.
7. Chebotok, E.M. (2019). Dobrohot – novyyi sort smorodiny chernoj. *Sovremennoe sadovodstvo*, 2, 63–68. doi: 10.24411/2312-6701-2019-10210 (in Russian).
8. Chrzanowski, G., Leszczynski, B., Czerniewicz, P., Sytykiewicz, H., Matok, H., Krzyzanowski, R., & Sempruch, C. (2012). Effect of phenolic acids from black currant, sour cherry and walnut on grain aphid (*Sitobion avenae* F.) development. *Crop protection*, 35, 71–77. doi: 10.1016/j.cropro.2012.01.005.
9. Drozda, V. F., & Kocherha, M. O., (2012). Zakonomirnosti funktsionuvannia ta kontrol chyselnosti kompleksu chlenystonohykh (Arthropoda) v nasadzhenniakh chornoj smorodiny (*Ribes nigrum* L.) za tekhnolohiiamy orhanichnoho sadivnytstva. *Sadivnytstvo*, 65, 144–151 (in Ukrainian).
10. Duvnjak, V., & Banaj, D. (2004). Good professional practice in plant protection and proper use of sprayers. *Actual tasks on agricultural engineering*, 32, 341–346.
11. El-Sayed, A., Revell, J., Jimenez-Perez, A., Harper, A. & Suckling, D. (2016). Identification of a floral-derived kairomone for currant clearwing, *Synanthedon tipuliformis*. *Chemoecology*, 26(5), 187–193. doi: 10.1007/s00049-016-0218-9.
12. Hoffmann, L. L., Roehrig, R., Boller, W., & Forcelini, C. A. (2019). Deposition and coverage of soybean leaf surfaces by sprays applied using different assisted boom sprayer systems. *Engenharia agricola*, 39(2), 198–207. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p198-207/2019.
13. Khomenko, I. I., & Slon, A. S. (2014). Zakhyst chornoj smorodiny (*Ribes nigrum* L.) vid shkidnykiv i khvorob u zoni Lisostepu Ukrainy. *Sadivnytstvo*, 68, 285–289 (in Ukrainian).
14. Kireev, I. M. & Koval', Z. M. (2018). Modernizatsiya i razrabotka novyh obrazcov opryskivatelye. *Agrobiznes*, 3, 25-29 (in Russian).
15. Li, H., He, Y.J., Qin, C.B., Liu, D. Q., & Zhang, K. F. (2019). Ecological analysis on spray performance of multi-rotor unmanned aerial sprayer in soybean field. *Ekoloji*, 28(107), 4573–4579.
16. Makova, N. E., & Bogdanova, O. E. (2020). Statisticheskie svoystva pokazateley rosta i plodonosheniya smorodiny. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 1, 12–17 (in Russian). doi: 10.36718/1819-4036-2020-1-12-17
17. Melnyk, O. V., & Lychenko, I. O. (2013). Pislizbyralnyi zakhyst chornoj smorodiny: Poliskyi dosvid, *Novyny sadivnytstva*, 2, 1–7 (in Ukrainian).
18. Mitchell, C., Brennan, R. M., Cross, J. V., Johnson, S. N. (2011). Arthropod pests of currant and gooseberry crops in the UK: their biology, management and future prospects, *Agricultural and forest entomology*, 13(3), 221–237. doi: 10.1111/j.1461-9563.2010.00513.
19. Morocko-Bicevska, I., Stalazs, A., Lasis, G., Laugale, V., Balke, I., Zulge, N., & Strautina, S. (2021). Cecidophyopsis mites and blackcurrant reversion virus on *Ribes* hosts: Current scientific progress and knowledge gaps. *Annals of applied biology*, 8. doi: 10.1111/aab.12720.
20. Munck, I., Tanguay, P., Wehner, J., & Villani, S.M. (2015). Impact of White Pine Blister Rust on Resistant Cultivated *Ribes* and Neighboring Eastern White Pine in New Hampshire, *Plant disease*, 99(10), 1374–1382. doi: 10.1094/PDIS-12-14-1338-RE.
21. Pedersen, H. L. (1998). Field resistance of black currant cultivars (*Ribes nigrum* L.) to diseases and pests. *Fruit varieties journal*, 52(1), 6–10.
22. Osokina, N., Kostetska, K., Herasymchuk, O., Tkachenko, H., Podpriatov, H., Pusik, L., Falendysh, N., Bobel, I., & Belinska, K. (2021). Development of temperature regime of storage of frozen black currants. *Technology and Equipment of Food Production*, 2, 11(110), 33–40 (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2021.230139



23. Pinchuk, N.V., & Kovalenko, T.M., (2021). Efektyvnist kontroliu chyselnosti brunkovoho smorodynovoho klishcha (*Secidophyopsis ribis* Westw.) u sortovykh ahrofitotsenozakh chornoj smorodiny, Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo, 20, 139–155. doi: 10.37128/2707-5826-2021-11 (in Ukrainian).
24. Postolenko, L. V., (2016). Biologichni osoblyvosti rozvytku smorodiny chornoj zalezho vid vplyvu mulchuvannia gruntu. Visnyk NUVHP. Seriya «Silskohospodarski nauky», 3(75), 121–128 (in Ukrainian).
25. Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., Ponomarenko, S. V., & Shapoval, V. F. (2017). Orhanichne zemlerobstvo dlia pryvatnoho sektora / za red. V.M. Pysarenka. Poltava, 140 (in Ukrainian).
26. Sanchez-Hermosilla, J., Rincon, V. J., Paez, F. C., Perez-Alonso, J., & Callejon-Ferre, A. J. (2021). Valuation of the Effect of Different Hand-Held Sprayer Types on a Greenhouse Pepper Crop, Agriculture-basel, 11(6), 532. doi: 10.3390/agriculture11060532.
27. Suchkova, V. M., & Morhun, O. V. (2015). Ekologichni problemy plodovykh sadiv, Zakhyst i karantyn roslyn, 10, 8–9 (in Ukrainian).
28. Stepanova, N. A. (2018). Zashchita smorodiny chYornoy ot vreditel'ey. Vestnik agrarnoy nauki, 5 (74), 104–108 (in Russian). doi: 10.15217/148484
29. Vityaz, S. N., & Golovina, E. A. (2015). Primenenie ekologicheskikh bezopasnykh sredstv dlya kontrolya chislennosti fitofagov chYornoy smorodiny v usloviyakh Kemerovskoy oblasti, Dostizhenie nauki i tehniki APK, 29, 49–51 (in Russian).
30. Voitiuk, V. M., Baranovskiy, V. M. & Bulhakov, D. H. (2005). Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku. Vyshcha osvita, Kyiv, 464 (in Ukrainian).
31. Zaika, P. M. (2002). Teoriia silskohospodarskykh mashyn: navch. posibnyk // T. 1 : Mashyny dlia zakhystu roslyn vid shkidnykiv i khvorob. OKO, Kharkiv, 272 (in Ukrainian).
32. Zhidchina, T. V., Rodyukova, O. S., & Gureva, I. V. (2017). Vliyanie bio- i abioticheskikh faktorov sredi na produktivnost smorodiny chernoj. Dostizhenie nauki i tehniki APK, 31, 68–71 (in Russian).

**Bakalova A. V.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

**Gritsyuk N. V.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor of Plant Protection Department, Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

**Tytarenko V. Y.**, PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

**Upgrading of OP–2000 sprayer for protection of black currants against sucking pests**

*Due to its taste, dietary, vitamin and consumer qualities, black currant is quite common crop for many farms and backyards. But unfortunately, like many other crops, it is prone to disease and pest damage, especially by pests with a prickly-sucking mouth apparatus. Therefore, the protection technology of black currants is currently a topical issue.*

*The authors of the research propose the use of an upgraded OP–2000 sprayer with the improved features of special structural moving parts, for better efficiency of black currant bushes spraying. It was proved that the density of sucking phytophages decreased when sprayed with modernized, updated OP–2000 sprayer. Accordingly, the population rate of large currant aphid decreased by 0.34, redcurrant head aphid by 0.36, currant bud mite by 0.29 and common spider mite by 0.23 units compared to the use of OP-2000 rod sprayer.*

*Researchers found out that the reduction in the number of sucking pests on blackcurrant plants had a positive effect on the formation of berries, and on an increase in the weight of 1000 berries, as well as on the weight of berries from the bush, which increased yields by 2.9 t/ha compared to the control version and 0.6 t/ha compared to the variant where a rod sprayer was used. The use of the device with special structural moving parts for the modernization of the OP–2000 sprayer provided an increase in economic efficiency. Thus, the net profit when using upgraded OP–2000 sprayer was UAH 63459–69587 /ha, profitability 350–362 %. When using the upgraded sprayer, the net profit increased by UAH 6128 per hectare, the profitability of the harvest – by 12 % compared to the use of a rod sprayer. Research data on the creation of special moving parts (SMP) was conducted for the first time and may be continued with further improved designs of the protection system of berry crops from pests.*

**Key words:** black currant, sucking phytophages, upgraded sprayer, productivity indicators, special structural moving parts.

## ХАРАКТЕРИСТИКА АДАПТИВНИХ ОЗНАК У МІЖСОРТОВИХ ГІБРИДІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ В УМОВАХ-ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

**Бакуменко Ольга Миколаївна**

кандидат сільськогосподарський наук  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1625-7401  
lady.bakumenko88@gmail.com

**Власенко Володимир Анатолійович**

доктор сільськогосподарський наук, професор  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-5535-6747  
vlaskova@ukr.net

**Осьмачко Олена Миколаївна**

кандидат сільськогосподарський наук  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-0591-2650  
lenaosmachko1978@ukr.net

**Бурдуланюк Алла Олександрівна**

кандидат сільськогосподарський наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-9258-7456  
burdalla@ukr.net

**Татарінова Валентина Іванівна**

кандидат сільськогосподарський наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-5008-2276  
tatarinovasnau@gmail.com

**Деменко Віктор Михайлович**

кандидат сільськогосподарський наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-8264-2802  
vicmix64@ukr.net

**Ємець Олександр Михайлович**

кандидат біологічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1228-1439  
yemets\_a@ukr.net

**Сахошко Микола Миколайович**

кандидат сільськогосподарських наук, директор Сумської філії  
Українського інституту експертизи сортів рослин, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-8396-5737  
sumy.dc@gmail.com

**Башлай Аліна Григорівна**

аспірантка  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1133-4025  
bashlay\_alina@ukr.net

**Півторайко Віктор Володимирович**

аспірант  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-0179-8646  
pivtoraiko@gmail.com

*У 2018–2019 році на дослідному полі Сумського національного аграрного університету проведено дослідження щодо формування елементів структури врожаю, стійкості до фітопатогенів та інших адаптивних ознак*

міжсортними гібридами пшениці озимої. Матеріалом досліджень слугували лінії (потомств  $F_4$  та  $F_5$ ), створені міжсортним схрещуванням сортів пшениці озимої різного екологічного та генетичного походження з числа, занесених у різні роки до Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні, зокрема з 1AL/1RS та 1BL/1RS транслокаціями і без інтрогресованих компонентів. За тривалістю вегетаційного періоду від повних сходів до повного колосіння досліджувані зразки розподілились на дві групи – середньоранні та середньостиглі. Вегетаційний період у середньому складає 218 діб для  $F_4$  та 216 – для  $F_5$ . Найнижчий цей показник (214 діб) виявився у гібридів п'ятого покоління, створених за участі сортів, які є носіями 1BL/1RS транслокації. Найдовший період вегетації зафіксований у цих же комбінаціях, проте – четвертого покоління. За рівнем зимостійкості усі групи гібридних комбінацій поступалися сорту-стандарту Подолянка, хоча і мали наближений до нього рівень показника (5,37–5,96 за 9-бальною шкалою). Гібридні потомства у польових умовах характеризувалися порівняно задовільною зимостійкістю. Перезимували на рівні стандарту з оцінкою 6 балів і вище 58,9 % ( $F_4$ ) та 64,3 % ( $F_5$ ) досліджуваних зразків. Спостерігається пряма залежність між: групою стиглості → висотою рослин ( $r = 0,95$ ) → стійкістю до перезимівлі ( $r = 0,87$ ). Отже, чим коротший період вегетації генотипу, тим нижча висота рослин та бал перезимівлі рослин. У наших дослідях коефіцієнт кореляції близький до +1, що свідчить про тісний прямолінійний кореляційний зв'язок (майже функціональний), між групою стиглості → висотою рослин → зимостійкістю. За стійкістю до листових хвороб перевищували стандарт: до бурої іржі – 96,75 % досліджуваних потомств; до борошнистої роси та септоріозу кращими за Подолянку виявилися 77 %.

У досліджуваних генотипів урожайність варіювала від 225 до 891 г/м<sup>2</sup>. Середнє популяційне значення ознаки для  $F_4$  та  $F_5$  складало 640 г/м<sup>2</sup>. Цей показник вказує на адаптивний оптимум урожайності культури, яку представляють новостворені потомства в  $F_4$  та  $F_5$ .

**Ключові слова:** пшениця м'яка озима, врожайність, резистентність, фітопатогени, лінії, пшенично-житні транслокації.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.2>

**Вступ.** Успіх вирощування сільськогосподарської продукції з підвищеною врожайністю залежить від сорту. Саме він, на думку А. А. Жученко (Zhuchenko, 2010), визначає основні вимоги до технологій вирощування рослини: продуктивність, енергоекономічність, екологічну безпечність, якість тощо. Для створення сортів пшениці озимої нового покоління необхідне попереднє вивчення генотипу вихідного матеріалу для підбору батьківських форм за комплексом цінних ознак, які відповідають вимогам сьогодення. Як свідчать результати досліджень ряд вчених вказують, що такі дослідження дають можливість розширювати еколого-географічну мінливість популяцій та визначити джерела цінних ознак для конкретних умови (Zhu et al., 2019; Wulff & Jones, 2020; Xu et al., 2005; Wang et al. 2020; Waqar et al., 2018; Ward et al., 2008).

Успіх створення вихідного матеріалу пшениці озимої з адаптивними властивостями, стійкими до фітопатогенів та підвищеною врожайністю значною мірою залежить від цілеспрямованого пошуку джерел цих ознак. Виявлення та відбір цінних генотипів у селекційній роботі багато в чому залежить від біології відтворення рослин, характеристики успадкування ознак, гібридної генерації, екологічних умов та інших факторів (Osmachko et al., 2020). Для ефективності проведення добору, необхідно виявити генотип за фенотипом, проте це обмежується тим, що більшість економічно цінних ознак є кількісними і залежать від факторів навколишнього середовища (Bakumenko & Vlasenko, 2018).

Селекційна цінність гібридних комбінацій пшениці озимої визначається за результатами раннього тестування (починаючи з  $F_1$ ) і продовжується в наступних поколіннях з подальшим добром та відносно високою точністю виявлення кращих рослин (Bakumenko et al., 2019).

Таким чином, наразі важливим чинником збільшення виробництва зерна та поліпшення його якості є постійне вдосконалення та створення нових сортів рослин, які здатні максимально використовувати біокліматичний

потенціал полів та проявляти резистентні властивості до фітопатогенів. Отже, формування елементів структури врожаю, стійкості до фітопатогенів та адаптивних ознак міжсортними гібридами ( $F_4$  та  $F_5$ ) пшениці озимої не втрачає своєї актуальності та потребує подальших досліджень і доборів, які будуть упроваджені до селекційних установ України та сприятимуть створенню нових – перспективних сортів пшениці озимої.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводили упродовж 2018–2019 вегетаційного року на дослідному полі Сумського національного аграрного університету (СумНАУ), що входить до північно-східної частини Лісостепу України. Ґрунти представлені на 70 % чорноземами типовими малогуmusними, чорноземами типовими вилуженими малогуmusними важкосуглинковими і чорноземами типовими малогуmusними слабозмитими середньосуглинковими. Середній уміст гумусу орних земель складає 4,1 %. Орні землі мають високий уміст фосфору 15,1–15,4 мг на 100 г ґрунту і середній уміст рухомого калію 6,7–8,0 мг на 100 г ґрунту. Кислотність ґрунтового розчину близька до нейтральної – 5,9 рН (Masalitin, 2004). У цілому, можна стверджувати, що ґрунтові умови дослідного поля СумНАУ є типовими для зони, що дозволяє реалізовувати генетично обумовлений потенціал продуктивності сортів пшениці озимої та визначити їх адаптивний потенціал. За попередні роки проведення досліджень на території СумНАУ відмічена нерівномірність опадів та значні коливання температури, порівняно з середніми багаторічними показниками. За період росту і розвитку пшениці м'якої озимої 2018–2019 вегетаційного року погодні умови можна охарактеризувати як помірно теплі з незначними опадами. Середньодобова (середньорічна) температура повітря сягнула 9,6 °С, що на 2,2 °С вище багаторічного показника (7,4 °С). Абсолютний максимум її 35,5 °С відмічений у серпні місяці у першій декаді, мінімум – мінус 20 °С у першій декаді січня. Сума опадів за звітний

2018–2019 сільськогосподарський рік становила 409 мм, що на 184 мм менше багаторічної норми (593 мм). Отже, погодні умови за вегетаційний період пшениці озимої відрізнялися від середньобагаторічних показників як за температурним режимом, так і кількістю атмосферних опадів та їх розподілом за місяцями.

Матеріалом досліджень слугували лінії (потомства  $F_4$  та  $F_5$ ) пшениці м'якої озимої створені міжсортовим схрещуванням сортів пшениці озимої різного генетичного та екологічного походження з числа генотипів, занесених у різні роки до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні: Миронівська ранньостигла, Ремеслівна, Астет, Епоха одеська, Куяльник, Антонівка, Розкішна, Вільшана, Овідій, Поліська 90, Косоч, Василина, Досконала, Подолянка, Царівна та сорти-носії ПЖТ – Смуглянка, Веснянка Золотоколоса, (1AL/1RS) і Миронівська 65, Крижинка, Калинова (1BL/1RS). За їх участі були створені 28 реципронних комбінацій (всього 56).

Польові досліді закладено 20 вересня, що є оптимальними строками для північно-східного Лісостепу України. При дослідженні для порівняння використовували сорт Подолянка (стандарт). Сівбу здійснювали в оптимальні строки ручною сівалкою СР-1 у 3-кратній повторності. Норма висіву потомства склала 5 млн. шт./га. Площа ділянки 1 м<sup>2</sup>, попередник – гречка. Біометричний аналіз проводили за загальноприйнятими у кількісній селекції методами за середнім зразком 25–30 рослин кожного за такими ознаками: довжина кожного міжвузля, висота рослин, продуктивна куцистість, кількість колосків на колосі та довжина колоса, маса 1000 насінин, маса зерна з головного колоса та кількість зерен, маса зерна з рослини. Рослини збирали вручну в фазу повної стиглості зерна. Закладання дослідів, фенологічні спостереження, збирання і облік врожаю проводили згідно з методикою державного випробування сортів рослин на придатність до поширення в Україні (Volkodav, 2003; Rudenko et al., 1977). Морфологічну та господарську характеристику поколінь проводили за допомогою широкого уніфікованого класифікатора роду *Triticum* L. Для оцінки резистентності зразків до борошнистої роси і септоріозу застосовано модифіковану шкалу



Рис. 1. Розподіл потомств  $F_4$  та  $F_5$  за вегетаційним періодом залежно від походження

Саарі і Прескота. Прояв стійкості до бурої іржі визначали за дев'яти бальною інтегрованою шкалою оцінки стійкості зернових колосових культур. Тобто були застосовані загальноприйняті методики, які широко апробовані при проведенні досліджень на генотипах пшениці озимої. Дослідження виконувалися з використанням польових, лабораторних і математично-статистичних методів (Dospěhov, 1985; Vlasenko et al., 2020; Kovalenko et al., 2020). Результати експериментальних даних обробляли статистичними методами за програмою «Microsoft Excel-2010» Windows XP на персональному комп'ютері.

**Результати.** Для визначення до якої групи стиглості відносяться гібридні комбінації було проведено підрахунок продовження вегетаційного періоду від фази «повних сходів» до – «повного колосіння». Для порівняння, за стандарт, використовували середньостиглий сорт Подолянка (St) з вегетаційним періодом 220 днів. При цьому різниця вегетаційного періоду між групами досліджуваних зразків, що вивчалися, за стиглістю складала 4 доби. Вегетаційний період ультраранніх зразків вважали при продовженні до 208 діб, ранніх – 209–212, середньоранніх – 213–216, середньостиглих – 217–220, середньопізніх – 221–224, пізніх – понад 224. За тривалістю вегетаційного періоду від повних сходів до повного колосіння досліджувані зразки розподілились на дві групи – середньоранні та середньостиглі (рис. 1).

У середньому вегетаційний період склав 218 діб для  $F_4$  та 216 – для  $F_5$ . Найнижчий цей показник (214 діб) виявився у гібридів п'ятого покоління, створених за участі сортів носіїв 1BL/1RS транслокації. Найдовший період вегетації зафіксований у цих же комбінаціях, проте – четвертого покоління. Загалом, істотної відмінності між досліджуваними гібридними групами за довжиною вегетаційного періоду не виявлено. Майже всі досліджувані зразки знаходяться на межі між середньоранніми та середньостиглими, що й пояснюється їх переходом у різних поколіннях на ранг вище або ранг нижче.

За рівнем зимостійкості (табл. 1) усі групи гібридних потомств поступалися сорту Подолянка, хоча і мали наближений до стандарту рівень показника (5,37–5,96 за 9-бальною шкалою).

При порівнянні окремих комбінацій зі стандартом виявились кращими за показником перезимівлі (понад 6 балів) потомства: створені за участі сортів з 1AL/1RS транслокацією – Смуглянка / Ремеслівна ( $F_4$ ), Смуглянка / Миронівська ранньостигла ( $F_4$ ), Золотоколоса / Куяльник ( $F_4$ ), Золотоколоса / Вільшана ( $F_4$  та  $F_5$ ), Золотоколоса / Антонівка ( $F_4$  та  $F_5$ ), Антонівка / Золотоколоса ( $F_4$  та  $F_5$ ), Золотоколоса / Косоч ( $F_4$  та  $F_5$ ), Василина / Веснянка ( $F_5$ ). Поліська 90 / Веснянка ( $F_5$ ), Вільшана / Золотоколоса ( $F_5$ ); з обома ПЖТ (1BL/1RS та 1AL/1RS) – Смуглянка / Крижинка ( $F_4$ ), Золотоколоса / Миронівська 65 ( $F_4$ ), Веснянка / Калинова ( $F_5$ ); без участі транслокацій – Розкішна / Ремеслівна ( $F_4$ ), Розкішна / Миронівська ранньостигла ( $F_4$ ), Розкішна / Епоха одеська ( $F_4$ ). Загалом, гібридні комбінації у польових умовах СНАУ характеризувалися порівняно задовільною зимостійкістю. Перезимували на рівні стандарту з оцінкою 6 балів і вище 58,9 % ( $F_4$ ) та 64,3 %



( $F_5$ ) досліджуваних зразків. Дослідженнями встановлено, що спостерігається пряма залежність між: групою стиглості → висотою рослин ( $r = 0,95$ ) → стійкістю до перезимівлі ( $r = 0,87$ ). Тобто, чим коротший період вегетації генотипу, тим нижча висота рослин та бал перезимівлі рослин. У наших дослідках коефіцієнт кореляції близький до + 1, що свідчить про тісний прямолінійний кореляційний зв'язок (майже функціональний), між групою стиглості → висотою рослин → зимостійкістю.

За допомогою оцінки стійкості проти хвороб та урожайності було визначено чинники, що впливали на прояв ознак. Виявлено різну норму реакції у генотипів залежно

від походження (табл. 2). Проведений нами аналіз чотирьох груп гібридних комбінацій показує, що всі вони виявилися кращими за стандарт – на 1,33–1,75 бали для  $F_4$  та 1,22–2,01 бали для  $F_5$ .

Сорт-стандарт Подолянка характеризувався вищесередньою стійкістю до листових хвороб. Перевищували стандарт за стійкістю до бурої іржі 96,75 % досліджуваних потомств: створені за схрещування носіїв 1AL/1RS та 1BL/1RS транслокацій одночасно – 100 %; 1AL/1RS – 100 %; 1BL/1RS – 100 %; без інтрогресованих компонентів – 83 % ( $F_4$ ) та 91 % ( $F_5$ ). За стійкістю до борошністої роси перевищували стандарт 77 %

Таблиця 1

Рівень зимостійкості та висоти рослин  $F_4$  та  $F_5$  залежно від їх походження в умовах північно-східного Лісостепу України (СумНАУ)

Група за походженням	Кількість комбінацій	Кількість зразків пшениці м'якої озимої (шт.) за рівнем зимостійкості				$\bar{x}$ по групі, бал	Висота рослин, см					
		бал 9-8	бал 7-6	бал 5-4	бал 3 і нижче		$\bar{x}$ за групами	кількість зразків за групами, шт		ліміти		
								НК	СР	min	max	
$F_4$												
Подолянка, St						6,0	83,33					
1 AL/1 RS, 1BL/1RS	6	-	3	3	-	5,8	83,16	3	3	75	90	
1 AL/1RS	30	1	20	9	-	5,96	75,33	20	10	55	89	
1BL/1RS	8	-	3	5	-	5,37	76,87	6	2	70	89	
Без транслокацій	12	-	6	5	1	5,41	74,91	9	3	58	95	
$F_5$												
1 AL/1RS, 1BL/1RS	6	-	5	1	-	5,83	77,5	5	1	71	90	
1 AL/1RS	30	-	17	13	-	5,80	76,56	24	6	68	93	
1BL/1RS	8	-	3	5	-	5,25	79,62	3	5	64	92	
Без транслокацій	12	-	8	4	-	5,58	73,66	11	1	63	107	
Примітка: тут і далі:	$\bar{x}$ – середнє арифметичне; min – мінімальне, max – максимальне значення ознаки по досліді; НК – напівкарлик 51–80 см; СР – середньорослий (81–110 см)											

Таблиця 2

Характеристика рослин  $F_4$  та  $F_5$  пшениці м'якої озимої за стійкість до листових хвороб та урожайністю в умовах СумНАУ

Група за походженням	Кількість сортів у групі, шт.	Стійкість проти хвороб, бал				Урожайність, г/м <sup>2</sup>				
		Борошніста роса	Септоріоз	Буро іржа	$\bar{x}$	$\bar{x}$ за групами	ліміти		R	
							min	max		
$F_4$										
Подолянка (St)	-	5	5,5	5,5	5,33	611				
1 AL/1RS, 1BL/1RS	6	6,35	6,79	7,67	6,94	652	384	820	436	
1 AL/1RS	30	6,56	6,50	7,58	6,88	633	433	890	457	
1BL/1RS	8	6,65	6,83	7,77	7,08	606	395	900	505	
Без транслокацій	12	6,59	6,22	7,16	6,66	657	225	891	666	
<b>Хд</b>	56	6,54	6,59	7,55	6,89	637	359	875	516	
$F_5$										
1 AL/1RS, 1BL/1RS	6	6,41	7,34	7,63	7,13	661	459	848	389	
1 AL/1RS	30	6,78	7,30	7,25	7,11	633	432	813	381	
1BL/1RS	8	6,81	7,74	7,46	7,34	615	448	834	386	
Без транслокацій	12	6,23	6,33	7,08	6,55	651	341	844	503	
<b>Хд</b>	56	6,56	7,18	7,36	7,03	640	420	835	415	

Примітка: Хд – середнє у досліді; R – розмах варіювання ознаки

досліджуваних генотипів, з них: створені за схрещування носіїв 1 AL/1RS та 1BL/1RS транслокацій – 33 % ( $F_4$ ) та 50 % ( $F_5$ ); 1AL/1RS – 73 % ( $F_4$ ) та 83 % ( $F_5$ ); 1BL/1RS – 100 %; без інтрогресованих компонентів – 83 % ( $F_4$ ) та 91 % ( $F_5$ ). За стійкістю проти септоріозу кращими за Подолянку виявилися 77 % досліджуваних генотипів  $F_4$  та  $F_5$ : створені за схрещування носіїв 1 AL/1RS та 1BL/1RS транслокацій – 50 % ( $F_4$ ) та 83 % ( $F_5$ ); 1AL/1RS – 87 % ( $F_4$ ) та 97 % ( $F_5$ ); 1BL/1RS – 62 % ( $F_4$ ) та 97 % ( $F_5$ ); без інтрогресованих компонентів – 83 % ( $F_4$ ) та 58 % ( $F_5$ ).

Для сучасної селекції найбільшу значущість мають генотипи з високою стійкістю, або імунні до комплексу хвороб листя. Зазначаємо, що більшість новостворених доборів характеризувалися комплексною стійкістю до хвороб листя та зарекомендували себе краще за стандарт – Подолянку. Також важливим фактом є те, що комбінації створені за участі сортів носіїв ПЖТ виявилися кращі не лише за стандарт, а й за гібриди, які створені без інтрогресованих компонентів. Вірогідно, це зумовлено тим, що носії пшенично-житніх транслокацій володіють підвищеною стійкістю до патогенів рослин і шкідників – переносників ряду вірусних хвороб. Гени стійкості в гібридних потомствах з їхньою участю успадковуються завдяки наявності житнього компонента хромосоми 1RS.

У досліджуваних генотипів урожайність варіювала від 225 до 891 г/м<sup>2</sup>. Середнє популяційне значення ознаки для  $F_4$  та  $F_5$  складало 637–640 г/м<sup>2</sup>. Цей показник вказує на адаптивний оптимум урожайності культури, яку представляють новостворені потомства в  $F_4$  та  $F_5$  в умовах північно-східного Лісостепу України. Перевищення його вказує на кращий рівень адаптивності генотипу в умовах досліджень, оскільки більше наближається до більш повної реалізації рівня генетичного потенціалу.

Необхідно відмітити, що за урожайністю кращими за стандарт (611 г/м<sup>2</sup>) виявилися потомства доборів, що створені як за участі сортів носіїв 1AL/1RS транслокації (633 г/м<sup>2</sup>), так і обох ПЖТ (652–661 г/м<sup>2</sup>), а також без інтрогресованих компонентів (651–657 т/га). Лінії, що створені за участі сортів носіїв 1BL/1RS транслокації мали показник урожайності на рівні стандарту – 601–615 г/м<sup>2</sup>. Отримані результати врожайності вказують на те, що селекційний матеріал  $F_4$  та  $F_5$  характеризується доволі високим рівнем потенційної урожайності. Розмах варіювання за урожайністю у середині груп досліджень становив 436–666 т/га для  $F_4$  та 381–505 г/м<sup>2</sup> для  $F_5$ . Найменший його показник спостерігався у потомств, створених за участі сортів-носіїв 1AL/1RS транслокації. Найбільший розмах варіювання досліджуваної ознаки зафіксовано в групі комбінацій, створених без інтрогресованих компонентів.

**Обговорення.** Важливим завданням селекції будь-якої зернової культури є створення сортів, що володіють екологічною пластичністю, високою продуктивністю і якістю зерна, стійкістю до абіотичних і біотичних стресів. Наразі час селекція зернових культур досягла значних успіхів при створенні високопродуктивних сортів. Нові сорти успішно конкурують за врожайністю з традиційними зерновими культурами, такими як пше-

ниця, жито і ячмінь (Gordinskaya et al., 2020; Naymushina & Yaichkin, 2018).

Проте, зазначається, що істотним недоліком високоефективних інтрогресивних ліній є відсутність стабільності врожайності в різних умовах (Motsnyi, 2014). Зазначене, як правило, властиве похідним екологічно віддалених гібридів. Очевидно, що ця модель поширюється на міжвидову гібридизацію, яка певною мірою також є екологічно віддаленою (Motsnyi et al., 2021).

Варто зауважити, що в нашому дослідженні отримані результати вказують на те, що селекційний матеріал  $F_4$  та  $F_5$  характеризується доволі високим рівнем потенційної урожайності та порівняно високою її стабільністю. Водночас, урожайності пшениці вже загрожує глобальна зміна клімату (Porter et al. 2019), тим самим знижуючи частину приросту врожаю отриману від активної роботи селекціонерів (створення інтенсивних сортів) та інших технологічних досягнень (Lobell et al., 2011). Передбачається до середини цього століття підвищення температури до 2,0 °C (Seglar et al., 2019). У більшості південних та центральних частин Європи під час вегетаційного періоду вирощування сільськогосподарських культур, включаючи весну та літо, буде сухіше та тепліше. Це збільшить ризик екстремальних погодних явищ, таких як спека та посуха. Поряд з цим продуктивність сільськогосподарських культур потрібно постійно підвищувати, особливо підвищуючи значимість селекційних досягнень, що має сприяти стабільній урожайності (Miedaner, 2018). Створення та розмноження селекційного матеріалу резистентного до комплексу хвороб та адаптивними властивостями (Li et al., 2020) є надзвичайно важливим серед інших властивостей рослин (наприклад – ефективність використання води, ефективність використання азоту тощо) для досягнення стабільної врожайності (Charman et al., 2012). Тому селекція рослин повинна враховувати як абіотичні (наприклад – спека, посуха, перезволоження, кислотність), так і біотичні стреси (Сессареллі et al., 2010), включаючи, наприклад, комах-шкідників та патогенні мікроорганізми, такі як бактерії, фітоплазми, віруси, гриби, оомицети, та нематоди. Використання стійких або толерантних сортів є дешевим, екологічно чистим та ефективним методом захисту рослин (Juroszek & Tiedemann, 2011). Умови навколишнього середовища можуть впливати на стійкість до хвороб (Duveiller et al., 2007), внаслідок чого рослина-господар може бути ослаблена, а патоген може бути зміцнений та впливати на функцію певного гена стійкості. Наприклад, стійкість до захворювання може залежати від температури та інтенсивності світла (Chakraborty, 2013). Крім того, недостатня кількість вологи, посуха також має вплив на резистентність сорту (Bidzinski et al., 2016).

Щодо кількісної резистентності виявлено, що стійкість генотипів може сильно варіювати через вплив специфічних умов середовища вирощування культури. Отже, екологічна стабільність, адаптивність і резистентність мають вирішальне значення при створенні сорту та формуванні ним стабільних і додатково вказує на актуальність та необхідність проведення селекційних досліджень міжсортними гібридами ( $F_4$  та  $F_5$ ) пшениці озимої та відбір кращих зразків з підвищеною адап-

тивністю, врожайністю та стійкості до фітопатогенів. У цьому контексті вбачаємо практичну цінність створених нами ліній з груповою стійкістю до хвороб, що також має значне значення для розвитку адаптивної селекції та формування адаптивних ознак, які забезпечать більш повну реалізацію генетичного потенціалу.

**Висновки.** За результатами дослідження виявлено, що вегетаційний період склав 218 діб для  $F_4$  та 216 – для  $F_5$ . Найнижчий цей показник (214 діб) виявився у потомств п'ятого покоління, створених за участі сортів носіїв 1BL/1RS транслокації. Найдовший період вегетації зафіксований у цих же комбінаціях, проте – четвертого покоління.

Кращий показником перезимівлі (понад 6 балів) характеризувалися потомства: створені за участі сортів з 1AL/1RS транслокацією – Смуглянка / Ремеслівна ( $F_4$ ), Смуглянка / Миронівська ранньостигла ( $F_4$ ), Золотоколоса / Куяльник ( $F_4$ ), Золотоколоса / Вільшана ( $F_4$  та  $F_5$ ), Золотоколоса / Антонівка ( $F_4$  та  $F_5$ ), Антонівка / Золотоколоса ( $F_4$  та  $F_5$ ), Золотоколоса / Косоч ( $F_4$  та  $F_5$ ), Василина / Веснянка ( $F_5$ ), Поліська 90 / Веснянка ( $F_5$ ), Вільшана / Золотоколоса ( $F_5$ ); з обома ПЖТ (1BL/1RS та 1AL/1RS) – Смуглянка / Крижинка ( $F_4$ ), Золотоколоса / Миронівська 65 ( $F_4$ ), Веснянка / Калинова ( $F_5$ ); без участі транслокацій – Розкішна / Ремеслівна ( $F_4$ ), Розкішна / Миронівська ранньостигла ( $F_4$ ), Розкішна / Епоха одеська ( $F_4$ ).

Перевищували стандарт за стійкістю до бурі іржі 96,75 % досліджуваних комбінацій  $F_4$  та  $F_5$  потомства: створені за схрещування носіїв 1AL/1RS та 1BL/1RS

транслокацій – 100 %; 1AL/1RS – 100 %; 1BL/1RS – 100 %; без інтрогресованих компонентів – 83 % ( $F_4$ ) та 91 % ( $F_5$ ). За стійкістю до борошнистої роси перевищували стандарт 77 % досліджуваних генотипів, з них: створені за схрещування носіїв 1 AL/1RS та 1BL/1RS транслокацій – 33 % ( $F_4$ ) та 50 % ( $F_5$ ); 1AL/1RS – 73 % ( $F_4$ ) та 83 % ( $F_5$ ); 1BL/1RS – 100 %; без інтрогресованих компонентів – 83 % ( $F_4$ ) та 91 % ( $F_5$ ). За стійкістю проти септоріозу кращими за Подолянку виявилися 77 % досліджуваних генотипів  $F_4$  та  $F_5$ : створені за схрещування носіїв 1 AL/1RS та 1BL/1RS транслокацій – 50 % ( $F_4$ ) та 83 % ( $F_5$ ); 1AL/1RS – 87 % ( $F_4$ ) та 97 % ( $F_5$ ); 1BL/1RS – 62 % ( $F_4$ ) та 97 % ( $F_5$ ); без інтрогресованих компонентів – 83 % ( $F_4$ ) та 58 % ( $F_5$ ).

Урожайність у досліджуваних генотипів варіювала від 225 до 891 г/м<sup>2</sup>. Середнє популяційне значення ознаки для  $F_4$  та  $F_5$  складало 637–640 г/м<sup>2</sup>. За урожайністю кращими за стандарт (611 т/га) виявилися потомства доборів, що створені як за участі сортів носіїв 1AL/1RS транслокації (633 г/м<sup>2</sup>), так і обох ПЖТ (652–661 г/м<sup>2</sup>), а також без інтрогресованих компонентів (651–657 г/м<sup>2</sup>). Селекційний матеріал  $F_4$  та  $F_5$  характеризується доволі високим рівнем реалізації потенційної урожайності, що передбачає практичну значимість для подальшої роботи.

Дослідження проводяться згідно Державного замовлення «Відбір перспективних ліній пшениці м'якої для створення сортів з груповою стійкістю до хвороб» (номер державної реєстрації теми: 0119U102849) за підтримки Міністерства освіти і науки України.

#### Бібліографічні посилання:

1. Bakumenko, O. M., & Vlasenko, V. A. (2018). Effects of wheat-rye translocations on the combinatorial ability of winter wheat varieties Selection and seed production, 113, 8–17 [Electronic resource]. Access mode: <http://repo.snau.edu.ua/handle/123456789/7122> (in Ukrainian).
2. Bakumenko, O. M., Osmachko, O. M., & Vlasenko, V. A. (2019). Combinative ability of winter wheat cultivars Kryzhynka and Smuhlianka: monograph, Sumy: Mriia, 194 [Electronic resource] Access mode: <http://repo.snau.edu.ua/handle/123456789/7298> (in Ukrainian).
3. Bidzinski, P., Ballini, E., Ducasse, A., Michel, C., Zuluga, P., Genga, A., Chiozzotto, R., & Morel, J.B. (2016). Transcriptional basis of droughtinduced susceptibility to the rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Front Plant Sci*, 7, 1558. doi: 10.3389/fpls.2016.01558.
4. Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H., & Nachit, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *J Agric Sci*, 148, 627–637. doi: 10.1017/S0021859610000651.
5. Ceglar, A., Zampieri, M., Toreti, A., & Dentener, F. (2019). Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. *Earth's Future*, 7, 1088–1101. doi: 10.1029/2019EF001178.
6. Chakraborty, S. (2013). Migrate or evolve: options for plant pathogens under climate change. *Glob Change Biol*, 19, 1985–2000. doi: 10.1111/gcb.12205.
7. Chapman, S. C., Chakraborty, S., Dreccer, M. F., & Howden, S. M. (2012). Plant adaptation to climate change – opportunities and priorities in breeding. *Crop Pasture Sci*, 6, 251–268. doi: 10.1071/CP11303.
8. Dosphehov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyita*, M.: Agropromizdat, 352. (in Russian).
9. Duveiller, E., Singh, R. P., & Nicol, J. M. (2007). The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. *Euphytica*, 157, 417–430. doi: 10.1007/s10681-007-9380-z.
10. Gordinskaya, E.A., Krokhmal, A.V., Grabovets, A.I., Barulina, N.I., & Biryukova, O. V. (2020). Characteristics of the biological potential of winter triticale varieties. *Scientific and production journal "Legumes and cereals"*, 4 (36), 158–164. (in Russian). doi: 10.24412/2309-348X-2021-2-158-164
11. Juroszek, P., & Tiedemann, A. (2011). Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathol*, 60, 100–112. doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02410.x.
12. Kovalenko, I. M., Kandyba, N. M., Rozhkova, T. O., Kryuchko, L. V., Bakumenko, O. M., Kovalenko, V. M., Vereshchagin, I.V., & Danilchenko, O.M. (2020). Laboratory work in agronomy: a textbook, Sumy, 293. [Electronic resource]. Access mode: <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/7677/1/1.pdf> (in Ukrainian).
13. Li, W., Deng, Y., Ning, Y., He, Z., & Wang, G.L. (2020). Exploiting broadspectrum disease resistance in crops: from molecular dissection to breeding. *Annual Rev Plant Biol*, 71, 575–603. doi: 10.1146/annurev-arplant-010720-022215.
14. Lobell, D.B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333, 616–620. doi: 10.1126/science.1204531.
15. Masalitin, P. V. (2004). Ahrokhimichnyi ta ekonomichnyi stan ornykh zemel Sumskoi oblasti. *Naukovo-obgruntovana systema vedennia silskoho hospodarstva Sumskoi oblasti*, Sumy : VAT «SOD», Kozatskyi val, 77–92 (in Ukrainian).



16. Metodyka Derzhavnoho vyprobuvannya sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini: zahalna chastyna. Okhorona prav na sorty roslyn : ofitsiinyi biul. / Hol. red. Volkodav, V. V., (2003). Alefa, Kyiv, 1(3), 106 (in Ukrainian).
17. Miedaner, T. (2018). Wo hat der Anbau seine Grenzen? [Maize – Where are the limits of cultivation? in German], Innovations-Magazin Mais, 3, 22–25.
18. Motsnyi, I.I., Narhan, T.P., Lyfenko, S.Ph. & Yerynyak, N.I. (2014). Involvement of introgression lines for winter bread wheat breeding, Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Biology, 31, 1, 79–90 (in Ukrainian).
19. Motsnyi, I.I., Molodchenkova, O.O., Smertenko, A.P., Mishchenko, L.T., Kryvenko, A.I. & Solomonov, R.V. (2021). Selection evaluation of introgressive lines of soft winter wheat with signs of resistance to phytopathogens. Plant Archives, 21, 486–498. Access mode: <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.076>.
20. Naymushina, A. Yu., & Yaichkin, V. N. (2018). Vliyaniye sorta na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v usloviyakh Orenburgskogo Predural'ya [The influence of the variety on the yield and grain quality of spring wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals]. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University, 3(71), 45–48 (in Russian).
21. Osmachko, O. M., Bakumenko, O. M., & Vlasenko, V. A. (2020). Creation of bread winter wheat initial material of leaf diseases resistance in the conditions north-east Foreststeppe: Monograph, Sumy, 214.
22. Rudenko, M. I., Shitova, I. P., Korneychuk, V. A. (1977). Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mirovoy koleksii pshenitsyi: Izdanie trete, pererabotannoe. L., 28 (in Russian).
23. Vlasenko, V. A., O. M., Osmachko, & O. M., Bakumenko, (2020). Methodical recommendations for the selection of wheat lines with group resistance to diseases that are carriers of wheat-rye translocations. Sumy National Agrarian University, Sumy, 154 (in Ukrainian).
24. Waqar, A., Khattak, S. H., Begum, S., Rehman, T., Shehzad, A., Ajmal, A., et al. (2018). Stripe rust: A 1688 review of the disease, Yr genes and its molecular markers. Sarhad J. Agric., 34, 188–201. doi: 10.17582/journal.sja/2018/34.1.188.201
25. Wang, H., Sun, S., Ge, W., Zhao, L., Hou, B., Wang, K., et al. (2020). Horizontal gene transfer of Fhb7 from fungus underlies Fusarium head blight resistance in wheat. Science 368, eaba5435. doi: 10.1126/science.aba5435
26. Ward, T. J., Clear, R. M., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Gaba, D., Patrick, S., et al. (2008). An adaptive evolutionary shift in Fusarium head blight pathogen populations is driving the rapid spread of more toxigenic Fusarium graminearum in North America. Fungal Genet. Biol., 45, 473–484. doi: 10.1016/j.fgb.2007.10.003].
27. Wulff, B. B. H., & Jones, J. D. G. (2020). Breeding a fungal gene into wheat. Science, 368, 822–823. doi: 10.1126/science.311.5769.1843b
28. Xu, X., Bai, G., Carver, B. F., Shaner, G. E., & Hunger, R. M. (2005). Molecular characterization of slow leaf-rusting resistance in wheat. Crop Sci. 45, 758–765. doi: 10.2135/cropsci2005.0758
29. Zhu, Z., Hao, Y., Mergoum, M., Bai, G., Humphreys, G., Cloutier, S., et al. (2019). Breeding wheat for resistance to Fusarium head blight in the Global North: China, USA, and Canada. Crop J., 7, 730–738. doi: 10.1016/j.cj.2019.06.003
30. Zhuchenko, A. A. (2010). Adaptive strategy for the development of agriculture in Russia in the XXI century (ecological and genetic foundations). Theory and Practice, Agrorus, Moscow, 1053. (in Russian).

**Bakumenko O. M.**, PhD (Agricultural Sciences), Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Vlasenko V. A.**, Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Osmachko O. M.**, PhD (Agricultural Sciences), Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Burdulaniuk A. O.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Tatarynova V. I.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Demenko V. M.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Yemets O. M.**, PhD (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Sakhoshko M. M.**, PhD (Agricultural Sciences), Director of the Sumy branch of the Ukrainian Institute of Plant Variety Examination, Sumy, Ukraine

**Bashlai A. H.**, PhD Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Pivtoraiko V. V.**, PhD Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Characteristic of adaptive traits in intervariety hybrids of bread winter wheat in conditions of north-eastern forest steppe**

In 2018–2019, the research field of Sumy National Agrarian University conducted a study on the formation of elements of crop structure, resistance to phytopathogens and others adaptive traits of interspecific hybrids of winter wheat. The research material was lines (offspring  $F_4$  and  $F_5$ ), created by inter-varietal crossing of winter wheat varieties of different ecological and genetic origin from the number entered in different years in the State Register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine, in particular with 1AL/1RS and 1BL/1RS translocations and without introgressed components. According to the duration of the vegetation period from full germination to full earing, the studied samples were divided into two groups – medium-early and medium-ripe. The growing season averaged 218 days for  $F_4$  and 216 for  $F_5$ . The lowest rate (214 days) was found in fifth-generation hybrids created with varieties that are carriers of 1BL/1RS translocation. The longest growing season is recorded in the same combinations, however - the fourth generation. In terms of winter hardiness, all groups of hybrid combinations were inferior to the Podolyanka standard variety, although they had a level close to it (5.37–5.96 on a 9-point scale). Hybrid offspring's in the field were characterized by relatively satisfactory winter hardiness. Overwintered at the standard level with a score of 6 points and above 58.9 % ( $F_4$ ) and 64.3 % ( $F_5$ ) of the tested samples. There is a direct relationship between: maturity group → plant height ( $r = 0.95$ ) → resistance to overwintering ( $r = 0.87$ ). That is, the shorter the growing season of the genotype, the lower the height of plants and the score of overwintering plants. In our experiments,



*the correlation coefficient is close to + 1, which indicates a close rectilinear correlation (almost functional) between the group of maturity → plant height → winter hardiness. Resistance to leaf diseases exceeded the standard: to brown rust – 96.75 % of the studied offspring; before powdery mildew and septoria 77% were better than Podolyanka.*

*In the studied genotypes, the yield varied from 225 to 891 g/m<sup>2</sup>. The average population value of the trait for F<sub>4</sub> and F<sub>5</sub> was 640 g/m<sup>2</sup>. This indicator indicates the adaptive optimum of crop yield, which is represented by newly created offspring in F<sub>4</sub> and F<sub>5</sub>.*

**Key words:** *bread winter wheat, yield, resistance, phytopathogens, lines, wheat-rye translocations.*

НАСІННЯ ЛЬОНУ (*LINUM USITATISSIMUM L.*) ЯК ЦІННИЙ ХАРЧОВИЙ РЕСУРС**Верещагін Ігор Володимирович**кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-6589-5138  
ihor\_vereschahin1986@ukr.net**Кандиба Наталія Миколаївна**кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-6548-3670  
natnik08@meta.ua**Сташко Максим Русланович**студент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
stashkomax@gmail.com**Недогібченко Анастасія Сергіївна**студентка  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
anastasia.peregudova@gmail.com

У статті наводяться результати аналізу літературних джерел, що стосуються досліджень морфології, анатомії, хімічного складу насіння льону (*Linum usitatissimum L.*), а також промислового та медичного використання лляної олії. Ця культура з давніх часів відома людству як прядивна, оскільки слугувала як джерело волокна для виготовлення одягу та технічних тканин. Перелік тканинної продукції надзвичайно різноманітний: груба пакувальна тканина, мішкови́на, брезент, шпагат, тонкі постільні тканини, тканини для декору, рушників та одягу, а також тонкий батист. Насіння використовували як поживний корм для тварин та посівний матеріал. Але на сьогоднішній день все більше підвищується попит на насіння льону для переробки його на харчові, лікувальні та технічні цілі.

Лляна олія широко використовується у промисловості для виготовлення оліфи, фарб, лаків, ізоляційної стрічки, лінолеуму, у кондитерській та рибоконсервній промисловості. Крім того, насіння льону може виступати в якості лікарського препарату для лікування захворювань кишково-шлункового тракту.

Насінина льону має ряд морфолого-анатомічних особливостей, що обумовлюють біологічні властивості використання даної культури. Величина насінини (маса 1000 шт.) коливається, залежно від сорту та умов вирощування, від 2,1 до 13 г. Ендосперм лляної насінини містить велику кількість жирів та білку. Анатомічна будова та хімічний склад насіння льону визначають його потенціал як харчової та лікарської сировини. Насіння грубого помолу використовується для виготовлення хліба та випічки, що застосовуються у дієтичному харчуванні. Сучасні наукові дослідження показали, що насіння льону надзвичайно багате на поліненасичені жирні кислоти, такі як лінолева ( $\omega$ -3), ліноленова ( $\omega$ -6) та ряд інших. Ці кислоти зустрічаються у багатьох цінних оліях та продуктах тваринного походження; для людського організму вони є незамінними, оскільки ним не синтезуються. Їх вживання позитивно впливає на функціонування як окремих органів, так і терапевтичний стан людського організму в цілому. Так, поліненасичені жирні кислоти покращують еластичність стінок кровоносних судин, зокрема сітківки ока і м'язових волокон серця. Саме тому їх вживання бажане при глаукомі, катаракті, інфаркті міокарду, атеросклерозі, цукровому діабеті. Вживання даних кислот жінками під час вагітності позитивно впливає на розвиток головного мозку у плоду. У світовій практиці використання продуктів з ненасиченими жирними кислотами застосовують для підтримки пацієнтів з раковими захворюваннями та дефіцитом імунітету. Додавання лляної макухи у раціон сільськогосподарських тварин підвищує їх імунітет та поліпшує смакові якості м'яса.

**Ключові слова:** льон, насіння, олія, жирні кислоти, йодне число, кислотне число.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.3>

**Вступ.** Серед сучасних розробок у сфері харчування вагоме місце займає створення нових продуктів з підвищеною харчовою цінністю і функціональною спрямованістю. На сьогодні все більш перспективним джерелом таких продуктів є луб'яні культури. Одним з традиційних видів рослинної сировини є льон (*Linum usitatissimum L.*), який вирощують у вигляді двох культур:

льон-довгунець, що йде на волокно і льон-кудряш – для виробництва олії. У недалекому минулому в кожному селянському господарстві, розташованому у нечорноземній зоні України, із вирощеного льоноволокна ткали полотно, мішковину, виробляли скатерки, рушники, ліжники, ковдри (Didora et al., 2008; Chekhova et al., 2017).

Одержане із стебла льону волокно використовують головним чином для виготовлення тканин, асортимент яких може бути дуже різноманітним: від грубих мішковин і таких, що використовуються при упаковці (із низьких сортів волокна), до тонких батистових (із високих сортів).

Ляне волокно – одне із найбільш міцних. Міцність на розрив тіпаного лляного волокна становить в розрахунку на поперечний розріз 60–100 кг на 1 мм<sup>2</sup>. За міцністю на розрив воно значно перевищує бавовну, джут і вовну. При однаковій товщині нитки міцність лляної пряжі при розриві майже у 2 рази вища, ніж бавовняної і у 3 рази вища за вовну. З підвищенням вологості (до відомої межі) міцність лляної нитки збільшується, у той час як міцність нитки з вовни, натурального шовку і синтетичного волокна навпаки, знижується (Shekhova et al., 2017; Ludvíková & Griga, 2015; Babita et al., 2016).

Ляні тканини відрізняються довготривалим використанням, також вони добре протистоять гниттю і зношуванню. Поряд з цим, вони характеризуються малою кількістю поглинання забруднених речовин і добре відмиваються під час прання. Цінною якістю лляних тканин є гідрофільність, тобто властивість поглинати вологу. Після зволоження ляні тканини дають дуже малу збіжність (Thompson, 2015).

Насіння льону також відоме як джерело рослинних жирів. Ляна олія добре висихає, утворюючи при підсиханні міцну плівку. З цієї причини оліфа (або варена ляна олія) широко застосовується для виготовлення лаків, масляної і друкарської типографської фарби та замазки (Polyakova & Gudoshnik., 2015, Bajbekov et al., 2019, Koval & Skrypka, 2017). В електротехнічній, гумовій, шкіряній, миловареній промисловості та фармакології сира ляна олія використовується для виготовлення такої продукції, як масляні ізолятори, лінолеум, лінкруст, клейонка, непромокаючі тканини, синтетичний каучук, пластмаса, зелене мило, деякі ліки тощо. Ляна олія вживається для приготування деяких страв як продукцію з високою засвоюваністю (94,5 %), а також у харчовій промисловості (консервній, маргариновій і кондитерській) (Shevchenko et al., 2017; Dash et al., 2017; Diederichsen & Fu, 2008; Rubilar et al., 2010).

Для потреб народного господарства використовують майже всю рослину льону-довгунця. З насіння, що містить 35–37 % жиру, одержують олію, з якої виготовляють високоякісну оліфу, лаки тощо. Макуха містить 6–12 % сирого жиру, 34 % протеїну. Вона є цінним кормом для сільськогосподарських тварин: за поживністю 1 кг макухи відповідає до 1,15 кормових одиниць і містить 260 г перетравного протеїну. Цінною для годівлі тварин є також і полова, котра утворюється після обмолоту коробочок та очищення насіння. Вона становить 15 % загального врожаю, 1 кг її дорівнює 0,27 кормових одиниць і містить 20 г перетравного протеїну (Didora & Derebon, 2017, Shevchenko et al., 2017, Zhang et al., 2011, Ćeh et al., 2020, Bunga & Patlolla, 2020).

Постановка проблеми. Шляхом аналізу літературних джерел, що стосуються проблеми вирощування, переробки та використання льону здійснюється актуалізація харчового вживання льону як джерела жирів, білків, вуг-

ководів, незамінних жирних кислот, вітамінів і токоферолів. Огляд включає такі складові:

- розкриття особливостей морфологічної та анатомічної будови насіння льону як харчової сировини;
- фізико-хімічні властивості лляної олії, її жирнокислотний склад;
- вплив жирних кислот на організм людини, використання їх як елемента живлення свійських тварин;
- особливості і перспективи застосування продуктів переробки насіння льону як альтернативного джерела ліпідів.

Використання вітчизняної сировини рослинного походження, яка характеризується високим потенціалом біологічно активних речовин, дозволяє цілеспрямовано створювати продукти з функціональними властивостями, а також розширити асортимент виробів, підвищити їхню харчову та біологічну цінність. Одним із таких видів сировини є насіння льону, що є джерелом цінних біологічно активних речовин (Subbotina, 2009; Polyakov et al., 2011; Polyakova et al., 2011).

За ботанічною характеристикою льон культурний є однорічною трав'янистою рослиною. Плід – п'ятигнізда коробочка, що має форму кулі. У свою чергу, кожне гніздо розділяє неповна перетинка. Кожне таке напівгніздо містить одну насінину, а загалом у коробочці знаходиться у середньому до 10 насінин. Коробочка має довжину близько 6,1–11,0 мм, ширину від 5,7 до 8,5 мм. Насінина сплюснута з боків, яйцеподібної форми, з трохи загнутим, добре розвинутим носиком, гладенька, зі скляним блиском, слизька. Забарвлення насіння дуже різноманітне: чорнувато-буре, буре, коричневе, бурожовте, жовте, яскраво-жовте, однорідного чи строкатого забарвлення. Правильно розвинене насіння має такі розміри: довжину – від 3,2 до 4,8 мм; ширину – від 1,5 до 2,8 мм; товщину – від 0,5 до 1,2 мм; маса 1000 насінин складає 3,5–5,5 г, а у деяких голландських сортів льону-довгунця – до 6,5 г. В льону олійного маса 1000 насінин може складати до 13 г. І величина насіння, і забарвлення – спадкові ознаки, характерні для певного сорту (Didora et al., 2008; Heller et al., 2010; Heller et al., 2011; Wielgusz & Heller, 2011).

Умови вирощування льону впливають на величину і масу насіння. Дослідники зазначають, що маса насіння вища у розріджених широкорядних посівах, ніж у звичайних загущених (Basch et al., 2007; Kaur et al., 2018; Heller, 2007; Galushko & Ryan, 2010). Зовні насіння вкрите тонкою оболонкою, що включає шість шарів: кутикулу та епідерміс (вони складають шкірочку, клітини якої набухають та вкриваються слизом при намочуванні водою); шар клітин повітроносної паренхіми; шар кам'янистих клітин, які надають оболонці міцності; другий шар клітин паренхіми; пігментний шар, котрий надає насінню забарвлення. Під насінневою оболонкою розташовується ендосперм – шар клітин багатих білками і жиром. Запасні речовини ендосперму використовуються для росту зародку. У внутрішній частині насіння знаходиться зародок, котрий має у своєму складі короткий первинний корінець, два сім'ядольні листочки та розташовану між ними невелику бруньку (Dubey et al, 2020; Smolová et al, 2017). У зрілій

насініні льону ендосперм та зародок розвинуті порівняно рівномірно, при цьому величина зародка і його диференціація є ознаками високої організації та визначають ступінь досконалості лляного насіння. Зморшкуватість, щуплість і дрібні розміри насіння льону є результатом слабого розростання ендосперму та зародка або одного з них.

Вивчення процесу формування насіння різних сортів олійного льону, проведене А. І. Ільїною у Всесоюзному науково-дослідному інституті олійних культур (ВНДІОК), показало, що через кілька днів після запліднення квітки зародок, що розвивається у бруньці, складається з деяких клітин, що містять хлоропласти, і має вид зеленої кульки. Протягом 10–12 днів після запліднення зародок ще слабо диференційований, але тканини зав'язі, бруньки і її покрив у цей період дуже сильно розростаються. Брунька за своїми розмірами наближається до розмірів зрілого насіння. Насіннева шкірка стає значно товстішою від шкірки зрілого насіння, причому в ній відбувається диференціація тканин. Особливо інтенсивно розвиваються тканини ендосперму, що складаються з клітин, заповнених дрібними крохмальними зернами. Пізніше, до початку зеленої стиглості, у зародку формується корінець, пара сім'ядольних листочків і конус наростання, але у цей період зародок мало збільшується і він ще не оточений тканинами ендосперму (Didora et al., 2008; Heller et al., 2010; Heller et al., 2011; Wielgusz & Heller, 2011). Наприкінці зеленої і початку ранньої жовтої стиглості, тобто через 20–25 днів після запліднення, клітини епідермісу цілком звільняються від крохмалю, і у їхніх оболонках з'являються потовщення, що легко піддаються слизуватому переродженню. Тканини насінневої шкірки, що розташовані під епідермісом, втрачають крохмаль, мертвіють і стають безбарвними. Виникає пігментний шар, що визначає темне забарвлення насіння льону. Білонасінні сорти льону не мають відособленого пігментного шару. Зародок збільшується у розмірах, заповнюючи значну частину порожнини насіння, і протягом 1–2 днів повністю оточується ендоспермом, що у цей час займає меншу частину порожнини насіння. При цьому стрибок росту зародка супроводжується руйнуванням його хлоропластів. На зміну крохмальних зерен тканини ендосперму і зародка заповнюються алейроновими зернами і жиром У фазі повної стиглості, тобто через 25–30 днів після запліднення, у насінні льону крохмаль відсутній (Didora et al., 2008; Polyakova & Gudoshnik., 2015). У лляному насінні у середньому міститься: жиру біля 35–40 %, білка – 23 %, безазотистих екстрактних речовин – 22 %, клітковини – 9 %, золи – 3 % та води – 8 % (Polyakov et al., 2011; Szalata et al., 2011).

Ляна олія являє собою рідину жовтого або бурштинового кольору, слабопрозора, яка також відзначається специфічним запахом. Питома вага лляної олії при температурі 15 °С – 6,0–6,9 г/см<sup>3</sup>; температура замерзання складає 15–30 °С; коефіцієнт омилення – 188–192; кислотне число – 1,5 мг КОН/г, йодне число – 170–200. Останнє є показником швидкості висихання олії, що дуже важливо при її технічному застосуванні. Олія з насіння льону-довгунця, вирощеного у північних райо-

нах льонарської зони, відзначається найвищим йодним числом (Ehrensing, 2008; Ganorkar & Jain, 2013; Shima et al., 2014; Alison et al., 2019; Ren et al., 2015). Однак врожай і вага насіння, а також його олійність та йодне число здатні знижуватися під впливом ґрунтово-кліматичних умов та умов вирощування, зокрема при пізньому посіві та дефіциті вологи у період від цвітіння до жовтої стиглості. Йодне число збільшується по мірі дозрівання насіння. Олія з незрілого насіння зазвичай відзначається більш низьким йодним числом.

У складі лляної олії виявлено наступні жирні кислоти: лінолеву, ліноленову, олеїнову, стеаринову, пальмітинову та міристинову. Високі технічні, харчові та інші властивості лляної олії визначаються вказаними кислотами. Олійність насіння льону є спадковою ознакою, і, отже, може підвищуватися селекційним шляхом (Harper et al., 2006; Berto et al., 2020; Goyal et al., 2014; Kajla et al., 2015).

Процес утворення і накопичення олії протікає у тісному зв'язку з життєдіяльністю рослинного організму в цілому і залежить від генетичних особливостей, властивих даному виду, онтогенезу та метеорологічних умов вирощування і триває практично протягом всього періоду розвитку насінини. Масова частка олії, її хімічний склад змінюються протягом всього періоду дозрівання насіння чи плодів. Кількість олії збільшується послідовно від початку формування насіння до кінця його дозрівання. Якісний склад жирних кислот для даного виду (форми, сорту) рослин залишається більш-менш постійним протягом онтогенезу, змінюються, як правило, кількісне співвідношення між жирними кислотами (Pora et al., 2012; Kaithwas & Majumdar, 2013; Sychov, 2015; Fazary & Younis, 2015).

Ляна олія є абсолютним чемпіоном за вмістом поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), зокрема Омега-3. За своєю біологічною цінністю вона стоїть на першому місці серед всіх рослинних олій. Насіння льону також надзвичайно багате на незамінні поліненасичені жирні кислоти Омега-6 та Омега-9. Жоден продукт зі звичайного раціону не містить такої кількості цих необхідних кислот. У складі насіння виявлено значну кількість білка (близько 25 %) високої біологічної активності, який ідеально близький для людського організму, і 30–48 % олії. Сумарна кількість білків та жиру у насінні льону складає 66–68 % від загальної маси (Pora et al., 2012; Ghosh et al., 2019; Bayrak et al., 2010; Matthäus & Özcan, 2017).

Поліненасичених незамінних жирних кислот – 65–90 %, з яких 55–70 % припадає на ліноленову кислоту, яка належить до ПНЖК родини Омега-3, і 10–20 % – на лінолеву кислоту, яка належить до ПНЖК родини Омега-6. До складу лляної олії також входять такі жирні кислоти як: пальмітинова (5–7 %), стеаринова (3–4 %), олеїнова (16–20 %) (Savoire et al., 2015; Guimarães et al., 2013; Zhang & Cao, 2009).

Насіння льону олійного (*Linum humile* L.) містить до 49 % жирної олії, яка здатна швидко висихати (її йодне число складає 175–200 одиниць) з утворенням тонкої гладенької блискучої плівки. Відсоток насичених пальмітинової та стеаринової жирних кислот, на відміну від олеїнової, лінолевої та ліноленової (ненасичені),



в олійного льону змінюється рідко і, за даними різних дослідників, коливається у межах 5–6 % для пальмітинової і 4–5 % для стеаринової кислот. Вміст ліноленої кислоти, залежно від виду, сорту та генотипу, змінюється від 3–9 % до 63–69 %. Лляна олія з високим вмістом поліненасичених жирних кислот, особливо ліноленої, використовується, переважно, для технічних, а з низьким – для харчових цілей (Herchi et al., 2012; Elimam & Ramadan, 2018; Domian et al., 2017; Bernacchia et al., 2014; Lobaeva, 2015).

Насіння льону містить велику кількість білка, харчових волокон, лігніну, зокрема диглюкозиду секоїзолярицинолу (SDG). Існує багато продуктів з насіння льону, які споживаються людиною, у тому числі: ціле насіння, лляна олія, частково знежирене лляне борошно (зазвичай пресоване), повністю знежирене лляне борошно (в екстракції з розчинником), екстракти з ослизеним насінням льону, оболонки лляного насіння, насіння льону олеосом і спиртових екстрактів насіння льону (Cunpane et al., 1993; Prior et al., 2015; Lisovaya, 2015; Stenberg, 2004).

За даними FAO stat, лляну олію за вмістом ліноленої кислоти можна розділити на 4 категорії:

1. Вміст ліноленої кислоти більше 50 % – високій, олія придатна, в основному, для використання у технічних цілях.

2. Вміст ліноленої кислоти 36–49 % – середній, олія придатна у технічних цілях, медицині, парфумерії.

3. Вміст ліноленої кислоти 10–35 % – низький, олія придатна, в основному, на харчові цілі.

4. Вміст ліноленої кислоти менше 10 % – дуже низький, олія придатна тільки на харчові цілі (Morris, 2007; Goyal et al., 2015; Shahid et al., 2020; Troshchynska et al., 2019).

Саме якісний склад олії визначає його використання для виробництва продуктів дієтичного лікування, виробництва косметичних препаратів, нових лікувальних засобів. З насіння льону одержують препарат лінетол, що використовується для лікування опіків шкіри (Pan et al., 2009; Juita et al., 2012; Nykter et al., 2006).

Насіння льону, як зазначалося вище, містить цінні білки, які можна використовувати у вигляді борошна, білкових ізолятів і концентратів. Насіння льону є дієтичним продуктом підвищеної біологічної цінності, що застосовується у лікувальних цілях, і у кулінарії. В багатьох країнах льон уже давно зайняв свої позиції, наприклад у Німеччині використовують десятки тисяч тон насіння для приготування страв та випічки (Matthäus & Özcan, 2017; Kumar et al., 2018; Tour'e & Xueming, 2010; Tarpila et al., 2005; Ayelign & Alemu, 2016).

Завдяки унікальним природним якостям льон рекомендують вживати для профілактики і лікування багатьох захворювань: для підтримання імунної системи організму, серцево-судинних захворюваннях, при цукровому діабеті, при атеросклерозі, захворюваннях печінки, шлунково-кишкового тракту і щитовидної залози, для покращення стану волосся та шкіри, виведення токсинів з організму, як загальнозміцнюючий та протизапальний засіб. Вживання олії льону сприятливо впливає на розвиток мозку у немовлят, знижуючи рівень ліпідів крові.

Згідно висновків вчених багатьох країн, насіння льону потрібно вживати в їжу щоденно, це має стати частиною культури харчування. Додавання насіння льону в раціон забезпечує повноцінне і здорове харчування, що знижує ризики виникнення різних видів хронічних захворювань. І в Європі, і у країнах Америки льон вважають одним з найбільш корисних харчових продуктів (Gromova et al., 2011; Bhardwaj et al., 2015; Reethega et al., 2018; Samojlova et al., 2019; Ahmed-Farid & Hassan, 2017; Tanbouly et al., 2017; Weill et al., 2002).

У білках насіння льону відносно багато аргініну, аспарагінової кислоти та глутамінової кислоти, тоді як лізин, метіонін та цистин містяться в обмежених кількостях. Харчові волокна з насіння льону демонструють позитивний ефект для зменшення закріпів, для кращого випорожнення кишечника та як гіпохолестеринічний засіб.

Насіння льону використовують як смачну і корисну дієтичну добавку при приготуванні різноманітних холодних страв. Воно довго зберігається і може бути використане при додаванні в каші, фруктові і овочеві салати, супи, картопляне пюре, квашену капусту, вінегрети, в усі готові перші і другі страви. Корисно змішувати насіння з молоком, йогуртом, сиром, кефіром. Можна додавати льон у борошняні вироби, при цьому технологія виготовлення не змінюється, лише покращується харчова цінність страв.

Насіння льону використовують для схуднення та природного очищення кишечника. Для цього на добу потрібно вживати 1 столову ложку перемеленого насіння льону, запиваючи невеликою кількістю кефіру чи водою (Shunthwal & Sheoran, 2017; Trebušak et al., 2011; Boudry et al., 2009; Ebrahimi et al., 2013).

Вчені багатьох країн світу досліджують насіння льону в лабораторіях і дійшли загального висновку, що насіння льону можна вважати продуктом, що оздоровлює організм. Лляне насіння містить вітаміни E, D, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, бета-каротин, мінеральні речовини, токоферолі, такі мікро- та мікроелементи, як кальцій, калій, залізо, магній, цинк, селен, алюміній, марганець, хром, нікель, мідь, бор, йод та ін. В насінні містяться: вуглеводів – 12–26 %, ефірних олій 35–45 %, слизових речовин – 12 %, білків – 20–33 %, а також органічні кислоти, ферменти і значна кількість ненасичених жирних кислот. Проростки льону містять до 1,5 % глікозиду лінамарину (Suksombat et al., 2014; Tint et al., 2011; Zhang et al., 2013; Rodriguez-Leyva et al., 2010).

Лляна олія необхідна всім здоровим людям при високих розумових і фізичних навантаженнях, роботі на шкідливих виробництвах, незбалансованому харчуванні, студентам і школярам для підвищення успішності і перенесення навчальних навантажень, всім працюючим з комп'ютером, а також людям, що піддаються дії різних випромінювань (Shallie et al., 2017; Wang et al., 2020; Parikh et al., 2017; Tarpila et al., 2002; Krasnov et al., 2019). Крім того, для того, щоб людський організм функціонував нормально, йому необхідні лігнано-фітохімічні речовини (одна з груп поліфенолів), що призводять до балансу процесу метаболізму. В результаті тривалих досліджень вчені прийшли до висновку, що найбільш багатим джерелом рослинних лігнанів є волокно лляного насіння. Лляна олія може проявляти сильні антиканцерогенні

властивості (Pacheco et al., 2011; Avelino et al., 2015; Chishty & Bissu, 2016; Rodriguez-Leyva et al., 2013).

Відходи олійного виробництва (макухи і шроти) являють собою цінний високобілковий концентрований корм для тварин, що має дієтичні властивості, завдяки великій кількості слизу. Макуха, що є продуктом переробки насіння, містить від 6 до 12 % жиру, 33–38 % протеїну, 7 % олії, 9 % клітковини. Поживність 1 кг становить 1,15 кормових одиниць і містить 260 г перетравлюваного протеїну (Weill et al., 2002; Shunthwal & Sheoran, 2017; Trebušak et al., 2011; Boudry et al., 2009; Ebrahimi et al., 2013). Цінною для годівлі тварин, особливо свиней, є її полова, що утворюється при обмолоті льону й очищенні насіння. За поживною цінністю 1 кг її становить 0,27 кормових одиниць і містить 20 г перетравлюваного протеїну (Nevrklá & Vaclavkova, 2019; Szymczyk & Szczurek, 2016; Matthews et al., 2000; Lyons et al., 2017).

Додавання льнової макухи до раціону свійських тварин позитивно впливає на їх організм і стан здоров'я. Так, ненасичені жирні кислоти, що входять до складу макухи та шроту, покращують стан шкіри та хутра, підвищують імунітет і сприяють набору ваги, тому рекомендовані при відгодівлі великої рогатої худоби та свиней. Також доведено, що відгодівля таким кормом молочних корів покращує, у свою чергу, склад молока, а у свиней поліпшує технологічні та смакові якості м'яса (Peiretti et al., 2015; Vaclavkova et al., 2016; Brodowska et al., 2018).

**Висновки.** Насіння льону, як прядивної (технічної) культури, є надзвичайно цінним джерелом різноманітних продуктів. Це пояснюється, насамперед, його хімічним складом. Насіння льону багате на поліненасичені жирні кислоти, зокрема лінолеву та ліноленову, а також токофероли, вітаміни та білки. Ці особливості роблять льяне насіння цінним харчовим, кормовим та лікувальним продуктом.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Ayelign, A., & Alemu, T. (2016). The Functional Nutrients of Flaxseed and Their Effect on Human Health. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 6(2), 83–92. doi: 10.9734/EJNFS/2016/16318
2. Ahmed-Farid O.A. & Hassan, M.A. (2017). The Protective Effect of Flaxseed Oil Supplemented with High Source of Branched Chain Amino Acids Against the Rats Testicular Toxicity Induced by Lead Acetate. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(12), 30–42.
3. Avelino, A. P. A., Oliveira, G. M. M., Ferreira, C. C. D., Luiz, R. R., Rosa, G. (2015). Additive effect of linseed oil supplementation on the lipid profiles of older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 1679–1685. doi: 10.2147/CIA.S75538
4. Babita, C., Tripathi, M. K., Surendra, K. P. & Raj, B. H. (2016). Uses of Flax (*Linum usitatissimum*) After Harvest. *National Academy of Agricultural Science (NAAS)*, 34(1), 159–164.
5. Bajbekov, R. F., Belopuhov, S. L., Dmitrevskaya, I. I., & Dmitriev, L. B. (2019). Sravnitel'naya harakteristika sostava zhirnyh kislot v lipidah masel iz semyan tekhnicheskikh kul'tur [Comparative characteristics of the composition of fatty acids in lipids of oils from seeds of technical crops]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 33(6), 62–65 (in Russian). doi: 10.24411/0235-2451-2019-10615
6. Basch, E., Szapary, P. O. Harrison, M. & Ulbricht, C. (2007). Flax and Flaxseed Oil (*Linum usitatissimum*): A Review by the Natural Standard Research Collaboration. *Journal of the Society for Integrative Oncology*, 5(3), 92–105. doi: 10.2310/7200.2007.005
7. Bayrak, A., Kiralan, M., Ipek, A., Arslan, N., Cosge, B., & Khawar, K.M. (2010). Fatty Acid Compositions of Linseed (*Linum Usitatissimum* L.) Genotypes of Different Origin Cultivated in Turkey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(2), 1836–1842. doi: 10.2478/V10133-010-0034-2
8. Bernacchia, R., Preti, R. & Vinci, G. (2014). Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(8), 1–9.
9. Berto, B.M., Garcia, R. K. A., Fernandes, G. D., Barrera-Arellano, D. & Pereira G.G. (2020). Linseed oil: Characterization and study of its oxidative degradation. *Grasas Aceites*, 71(1), 1–7. doi: 10.3989/gya.1059182
10. Boudry, G., Douard, V., Mouro, J., Lalle's, J.-P. & Huërou-Luron, I. L. (2009). Linseed Oil in the Maternal Diet during Gestation and Lactation Modifies Fatty Acid Composition, Mucosal Architecture, and Mast Cell Regulation of the Ileal Barrier in Piglets. *The Journal of Nutrition*, 139, 1110–1117. doi: 10.3945/jn.108.102640
11. Brodowska, M, Guzek, D, Godziszewska, J, Pogorzelska, E, & Wierzbicka, A (2018). Oxidation processes of Longissimus dorsi from pigs supplemented with linseed oil and antioxidants. *South African Journal of Animal Science*, 48, 545–552.
12. Buckner, A. L., Buckner, C. A., Montaut, S., & Lafrenie, R. M. (2019). Treatment with flaxseed oil induces apoptosis in cultured malignant cells. *Heliyon*, 5, 1–12.
13. Bunga, A. P. & Patlolla, P. R. (2020). Linseed (*Linum usitatissimum* L.) – An Oilseed Crop with Potential to be Used in Many Ways: Review Article. *Acta Scientific Agriculture*, 4(10), 42–46.
14. Čeh, B., Štraus, S., Hladnik, A. & Kušar, A. (2020). Impact of Linseed Variety, Location and Production Year on Seed Yield, Oil Content and Its Composition. *Agronomy*, 10, 1–13. doi: 10.3390/agronomy10111770
15. Chekhova, I. V., Chekhov, S. A., & Shkurko, N. P. (2017). Otechestvennyy rynok l'na [Domestic flax market]. *Nauchnyy zhurnal "Ekonomika Ukrainy"*, 1(654), 52–63 (in Russian).
16. Chishty, S., Bissu, M. (2016). Health Benefits and Nutritional Value of Flaxseed. *Indian Journal Of Applied Research*, 6(1), 243–245.
17. Cunnane, S. C., Sujata, G., Menard, C., Wolever, T. M. S. & Jenkins D. J. A. (1993). High α-linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): some nutritional properties in humans. *British Journal of Nutrition*, 69, 443–453.
18. Dash, J., Naik, B. S., & Mohapatra, U. B. (2017). Linseed: a valuable crop plant. *International Journal of Advanced Research*, 5(3), 1428–1442. doi: 10.21474/IJAR01/3650

19. Diederichsen, A., & Fu, Y.-B. (2008). Flax Genetic Diversity as the Raw Material for Future Success. International Conference on Flax and Other Bast Plants, 51, 270–280.
20. Didora, V. H., Malynovskyi, A. S., Derecha, O. A., Rybak, M. F., Derebon, I. Iu., & Viuntsov, S. M. (2008). Lonarstvo [Flax growing]. Zhytomyr: Vyd-vo DVNZ Zhytomyrskiy natsionalnyy ahroekolohichnyy universytet, 488 (in Ukrainian).
21. Didora, V. H., & Derebon, I. Yu. (2017). Tekhnolohichni pokaznyky yakosti lonu oliinoho zalezno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya v umovakh Polissia Ukrainy [Technological indicators of quality of oil flax depending on elements of technology of cultivation in the conditions of Polissya of Ukraine]. Roslynnnytstvo, suchasnyi stan, 6(1), 71–79 (in Ukrainian).
22. Domian, E., Brynda-Kopytowska, A., Marzec, A. (2017). Functional Properties and Oxidative Stability of Flaxseed Oil Microencapsulated by Spray Drying Using Legume Proteins in Combination with Soluble Fiber or Trehalose. Food Bioprocess Technology, 10, 1374–1386. doi 10.1007/s11947-017-1908-1
23. Drozd, I. F. (2011). Zhymnokyslotnyi sklad nasinnia lonu oliinoho v umovakh zakhidnoho rehionu Ukrainy [Fatty acid composition of oilseed flax in the western region of Ukraine]. Biuletyn Instytutu zernovoho hospodarstva, 40, 72–76 (in Ukrainian).
24. Dubey, S., Bhargava, A., Fuentes, F., Shukla, S., & Srivastava, S. (2020). Effect of salinity stress on yield and quality parameters in flax (*Linum usitatissimum* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48(2), 954–966. doi: 10.15835/nbha48211861
25. Ebrahimi, M., Rajion, M. A., Goh, Y. M., Sazili, A. Q., & Schonewille, J. T. (2013). Effect of Linseed Oil Dietary Supplementation on Fatty Acid Composition and Gene Expression in Adipose Tissue of Growing Goats. BioMed Research International, 2013, 1–11. doi: 10.1155/2013/194625
26. Ehrensing, D. T. (2008). Flax. Oilseed Crops, 2, 1–9.
27. Elimam, H., & Ramadan, B. K. (2018). Comparative Study of the Possible Prophylactic and Curative Effects of Flaxseed Oil on the Lipid Profile and Antioxidant Status of Hyperlipidaemic Rats. Journal of Applied Pharmacy, 10(1), 1–6.
28. Fazary, N. T. A. A. & Younis, Y. M. (2015). Seed Properties & Fatty Acid Composition of Flaxseed Oil (*Linum Usitatissimum*). World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 4 (11), 69–99.
29. Galushko, V., & Ryan, C. D. (2010). Intellectual Property Rights (IPRS) and Knowledge Sharing in Flax Breeding. An Erca Research Network, 32.
30. Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2013). Flaxseed – a nutritional punch. International Food Research Journal, 20(2), 519–525.
31. Ghosh, S., Bhattacharyya & Ghosh, M. (2019). Study on Proximate Composition, Phytochemical Content, Oxidative Stability, Antioxidant Activity and Fatty Acid Composition of Enzyme Aided Aqueous Extraction of Flax Seed Oil. Acta Scientific Nutritional Health, 3(4), 5–9.
32. Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. Journal of Food Science Technology, 51(9), 1633–1653. doi 10.1007/s13197-013-1247-9
33. Goyal A., Sharma V., Sihag M.K., et al. (2016). Fortification of dahi (Indian yoghurt) with omega-3 fatty acids using microencapsulated flaxseed oil microcapsules. Journal of Food Science Technology, 53, 2422–2433. doi: 10.1007/s13197-016-2220-1.
34. Gromova O. A., Torshin I. Yu., Egorova E. Yu. (2011). Omega-3 polinenasyschennye zhirnye kisloty i kognitivnoe razvitiye detej [Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cognitive development in children]. Voprosy sovremennoj pediatrii, 10(1), 66–72. (in Russian)
35. Guimarães, R. de C. A., Macedo, M. L. R., Munhoz, C. L., Filiu W., Viana, L. H., Nozaki, V. T., Hiane, P. A. (2013). Sesame and flaxseed oil: nutritional quality and effects on serum lipids and glucose in rats. Food Science and Technology, 33(1), 209–217. doi: 10.1590/s0101-20612013005000029
36. Harper, C. R., Edwards, M. J., DeFilipis, A. P. & Jacobson, T. A. (2006). Flaxseed oil increases the plasma concentrations of cardioprotective (n-3) fatty acids in humans. American Society for Nutrition, 136, 83–87.
37. Heller, K., Andruszewska, A. & Wielgusz, K. (2010). The Cultivation of Linseed by Ecological Methods. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 55(3), 112–116.
38. Heller, K. & Wielgusz, K. (2011). Yields of Linseed Cultivar Bukoz in Organic and Conventional Farming. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 56(3), 138–142.
39. Heller, K. (2007). Technologie Uprawy i Przerobu Lnu i Konopi w Warunkach Zrównoważonego i Wielofunkcyjnego Rozwoju Rolnictwa Polskiego [Technologies for Cultivation and Processing of Flax and Hemp in the Conditions of Sustainable and Multifunctional Development of Polish Agriculture]. Fragmenta Agronomica, XXIV, 3(95), 181–186 (in Polish).
40. Herchi, W., Arráez-Román, D., Boukhchina, S., Kallel, H., Segura-Carretero A., Fernández-Gutierrez, A. (2012). A review of the methods used in the determination of flaxseed components. African Journal of Biotechnology, 11(4), 724–731. doi: 10.5897/ajb11.984
41. Juita, Długogorski, B. Z., Kennedy, E. M., Mackie, J. C. (2012). Low temperature oxidation of linseed oil: a review. Fire Science Reviews, 1(3), 1–36.
42. Kaithwas, G. & Majumdar, D. K. (2013). Effect of *L. usitatissimum* (Flaxseed/Linseed) Fixed Oil against Distinct Phases of Inflammation. ISRN Inflammation, 2013, 1–4. doi: 10.1155/2013/735158.
43. Kajla, P., Sharma, A., & Sood, D. R. (2015). Flaxseed – a potential functional food source. Journal of Food Science Technology, 52(4), 1857–1871. doi 10.1007/s13197-014-1293-y
44. Kaur, P., Waghmare, R., Kumar, V., Rasane, P., Kaur, S. & Gat, Y. (2018). Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition. Oilseeds & fats Crops and Lipids, 25(3), 1–11. doi: 10.1051/ocl/2018018
45. Koval, O. A., & Skrypka, Ya. I. (2017). Nasinnia lonu – naibahatshe dzherelo biolohichno aktyvnykh rehovyn [Flax seeds are the richest source of biologically active substances]. Young Scientist, 11(51), 35–37 (in Ukrainian).



46. Krasnov, G. S., Dmitriev, A. A., Zyablitsin, A. V., Rozhmina, T. A., Zhuchenko, A. A., Kezimana, P., Snezhkina, A. V., Fedorova, M. S., Novakovskiy, R. O., Pushkova, E. N., Povkhova, L. V., Bolsheva, N. L., Kudryavtseva, A. V. & Melnikova, N. V. (2019). Aluminum Responsive Genes in Flax (*Linum usitatissimum* L.). *BioMed Research International*, 2019, 1–11. doi: 10.1155/2019/5023125
47. Kumar, R. K., Bejkar, M., Du, S. & Serventi, L. (2018). Flax and wattle seed powders enhance volume and softness of gluten-free bread. *Food Science and Technology International*, 25(1), 66–75. doi: 10.1177/1082013218795808
48. Kshitij, B., Narsingh, V., Bhardwaj, R. K., Shipra, T. (2015). Flaxseed Oil and Diabetes: A Systemic Review. *Journal of Medical Science*, 15(3), 135–138. doi: 10.3923/jms.2015.135.138.
49. Lisovaya E.V., Viktorova E.P., Borodkina A.V. (2015). Pishchevaya i fiziologicheskaya cennost' l'nyanyh masel vysokolinolenovogo tipa. *Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2, 65–71. (in Russian)
50. Lobaeva T.A. (2015). Izuchenie sostava i sodержaniya zhirnyh kislot v fitopreparatah [Study of the composition and content of fatty acids in phytopreparations]. *Vestnik RUDN, seriya Medicina*, 2, 9–18. (in Russian)
51. Ludvíková, M., & Griga, M. (2015). Transgenic Flax/Linseed (*Linum usitatissimum* L.) – Expectations and Reality. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 51, 123–141. doi: 10.17221/104/2015-CJGPB
52. Lyons, T., Boland, T., Storey, S. & Doyle, E. (2017). Linseed Oil Supplementation of Lambs' Diet in Early Life Leads to Persistent Changes in Rumen Microbiome Structure. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1–12. doi: 10.3389/fmicb.2017.01656
53. Matthäus, B. & Özcan, M. M. (2017). Fatty Acid Composition, Tocopherol and Sterol Contents in Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Varieties. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 36(3), 147–152.
54. Matthews, K. R., Homer, D. B., Thies, F. & Calder, P. C. (2000). Effect of whole linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of finishing pigs on growth performance and on the quality and fatty acid composition of various tissues. *British Journal of Nutrition*, 83, 637–643. doi: 10.1017/S0007114500000817
55. Milena, S., Szalata, M. & Wielgus, K. (2011). The Changes in the Protein Profile in Response to Cadmium Stress in Flax (*Linum usitatissimum* L.). *Renewable Resources and Biotechnology for Material Applications*. Nova Science Publishers, 256–262.
56. Morris, D. H. (2007). *Flax – a Health and Nutrition Primer*. Flax Council of Canada, 140.
57. Nevrkla, P., & Vaclavkova, E. (2019). The effect of diet supplementation with linseed scrap on the meat quality and fatty acid profile of the meat and backfat in fattening gilts. *Veterinarni Medicina*, 64(11), 467–475. doi: 10.17221/42/2019-VETMED
58. Nykter, M., Kymäläinen, H.-R., Gates, F., Sjöberg, A.-M. (2006). Quality characteristics of edible linseed oil. *Agricultural and Food Science*, 15, 402–413.
59. Pacheco, J. T., Daleprame, J. B. & Boaventura, G. T. (2011). Impact of dietary flaxseed (*linum usitatissimum*) supplementation on biochemical profile in healthy rats. *Nutrición Hospitalaria*, 26(4), 798–802. doi:10.3305/nh.2011.26.4.5045
60. Pan, A., Yu, D., Demark-Wahnefried, W., Franco, O. H. & Lin, X. (2009). Meta-analysis of the effects of flaxseed interventions on blood lipids. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(2), 288–297. doi:10.3945 /ajcn.2009.27469
61. Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T. & Pierce, G. N. (2017). Dietary Flaxseed as a Strategy for Improving Human Health. *Nutrients*, 11, 1–15. doi:10.3390/nu11051171
62. Peiretti, P.G., Gai, F., Brugiapaglia, A., Mussa, P. & Meineri, G. (2015). Fresh meat quality of pigs fed diets with different fatty acid profiles and supplemented with red wine solids. *Food Science and Technology*, 35, 633–642.
63. Polyakov, V. A., Levchuk, A. N., & Lyah, V. A. (2011). Izuchenie belkovogo kompleksa semyan l'na [Study of the protein complex of flax seeds]. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu*, 2, 23–28 (in Russian).
64. Polyakova, I. A., & Gudoshnik, M. N. (2015). Sravnitel'naya harakteristika novykh liniy l'na, poluchennykh metodom mezhvidovoy gibridizatsii [Comparative characteristics of new flax lines obtained by the method of interspecific hybridization]. *Aktual'ni pitannya biologii, ekologii ta himii*, 9(1), 34–46 (in Russian).
65. Poliakova, I. O., Yarantseva, V. V., Levchuk, H. M. & Liakh, V. O. (2011). Biokhimichni ta anatomo-morfolohichni osoblyvosti budovy fotosyntetychnoho aparatu khlorofilnykh mutantiv lonu oliinoho [Biochemical and anatomical and morphological features of the structure of the photosynthetic apparatus of chlorophyll mutants of flax oil]. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu*, 2, 28–35 (in Ukrainian).
66. Popa, V.-M., Gruia, A., Raba, D.-N., Dumbrava, D., Moldovan, C., Bordean, D., Mateescu, C. (2012). Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) from Romania. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 18(2), 136–140.
67. Prior, P. L., Ramos, A. C., Eserian, J. K., Zapparoli, J., & Galduróz, J. C. F. (2015). Flaxseed Oil Decreases Craving for Chocolate: Preliminary Results. *International Archives of Addiction Research and Medicine*, 1(2), 1–4.
68. Reethega, V., Vishnu, P. V., Gayathri, R. (2018). Cytotoxicity potential of flaxseed oil on oral cancer cell lines. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 9(2), 430–433. doi: 10.26452/ijrps.9i2.1513
69. Ren, G., Zhang, W., Sun, S., Duan, X., Zhang, Z. (2015). Enhanced Extraction of Oil from Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Using Microwave Pre-treatment. *Journal of Oleo Science*, 64(10), 1043–1047. doi:10.5650/jos.ess.15099.
70. Rodriguez-Leyva, D., Bassett, C. M. C., McCullough, R., Pierce, G. N. (2010). The cardiovascular effects of flaxseed and its omega-3 fatty acid, alpha-linolenic acid. *Canadian Journal of Cardiology*, 26(9), 489–496.
71. Rodriguez-Leyva, D., Weighell, W., Edell, A. L., LaVallee, R., Dibrov, E., Pinneker, R., Maddaford, T. G., Ramjiawan, B., Aliani, M., Guzman, R., Pierce, G. N. (2013). Potent Antihypertensive Action of Dietary Flaxseed in Hypertensive Patients. *Hypertension*, 2013, 1081–1089. doi: 10.1161/hypertensionaha.113.02094
72. Rubilar, M., Gutiérrez, C., Verdugo, M., Shene, C., & Sineiro, J. (2010). Flaxseed as a Source of Functional Ingredients. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(3), 373–377.
73. Samojlova Yu. G., Olejnik O. A., Sagan E. V., Denisov N. S., Filippova T. A., Podchinenova D. V. (2019). Rol' polinenasyshchennykh zhirnyh kislot v protektsii serdechno-sosudistykh zabolevanij u detej, stradayushchih ozhireniem [The



- role of polyunsaturated fatty acids in the protection of cardiovascular diseases in obese children.]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 6, 1–14. (in Russian)
74. Savoire, R., Lazouk, M., Van-Hecke, E., Roulard, R., Tavernier, R., Guillot, X., Rhazi, L., Petit, E., Mesnard, F. & Thomasset, B. (2015). Environmental and varietal impact on linseed composition and on oil unidirectional expression process. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 22(6), 1–10. doi: 10.1051/ocl/2015016
75. Shahid, M. Z., Imran, M., Khan, M. K., Ahmad, M. H., Nadeem, M., Muhammad, N. & Yasmin, A. (2020). OMEGA-3 Fatty Acids Retention, Oxidative Quality, and Sensoric Acceptability of Spray-Dried Flaxseed Oil. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–13.
76. Shallie, P. D., Olayinka, O. O., Akpan, H. B., Otulana, O. J., Alese, O. O., Babatunde, B. R., Talabi, D. J. & Shallie, O. F. (2017). Potential Neuro-therapeutic Effect of Flaxseed Oil on the Striatum of Rotenone Mice Model of Parkinson's Diseases. *British Journal of Medicine & Medical Research*, 22(1), 1–9.
77. Shevchenko, I. A., Liakh, V. O., Poliakov, O. I., Soroka, A. I., Vedmedieva, K. V., Zhuravel, V. M., Makhno, Yu. O., Tovstanovska, T. H., & Budilka, H. I. (2017). Lon oliinyi, hirschytsia. Stratehiia vyrobnytstva oliinoi syrovyny v Ukraini (maloposhyreni kultury) [Oil flax, mustard. Strategie for the production of oilseeds in Ukraine (rare crops)]. Instytut oliinykh kultur Natsionalnoi akademii ahrarykh nauk Ukrainy. STATUS, Zaporizhzhia (in Ukrainian).
78. Shima, Y. Y., Guia, B., Arnisonb, P. G., Wang, Y. & Reaney, M. J. T. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature. *Trends in Food Science & Technology*, 38, 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.011
79. Shunthwal, J. & Sheoran, N. (2017). Influence of linseed oil feeding on performance and fatty acid composition of muscles in broiler chicks. *The Pharma Innovation Journal*, 6(11), 268–273.
80. Smolová, J., Němečková, I., Klimešová, M., Švandrlík, Z., Bjelková, M., Filip, V., & Kyselka, J. (2017). Flaxseed varieties: composition and influence on the Growth of Probiotic microorganisms in milk. *Czech Journal of Food Sciences*, 35, 18–23.
81. Stenberg, C. (2004) Influence of the fatty acid pattern on the drying of linseed oils. *AKADEMISK AVHANDLING*, Stockholm, 34.
82. Subbotina, M. A. (2009). Fiziologicheskie aspekty ispol'zovaniya zhirov v pitanii [Physiological aspects of the use of fats in nutrition]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 15(4), 1–4 (in Russian).
83. Suksombat, W., Thanh, L. P., Meeprom, C. & Mirattanaphrai, R. (2014). Effects of Linseed Oil or Whole Linseed Supplementation on Performance and Milk Fatty Acid Composition of Lactating Dairy Cows, 27(7), 951–959. doi: 10.5713/ajas.2013.13665
84. Sychov M.I. (2015). Pytannia yakosti, naturalnosti i toksykologii molochnykh produktiv [Issues of quality, naturalness and toxicology of dairy products]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia*, 9(4), 64–67. (in Ukrainian))
85. Szymczyk, B. & Szczurek, W. (2016). Effect of dietary pomegranate seed oil and linseed oil on broiler chickens performance and meat fatty acid profile. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 25, 37–44.
86. Tanbouly, N. E., Sayed, A. M. E., Ali, Z. Y., Wahab, S. A., Gayed, Sabah H. E., Ezzat, S. M., Senousy, A. S. E., Choucry, M. A. & Abdel-Sattar E. (2017). Antidepressant-Like Effect of Selected Egyptian Cultivars of Flaxseed Oil on a Rodent Model of Postpartum Depression. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 7, 1–15. doi:10.1155/2017/6405789
87. Tarpila S., Aro A., Salminen I., Tarpila A., Kleemola P., Akkila J. & Adlercreutz H. (2002). The effect of flaxseed supplementation in processed foods on serum fatty acids and enterolactone. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, 157–165.
88. Tarpila, A., Wennberg, T. & Tarpila, S. (2005). Flaxseed as a functional food. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 3, 167–188.
89. Thompson, S. J. (2015). Investigating Value Added Potential of Flaxseed and Straw. Final Report. Saskatchewan. 175.
90. Tint D., Anghel M., Lupu D.S., Fischer L.M. & Niculescu M.D. (2011). Low dose Flaxseed Oil Supplementation Alters the Fatty Acids Profile and the Progression of Metabolic Syndrome in Men without Adequate Medical Treatment. *Journal of Nutritional Disorders & Therapy*, 7, 1–8. doi: 10.4172/2161-0509.1000S7-001.
91. Trebušak, T., Levart, A., Voljč, M., Tomažin, U., Pirman, T. (2011). The Effect of linseed oil supplementation on performance, fatty acid composition and oxidative status of rabbits. *Acta argiculturae Slovenica*, 98(2), 119–125. doi:10.2478/v10014-011-0028-2
92. Troshchynska, Y., Bleha, R., Kumbarová, L., Sluková, M., Sinica, A., Štětina, J. (2019). Discrimination of flax cultivars based on visible diffusion reflectance spectra and colour parameters of whole seeds. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(3), 199–204. doi: 10.17221/202/2018-CJFS
93. Touré A. & Xueming X. (2010). Flaxseed Lignans: Source, Biosynthesis, Metabolism, Antioxidant Activity, Bio-Active Components, and Health Benefits. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 10, 261–269.
94. Vaclavkova, E., Volek, Z., Belkova, J., Duskova, D, Czauderna, M, & Marounek, M (2016): Effect of linseed and the combination of conjugated linoleic acid and linseed on the quality and oxidative stability of pig meat and subcutaneous fat. *Veterinari Medicina*, 61, 428–435.
95. Wang, T., Sha, L., Li, Y., Zhu, L., Wang, Z., Li, K., Lu, H., Bao, T., Guo, L., Zhang, X. & Wang, H. (2020). Dietary  $\alpha$ -Linolenic Acid-Rich Flaxseed Oil Exerts Beneficial Effects on Polycystic Ovary Syndrome Through Sex Steroid Hormones – Microbiota – Inflammation Axis in Rats. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 1–21. doi: 10.3389/fendo.2020.00284
96. Weill, P., Schmitt, B., Chesneau, G., Norohanta, D., Safradou, F. & Legrand P. (2002). Effects of Introducing Linseed in Livestock Diet on Blood Fatty Acid Composition of Consumers of Animal Products. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 46, 182–191. DOI: 10.1159/000065405
97. Wielgusz, K. & Heller, K. (2011). The Influence of Flax Seed Organic Dressing on Fungus Flora Diversity in the Soil. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 56(4), 198–202.

98. Zhang, Z.-S., Wang, L.-J., Li, D., Li, S.-J., & Özkan, N. (2011). Characteristics of Flaxseed Oil from Two Different Flax Plants. *International Journal of Food Properties*, 14, 1286–1296.
99. Zhang, J. & Cao, R. (2009). Evaluation of Fatty Acid Composition and Lignan Content of Peace Country Flax Seed. Alberta Research Council. Guelph Food Research Centre, 21.
100. Zhang, Z.-S., Li, D. & Zhang, L.-X. (2013). Effect of Heating on the Fatty Acid Composition and Oxidation Products of Flaxseed Oil. *Asian Journal of Chemistry*, 25(18), 10083–10086.

**Vereshchahin I. V.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Kandyba N. M.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Stashko M. R.**, Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Nedohybchenko A. S.**, Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Flax seeds (*Linum usitatissimum* L.) as a valuable food resource**

The article presents the results of the analysis of literature sources related to studies of morphology, anatomy, chemical composition of flax seeds (*Linum usitatissimum* L.), as well as industrial and medical use of flaxseed oil. This culture has long been known to mankind as a yarn, as it served as a source of fiber for the manufacture of clothing and technical fabrics. The list of fabric products is extremely diverse: coarse packaging fabric, burlap, tarpaulin, twine, fine bedding, fabrics for decoration, towels and clothing, as well as fine lawn. The seeds were used as animal feed and seed. But today there is a growing demand for flax seeds for processing into food, medicinal and technical purposes.

Flaxseed oil is widely used in the industry for the manufacture of drying oils, paints, varnishes, insulating tape, linoleum, confectionery and fish canning industry. In addition, flax seeds can act as a drug for the treatment of diseases of the gastrointestinal tract. Flax seed has a number of morphological and anatomical features that determine the biological properties of this culture. The size of the seed (weight of 1000 pcs.) Varies, depending on the variety and growing conditions, from 2.1 to 13.0 g. Endosperm of flaxseed contains a large amount of fat and protein.

The anatomical structure and chemical composition of flax seeds determine its potential as a food and medicinal raw material. Coarse seeds are used to make bread and pastries used in dietary nutrition. Recent scientific studies have shown that flaxseed is extremely rich in polyunsaturated fatty acids such as linoleic ( $\omega$ -3), linolenic ( $\omega$ -6) and others. These acids are found in many valuable oils and products of animal origin; for the human body they are indispensable because they are not synthesized. Their use has a positive effect on the functioning of both individual organs and the therapeutic state of the human body as a whole. Thus, polyunsaturated fatty acids improve the elasticity of blood vessel walls, including the retina and muscle fibers of the heart, so their use is desirable in glaucoma, cataracts, myocardial infarction, atherosclerosis, diabetes. The use of these acids by women during pregnancy has a positive effect on the development of the brain in the fetus. In world practice, the use of products with unsaturated fatty acids is used to support patients with cancer and immune deficiency. Adding flaxseed meal to the diet of farm animals increases their resistance to disease and improves the taste of meat.

**Key words:** flax, seed, oil, fatty acids, iodine number, acid number.

## СОРТОВА РЕАКЦІЯ НА ФОРМУВАННЯ НАСІННЕВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КАРТОПЛІ ПРИ ОБРОБЦІ ПОСІВІВ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТУ

**Кабанець Віктор Михайлович**

доктор сільськогосподарських наук, доцент, директор  
Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН України, с. Сад, Україна  
ORCID: 0000-0002-5981-7184  
agronauka@gmail.com

**Оничко Віктор Іванович**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-0584-319X  
onichko@gmail.com

**Музика Леонід Пилипович**

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник  
Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН України, с. Сад, Україна  
agronauka@gmail.com

**Бердін Сергій Іванович**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-2337-4107  
serdantes00@gmail.com

*Якість насінневого матеріалу будь-якої сільськогосподарської культури є основою її врожайності. Враховуючи значну вартість посадкових бульб картоплі, збільшення коефіцієнту розмноження насіння високих генерацій є фактором зниження собівартості посадкового матеріалу. Використання стимулятора росту дозволяє не тільки збільшити вихід насінневих бульб з одиниці площі, а і вирішити це екологічно безпечним шляхом. Враховуючи значну кількість рістстимулюючих препаратів та їх чутливість до ґрунтово-кліматичних умов у разі застосування, актуальним є проведення широкого спектра зональних досліджень по підборі більш ефективних стимуляторів росту.*

*У дослідженні, що проводились в Інституті сільського господарства Північного Сходу НААН України, вивчалась біологічна реакція сортів картоплі Скарбниця, Щедрик, Слов'янка на позакореневу обробку посівів регуляторами росту Агрінос Д, Вегестим, РК, Вимпел-К (Агролайт-У) і Гумати (Гуміфілд ВР-18, Фульвітал Плюс). Об'єктом досліджень виступали процеси формування насінневої продуктивності картоплі під дією зазначених препаратів.*

*Встановлено, що в умовах північно-східного Лісостепу є позитивний вплив усіх препаратів, що досліджувались, на формування насінневої продуктивності. Виявленні особливості реакції сортів на формування складових насінневої продуктивності. Середній у сорту вихід насінневих бульб був у межах від 40,5 % у сорту Щедрик і до 45,9 % у сорту Скарбниця. Застосування Гуматів у більшості випадків суттєво збільшувало насіннєву продуктивність, але в структурі врожайності їх вага значно поступалася контролю.*

*Слід зазначити, що посадковий матеріал картоплі більшою мірою доцільно розглядати не з точки зору вагових показників, а кількості бульб придатних для висадки. Як показали дослідження, при застосуванні стимуляторів росту фракційний склад під дією препаратів у середньому по досліді збільшувався у бік насінневих бульб від 1,7 % (Вимпел-К) до 3,5 % (Агрінос Д) та у крупній фракції – від 1,5 % (Агрінос Д) до 5,3 % (Гумати).*

*У розрізі сортів більшу прибавку насінневих бульб сформували посіви, які були оброблені Гуматами. Сортом, який позитивно не відреагував на застосування препаратів, був сорт Слов'янка. Максимальне збільшення коефіцієнту розмноження у нього відзначалось при обробці Гуматами (2,0), а при застосуванні Вимпел-К (Агролайт-У) рослини зменшили показник виходу насінневих бульб відносно контролю.*

*У результаті проведених досліджень закономірно узагальнити, що застосування регуляторів росту в посівах картоплі в умовах північно-східного Лісостепу позитивно впливає на збільшення насінневої продуктивності, як у вагових, так і у кількісних параметрах. При застосуванні препаратів виявлена різна реакція сортів на вид препарату. Більш суттєво на формування посадкового матеріалу виявилась система обробки посівів із застосуванням комплексу Гуматів. Меншою мірою на позакореневу обробку посівів регуляторами росту реагував сорт Слов'янка.*

**Ключові слова:** картопля, врожайність, фракції насіння, кількість бульб, маса бульб.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.4>

**Вступ.** В останні десятиріччя спостерігаються різкі зміни метеорологічних факторів, які негативно впливають на розвиток рослин картоплі, особливо в період бульбоутворення. Це призводить до посилення процесу виродження картоплі. Ситуація поглиблюється скороченням обсягів виробництва насінневого матеріалу високих репродукцій. Важливим заходом одержання високих врожаїв є використання якісного насінневого матеріалу.

Тенденція екологізації виробництва сільськогосподарських культур спонукала до створення та впровадження нових, стійких до хвороб сортів і підвищила зацікавленість до використання економічно вигідних ефективних заходів підвищення врожайності - біологічно-активних речовин – регуляторів росту рослин, що дає можливість спрямованої регуляції процесів росту та розвитку рослин картоплі завдяки можливості використання (на відміну від традиційних добрив, як у період передпосівної підготовки посівного матеріалу, так і для позакореневої обробки рослин в оптимальні (найбільш відповідальні) фази їх росту й розвитку).

У сучасних умовах важливим чинником стабілізації галузі картоплярства є налагодження насінництва та ефективне використання насінневих бульб, формування організованого ринку як продовольчої, так і насінневої картоплі. Використання якісного сортового насіння картоплі є одним з основних заходів підвищення ефективності картоплярства. За даними численних досліджень частка селекційно-насінницьких досягнень у підвищенні врожайності та поліпшенні якості картоплі становить 20–50 % (Butenko, 2018).

Для зниження негативної дії вірусних хвороб розроблена і застосовується система безвірусного насінництва, одним з елементів якої є біотехнологія. Однак, отриманий біотехнологічними методами вихідний матеріал картоплі досить високовартісний, тому розробка заходів по якомога кращому використанню його продуктивного потенціалу є досить актуальною для підвищення рівня забезпечення споживачів якісним посадковим матеріалом.

Картоплярство - чи не єдина галузь агропромислового комплексу України, обсяги виробництва якої суттєво не змінились протягом останніх 70 років. У цей же час біля 98 % загального виробництва картоплі – це продукція вирощена на невеликих фермерських, присадибних та дачних ділянках, що вносить свої корективи в технологію вирощування. Щорічні площі картоплі в Україні становлять 1,4–1,5 млн.га, а валове виробництво 18-20,5 млн. т – біля 6 % світового об'єму (п'яте місце у світі після Китаю, Росії, Індії та США) при врожайності 12,0–13,9 т/га, що значно нижче від біологічних можливостей культури.

Основні причини низької врожайності картоплі це: неякісний посадковий матеріал (порушення принципу сортооновлення та своєчасної сортозаміни), недотримання сівозміни, нестача та неефективне використання добрив, засобів захисту рослин, недотримання основних умов технології. Базовими напрямками збільшення врожайності і виробництва картоплі є: поліпшення технології вирощування (Varabolja & Ljashenko, 2018), основ-

ною ланкою якої є чітка система насінництва (Bilins'ka et al., 2021), впровадження у виробництво нових сортів (M'jalkovs'kij et al., 2021), сортової агротехніки та використання високопродуктивного садивного матеріалу (Medvedeva & Kostjukevich. 2020; Korshunov et al., 2018). Таким чином виробництво картоплі тримається на «трьох китах»: вибір сорту, високий рівень насінництва і технологія. Водночас вони нерівноцінні за значенням для отримання продукції. Ключовим є сорт. Доведено, що за останніх 25 років внесок нових сортів у підвищенні врожайності картоплі в Європейських країнах сягає 57 %.

Сучасні економічні умови в аграрному секторі спонукають до пошуку технологій, побудованих на мобілізації дешевих мінеральних та органічних ресурсів (Baybulatov et al., 2018; Atanaw, 2021). При відносно слабкому розвитку кореневої системи рослини картоплі нагромаджують велику вегетативну і бульбову масу, тому у порівнянні з іншими культурами вони більш вимогливі до забезпечення ґрунту поживними речовинами (Muleta & Aga, 2019). і кращою є така система удобрення, яка забезпечує рослини картоплі ними рівномірно впродовж всієї вегетації.

Отримати високий врожай картоплі допомагає підготовка посадкового матеріалу. Ранній інтенсивний ріст коренів у початковий період розвитку рослин дозволяє краще використати весняну вологу і забезпечити формування бульб, коли температура ґрунту не настільки висока. Тому поряд з передпосадковим обігрівом і прощуванням бульб значну увагу слід приділяти обробці їх розчинами мікроелементів, добрив і регуляторів росту рослин (Smirnova et al., 2021). Останніми роками в картоплярстві все більша увага приділяється використанню регуляторів росту з метою посилення процесу бульбоутворення, підвищенню стійкості рослин у період вегетації до екстремальних погодних умов - таких, як високі температури та нестача вологи, а також ураження хворобами (Araujo et al., 2019).

Передпосадкова обробка бульб та обробка рослин у період вегетації розчинами регуляторів росту стимулює ріст і розвиток рослин картоплі, збільшує висоту рослин, кількість стебел та асиміляційну поверхню листя, вміст у ньому хлорофілу, підвищує продуктивність фотосинтезу. Під впливом препаратів збільшується кількість бульб, маса однієї бульби, що призводить до збільшення раннього врожаю на 16–33 %, загального на 10–54 % в залежності від сорту, генерації та дотримання технології (Uromova et al., 2019).

Дослідженнями, проведеними в Інституті картоплярства НААН, встановлено, що передпосадкова обробка бульб картоплі біопрепаратами Фітоцид і Планриз позитивно впливала на збільшення врожайності. Так, за другого строку садіння (29–30 квітня) приріст врожайності раннього сорту Скарбниця становив відповідно 4,7 і 7,1 т/га, а середньораннього сорту Оберіг – на 0,9 та 5,9 т/га. При використанні препарату Планриз приріст маси стандартних бульб склав 11,8 % у сорту Скарбниця і 5,1 % у сорту Оберіг. Загальні втрати врожаю при зберіганні картоплі зменшились на 7,5 та 8,8 % відповідно (Koltunov et al., 2012)



При вирощуванні картоплі в умовах центрального Лісостепу України на фоні органічних, мінеральних добрив і сидератів відмічено значне підвищення їх ефективності при обробці бульб перед садінням та вегетуючих рослин у фазі бутонізації розчинами Біолану і Чаркору, що виявляється у посиленні ростових процесів, збільшенні стеблостою і листової поверхні в агрофітоценозі і, в кінцевому результаті, у зростанні врожайності картоплі. У сортів Серпанок, за середньої врожайності у варіантах з добривами 153,6 ц/га і Слов'янка – 183,5 ц/га при обробці бульб Чаркором перед садінням та рослин у фазі бутонізації приріст становив 23,9 і 27,6 ц/га, Біоланом – 21,3 і 24,1 ц/га відповідно (Moloch'kij et al., 2009). Дослідженнями проведеними в умовах Лісостепу Правобережного найперспективнішою виявилась обробка рослин регуляторами росту Емістим С у фазі сходів – сорти Дніпрянка і Поляна (Polishhuk, 2021).

Дослідженнями О. М. Барковського та В. С. Куценко (Інститут картоплярства НААН України) встановлено, що сорти картоплі по різному реагують на обробку бульб захисностимулюючими препаратами, особливо якщо вони різних груп стиглості (Barkov's'kij & Kucenko, 1999). Регулятори росту рослин досить широко використовують при розмноженні та оздоровленні насінневого матеріалу картоплі (Mogozov et al., 2018; Milyokhin et al., 2020).

Регулятори росту рослин доцільно використовувати для прискореного розмноження оздоровлених *in vitro* рослин картоплі, що підвищує їх стійкість до негативних факторів навколишнього середовища (заморозки, засуха, стресовий стан після обробки пестицидами та ін. і шкочинних організмів) (Trembic'ka et al., 2020). Оптимізувати параметри куща і агрофітоценозу та процес бульбоутворення, а також підвищити адаптаційні можливості рослин, що в кінцевому результаті забезпечить одержання високого врожаю картоплі можна завдяки обробці оздоровлених *in vitro* рослин картоплі регулятором росту Вимпел у поєднанні з іншими ефективними агрозаходами (Kovalenko & Olijnik 2016). При цьому приріст урожайності відбувається насамперед завдяки кількості та ваги бульб під одним кущем (Grossi et al., 2020).

Дослідженнями ряду наукових установ встановлено, що застосування регуляторів росту рослин на посівах картоплі сприяє росту і розвитку рослин, підвищенню врожайності та поліпшенню стійкості рослин до несприятливих факторів, негативного впливу гербіцидів, підвищенню ефективності добрив (Kovalenko et al., 2007). У дослідях Інституту картоплярства НААН України відмічено позитивний вплив регуляторів росту рослин здатних повністю нейтралізувати фітотоксичну дію гербіцидів. Аналогічні дослідження, проведені науковому центрі землеробства МСГ Республіки Вірменія, показали високу ефективність поєднання гербіцидів з фіторегулятором, який сприяє зняттю фітотоксичної дії гербіцидів, покращенню росту і розвитку рослин, підвищенню врожайності. (Agaonjan et al., 2020). За даними досліджень, проведених в умовах Передкам'я Республіки Татарстан, додавання до суспензій і розчинів протруйників, регуляторів росту рослин, стимулює природний імунітет рослин до хвороб, внаслідок чого норми витрат пестицидів мож-

ливо зменшити у два рази без зниження ефективності захисної дії (Prishhepenko, 2020).

За даними досліджень Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН України використання мікродобрив дозволяє істотно поліпшити ріст та розвиток рослин, якість продукції та врожайність вирощуваних культур (Kabapес' et al., 2013). У сучасних кризових умовах, коли більшість виробників не мають можливості забезпечити достатній рівень використання добрив, особливо гостро стоїть питання впровадження у виробництво, в тому числі і в дрібнотоварних (фермерські, присадибних і дачних) господарствах, нових ресурсощадних елементів і заходів вирощування картоплі з метою підвищення врожайності та поліпшення якості продукції при мінімальній кількості ресурсів. У цьому відношенні надзвичайно актуальним для виробництва є застосування нових, порівняно недорогих (з розрахунку на одиницю площі), засобів підвищення врожайності – регуляторів росту і розвитку рослин. (Semenchuk, 2018), що дає можливість спрямованої регуляції процесів росту і розвитку рослин картоплі завдяки можливості використання, як в період передпосадкової підготовки посівного матеріалу, так і позакореневої обробки рослин у оптимальні (найбільш відповідальні) фази їх розвитку (Wróbel et al., 2017). Таким чином, вміле використання, регуляторів росту рослин дозволяє не лише помітно підвищити врожай, поліпшити його якість, а й істотно підвищити стійкість рослин до хвороб і стресових факторів, які все більше проявляються останнім часом. За використання рістстимулюючих речовин при вирощуванні картоплі численними дослідженнями відмічено посилення життєздатності рослин, підвищення їх стійкості до несприятливих кліматичних факторів, стресів, зменшення ураження вірусними захворюваннями та пошкодження колорадським жуком, дротяником, поліпшення біохімічного складу і товарної якості бульб (Juzjuk, 2017).

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження по вивченню сортової реакції картоплі на застосування регуляторів росту проводили згідно програми наукових досліджень (ПНД) НААН України на 2016–2020 рр. 17 Науково-методичне та аналітичне забезпечення інноваційної моделі розвитку галузі картоплярства за завданням 17.00.03.19 П «Підвищення продуктивності насінневого матеріалу картоплі, оздоровленого біотехнологічним методом в умовах північно-східного регіону України» упродовж 2019–2020 років в умовах північно-східного Лісостепу України в Інституті сільського господарства Північного Сходу НААН України.

При проведенні досліджень було передбачено використати оздоровлений біотехнологічним методом насінневий матеріал трьох сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН : Щедрик, Скарбниця і Слов'янка. Кількість облікових рослин кожного сорту 50 шт., схема садіння – 70 × 25 см, повторність в досліді триразова. Площа облікової ділянки – 8,75 м<sup>2</sup>.

У дослідженні були використані такі регулятори росту рослин:

1. Агрінос Д - вільні амінокислоти – 10 % + хітин + хітозан + глюкозамін – 6 % (компанія «Агрінос», Норвегія);

2. Вегестим, РК – Емістим С 78 г/л, Івін – 2 г/л ПЕГ – 200-60 г/л, ПЕГ – 400-60 г/л, ПЕГ – 600-60 г/л + мікроелементи у хелатній формі: В – 0,3 г/л, Со – 0,024 %, Сu – 0,9 %, Zn – 0,9 %, Fe – 2,4 г/л, Mn – 2,4 г/л, Мо – 0,06 %, Mg – 3,24 % (ЗАТ «Високий врожай», Україна);

3. Вимпел-К (Агролайт-У), в.р. – ПЕГ-400 – 230 г/л, ПЕГ-1500 – 540 г/л, гумат натрію – 30 г/л, бурштинова кислота – 3 г/л (НДП «Долина», Україна);

4. Гуміфілд ВР-18 – калієва сіль гумінових кислот 20-200 г/л (ТОВ «Агротехносоюз», Україна);

5. Фульвітал Плюс – фульвові кистоти – 20-85 %, S – 6 %, В – 0-15 %, Со – 0-0,5 %, Сu – 0-15 %, Fe – 0-4 %, Mn – 0-5 %, Мо – 0-1 %, Mg – 0,7 %, амінокислоти 0-100 г/кг, бурштинова кислота – 0-100 г/кг, арахідинова кислота – 0-100 г/кг (ТОВ «Агротехносоюз», Україна);

Останні препарати (Гуміфілд ВР-18 та Фульвітал Плюс) застосовувалися в єдиній схемі та мали загальну назву Гумати.

Внесення регуляторів росту під час вегетації рослин картоплі проводили за допомогою ранцевого обприскувача «Ера» з нормою внесення робочої рідини з розрахунку 300 л/га.

Схема застосування регуляторів росту, їх норми та строки обробки наведені у табл. 1.

Закладання досліду, його розміщення в натурі було проведено згідно з «Методичними рекомендаціями щодо проведення досліджень з картоплею» (Kucenko et al., 2002) з урахуванням усіх вимог методики дослідної справи за Б. О. Доспеховим (Dospëhov, 1985). Повторність в досліді триразова, площа облікової ділянки – 8,75 м<sup>2</sup> за схемами розміщення рослин 70 x 25 см. Ґрунт дослідної ділянки - чорнозем типовий малогумусний середньо суглинковий, орний шар якого характеризується наступними основними показниками: вміст гумусу – 4,1 %, рН сольове – 6,3, сума ввібраних основ – 31 мг-екв., вміст рухомих форм фосфору – 11,3 мг/100 г ґрунту, обмінного калію – 9,2 мг/100 г ґрунту, вміст легкогідролізованого азоту за Корнфілдом – 11,2 мг/100 г.

Метеорологічні умови відіграють важливу роль у формуванні врожаю картоплі. Зазначена культура має два критичних періоди, які залежно від перебігу метеорологічних факторів можуть стати вирішальними для її рівня врожайності та насінневої продуктивності. Такими періодами є «бутонізація» та «формування бульб». Оптимальними для періоду садіння-сходи є: середньодобова

температура повітря 18–22°C, а сума ефективних температур в цей період не повинна перевищувати 565–593°C]. Формування високих врожаїв картоплі відбувається при середньодобовій температурі повітря 16–18°C, при підвищенні її до 20°C уповільнюються процес бульбоутворення, а при 29°C і вище – повністю припиняється].

Слід зазначити, що в цілому погодні умови періоду вегетації картоплі в 2019–2020 рр. були малосприятливі для росту і розвитку рослин її та отримання достатньо високого врожаю. За температурним режимом в усі періоди росту і розвитку рослин картоплі (крім періоду садіння-сходи) було відмічено перевищення оптимального рівня (табл. 2). Особливо несприятливі умови склалися у періоди «сходи-бутонізація» та «бутонізація-цвітіння» - коли за оптимальних у ці періоди 79 мм та 100 мм опадів у 2019 році випало лише 13,3 мм та 0 мм відповідно (для ранньостиглих сортів) та 12,5 і 4,3 мм – (для середньостиглих). Гідротермічний коефіцієнт у ці періоди не перевищував 0,3, що характеризує їх як край посушливі. У 2020 році в цей період умови були дещо кращі. Середня температура в період «бутонізація – цвітіння» у 2019 році знаходилась на рівні 23,8-26,7°C і 2020 році – 26,2–24,0°C (гідротермічний коефіцієнт відповідно 0,1–0,3), що значно уповільнювало процес бульбоутворення.

Попередник картоплі – озима пшениця. Агротехніка культури включала луцення стерні на глибину 5–8 см у два сліди по діагоналі дисковими луцильниками після збирання попередника. Осінню оранку в другій декаді жовтня проводили на глибину 27–29 см. Весняний обробіток – закриття вологи боронами ЗБТ-1,0 в два сліди та передпосівна культивування на 14–16 см. Внесення добрив по 4 ц/га нітраоамфоски (N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) з послідуною заробкою їх культиватором. Підготовку насінневих бульб до висаджування розпочинали за 4–5 тижнів. Густота висаджування бульб 57,1 тис шт. на гектар за схемою 70 x 25 см. Глибина 6–8 см від верхівки бульб до верхівки гребеня.

Перший міжрядний обробіток проводили культиватором КОН-2,8 на 7-й день після садіння. Вдруге посіви обробляли через 6–7 днів після першого обробітку. При появі сходів картоплі та досягнення ними висоти 2–5 см проводили їх присипання. За висоти рослин 12–15 см посіви обробляли розчином гербіциду Тівітус 25 в.г. Позакореневі підживлення рослин картоплі розчинами

Таблиця 1

**Схема досліду по вивченню сортової реакції на формування насінневої продуктивності картоплі при обробці посівів регуляторами росту, 2019–2020 рр.**

Назва варіантів досліду	№ варіанту	Назва препарату та норми використання	Строки обробки
Без проведення позакореневих обробок рослин контроль	1	Обробка рослин водою	у відповідні фази застосування препаратів
Застосування стимуляторів росту рослин	2	Агрінос Д (2 л/га)	початок бутонізації цвітіння
	3	Вегестим, РК, (0,3 л/га)	
	4	Вимпел-К (Агролайт-У) (0,3 л/га)	початок бутонізації цвітіння
	5	Гумати Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) Фульвітал Плюс (0,4 л/га) Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га)	за висоти рослин 5–10 см змикання міжрядь в період бутонізації

рістрегулюючих речовин проводили згідно з програмою досліджень у відповідні періоди росту та розвитку рослин. Враховуючи високі денні температури та посушливі умови, обробки посіву (підживлення і фунгіцидні) проводили у вечірні години (після 20.00), коли і температура зменшувалась та втихав вітер, тобто умови для засвоєння речовин препаратів і їх ефективність значно зростала. Така система догляду за рослинами дозволила при мінімальному застосуванні гербіцидів (Тівітус 25 в.г. – 0,045 кг/га) тримати посіви картоплі відносно чистими від бур'янів впродовж усього періоду вегетації.

Для боротьби з колорадським жуком застосовували інсектицид Антикорад Макс з нормою витрати 0,15 л/га (проведено 4 обробки – дві останні поєднували з обробкою проти хвороб). Боротьбу з фітофторою, макроспороїзом розпочинали при висоті рослин 15–20 см, використовуючи при цьому у 2019 році системні фунгіциди,

а у 2020 році контактні системні фунгіциди Косайд 2000, ВГ та Захист (аналог Ридоміл Голд МЦ 68 з. п.) з нормою витрати відповідно 1,7 та 2,0 кг/га. Проводили послідовно 2 обробки з рекомендованим інтервалом. На початку відмирання нижніх листків рослин картоплі бадилля скошували КІР-1,5. Збирання картоплі – вручну.

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних виконували за загальноприйнятими методиками з використанням методу дисперсійного аналізу згідно методики Б. О. Доспехова (Dospěhov, 1985) з використанням прикладних програм для статичного обробитку та графічного аналізу.

**Результати.** Формування насінневої продуктивності посівів картоплі в першу залежить від реакції сорту на умови вирощування. Ефективність застосування регуляторів росту, з метою підвищення загальної та насінневої продуктивності, також значною мірою залежить від біо-

Таблиця 2

**Агрометеорологічні умови росту і розвитку рослин картоплі, 2019–2020 рр.**

Фази розвитку	Кількість днів		Сума активних температур, °С		Кількість опадів, мм		Гідротермічний коефіцієнт		Середня температура повітря, °С	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
<i>Ранньостиглі сорти (Скарбниця, Щедрик)</i>										
Садіння - сходи					35,7	46,0				
Сходи - бутонізація	24	25	475,5	442,5	13,3	85,1	0,3	1,9	23,8	17,7
Бутонізація – цвітіння	10	11	321,0	276,4	-	1,0	-	-	23,7	25,1
Цвітіння – відмирання бадилля	37	43	851,5	954,3	61,7	86,6	0,7	0,9	20,3	22,2
Всього	91	99	1971,4	1928,2	110,7	218,7	0,5	1,1	22,2	19,5
<i>Середньостиглі сорти (Слов'янка)</i>										
Садіння -сходи					36,5	53,5				
Сходи - бутонізація	26	28	571,1	536,9	12,5	77,5	0,2	1,4	24,8	19,2
Бутонізація – цвітіння	14	15	333,3	364,3	4,3	13,0	0,1	0,3	23,8	24,3
Цвітіння – відмирання бадилля	39	40	961,8	86,9	61,9	74,6	0,6	0,8	20,9	21,7
Всього	102	106	2224,7	2092,6	115,2	218,6	0,4	1,0	21,9	19,8

Таблиця 3

**Вплив стимуляторів росту при позакореновому внесенні на бульбоутворення рослин картоплі, середнє за 2019–2020 рр.**

Варіанти досліджень	Кількість бульб				шт./кущ
	шт./м <sup>2</sup>				
	> 60 мм	30–60 мм	> 30 мм	всього	
<i>Скарбниця</i>					
1. Без внесення (контроль)	3,2	12,6	16,1	31,9	5,58
2. Агрінос Д	4,2	16,3	19,8	40,3	7,05
3. Вегестим, РК	4,1	14,7	16,6	34,8	6,09
4. Вимпел–К ( Агролайт–У )	3,8	15,8	17,0	36,6	6,40
5. Гумати	4,4	16,8	19,9	41,1	7,19
<i>Щедрик</i>					
1. Без внесення (контроль)	4,5	13,6	18,6	36,7	6,42
2. Агрінос Д	5,1	16,6	16,9	38,6	6,76
3. Вегестим, РК	6,5	16,6	17,3	40,4	7,07
4. Вимпел–К ( Агролайт–У )	6,6	17,0	17,9	41,5	7,26
5. Гумати	8,2	18,3	18,3	44,8	7,84
<i>Слов'янка</i>					
1. Без внесення (контроль)	3,3	12,3	13,5	29,0	5,08
2. Агрінос Д	4,2	13,8	11,9	29,9	5,24
3. Вегестим, РК	4,3	13,8	12,1	30,3	5,30
4. Вимпел–К ( Агролайт–У )	4,1	12,1	12,7	30,1	5,26
5. Гумати	6,5	14,3	11,4	32,2	5,63

логічних особливостей сортів картоплі, посіви яких були оброблені цією групою препаратів (Levin et al., 2016).

На підставі проведених досліджень встановлено, що за позакореневої обробки рослин картоплі у період вегетації регуляторами росту виявлено зростання загальної кількості бульб у кущі відносно контрольного варіанту (табл. 3) – від 0,16 до 1,61 шт./кущ і значною мірою залежало від сортової реакції на дію препарату. Так, у ранньостиглого сорту Скарбниця це зростання коливалось до 6,09–7,19 при 5,58 шт./кущ на контролі.

Реакція сорту Щедрик на застосування регуляторів росту полягала у підвищенні виходу загальної кількості бульб з куща від 6,76 до 7,84 при значенні на контролі у 6,42 шт./кущ. У сорту Слов'янка бульби формувалися на рівні 5,24–5,30 та 5,06 шт./кущ відповідно. Відповідно біологічна реакція сортів на застосування регуляторів росту у Щедрика та Скарбниці призвела до значного зростання кількості бульб (до 22,1 % та 28,1 % відповідно), в той час у сорту Слов'янка зростання було відмічене лише на рівні 3,1–4,3 %.

Структурний аналіз бульбоутворення виявив перевагу дрібної фракції картоплі всіх сортів за кількісним значенням. При позакорневих обробках рослин, не дивлячись на зростання загальної кількості бульб в кущі, відзначено зменшення кількості бульб дрібної фракції, за виключенням варіантів у сорту Скарбниця, де кількість дрібних бульб зросла на 0,9–3,8 шт./м<sup>2</sup>. За виходом насінневої фракції сорти на контролі мали майже однакові показники на рівні 12,0–13,5 шт./м<sup>2</sup>. Застосування препаратів в посівах сорту Скарбниця позитивно вплинуло на кількість бульб з квадратного метра. Так при обробці посівів Вестимом, РК та Вимпелом–К (Агролайт–У) було отримано 14,7–15,8 шт./м<sup>2</sup>, а при обробці Агріносом Д та Гуматами 16,3–16,8 шт./м<sup>2</sup>.

Фракційний склад, який склався у дослідженні в середньому за варіантами, наведено на рис. 1. Дані вказують, що на долю дрібної фракції у варіантах без застосування

препаратів приходиться в середньому 49,2 %. Позакоренеve внесення регуляторів росту зменшує частку цієї фракції на 5,0–7,6 %. При цьому відзначено збільшення долі крупної фракції на 1,5–5,3 % та насінневої фракції – на 1,5–3,5 %. Більший вплив на вихід насінневої фракції мали препарати Агрінос Д та Вегестим. Найбільша кількість крупних бульб формувалась при комплексному застосуванні Гуматів.

У розрізі сортів фракційний склад мав наступну конфігурацію (табл. 4). За проведення позакорневих обробок рослин картоплі розчинами регуляторів росту у сорту Щедрик максимальний вихід насіння (% до загальної кількості бульб в кущі у варіанті) відмічено при застосуванні препарату Агрінос Д до 43,0 % (+ 5,9 % до контролю), у сорту Скарбниця при застосуванні препарату Вимпел–К (Агролайт–У) – 43,1 % (+3,5 %), у сорту Слов'янка – препаратів Агрінос Д – 46,0 % (3,7 %) та Вестим, РК – 45,7 % (3,4 %). У разі необхідності для насінневих цілей можливо використання крупної фракції. За сумарною часткою крупної та насінневої фракцій найбільшу кількість бульб у сорту Щедрик формують росли варіанту з позакореневою обробкою посівів комплексом Гуматів – 50,1 %, у сорту Скарбниця препаратом Вимпел–К (Агролайт–У) – 53,6 % та у сорту Слов'янка комплексом Гуматів – 64,7%.

Кількісні показники приросту насінневої фракції (рис. 2) вказують на їх зростання при позакорневій обробці посівів регуляторами росту. Виключенням є варіант із застосуванням препарату Вимпел–К (Агролайт–У) на картоплі сорту Слов'янка. Біологічні особливості сортів значною мірою впливають на ефективність обробки регуляторами росту з метою збільшення виходу насіння з куща. Крім зазначеного сорту Слов'янка, реакція якого на внесення препарату призвела до зменшення кількості бульб відносно контролю, сорти значно різняться за приростом кількості насінневих бульб по кожному варіанту застосування регуляторів росту. Найбільше варіювання

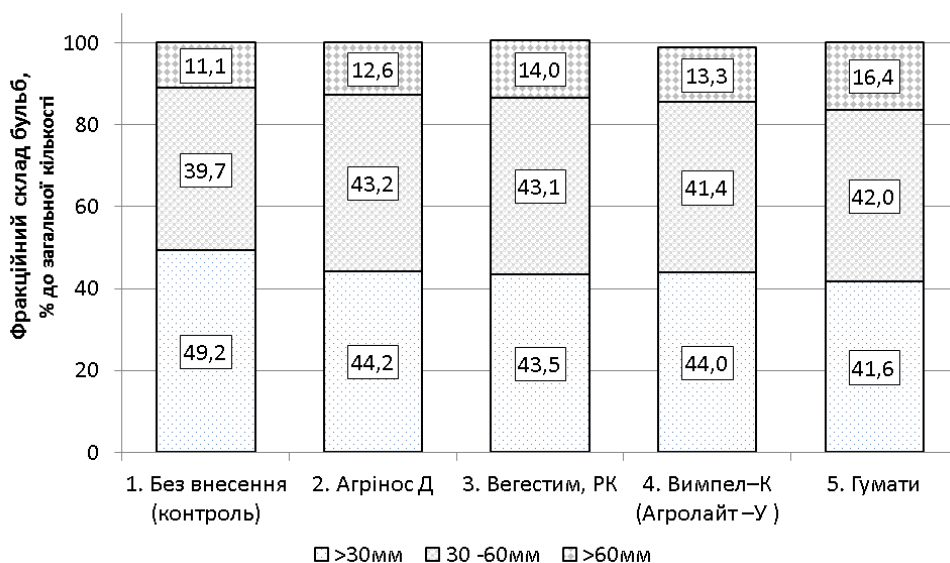


Рис. 1. Формування фракційного складу бульб в посівах картоплі залежно від позакореневої обробки посівів регуляторами росту, середнє за 2019–2020 рр.



параметра, що досліджувався, відзначено при обробці посівів препарату Вимпел-К (Агролайт-У) – 3,6 шт./кущ. Найбільше значення зростання виходу насіння з куща за використанням препарату Агрінос Д було відзначено у рослин сорту Скарбниця 3,7 шт./кущ, у разі обробки посівів картоплі іншими регуляторами більш чуйними виявилися рослини сорту Щедрик. З точки зору збільшення кількості бульб насінневої фракції виявилось комплексне застосування Гуматів. Відносно контрольного варіанту при обробці посівів Гуматами вихід насіння зростає у сорту Щедрик на 12,8 %, сорту Скарбниця – 13,1 % та сорту Слов'янка – 6,9 %.

Структурний аналіз врожайності у сортів, що досліджувались, вказує на те, що коефіцієнт розмноження (вихід насіння в межах насінневої фракції) в контрольних варіантах коливався від 2,15 у сорту Слов'янка до 2,38 у сорту Скарбниця (табл. 5). Застосування регуляторів росту збільшувало кількість бульб, але показники середньої маси бульби значною мірою залежали від застосованих регуляторів росту.

Колівання маси середньої бульби у варіантах сорту Скарбниця було від -11,6 до 4,3 %. Збільшення цього показника відзначалось при обробці препаратами Вегестим та Гуматами. У сорту Щедрик маса насінневої

Таблиця 4

Розподіл кількості бульб картоплі за розмірами при позакореновому внесенні регуляторів росту, середнє за 2019–2020 рр.

Варіанти досліджень	Фракційний склад бульб, % до загальної кількості		
	крупна, > 60 мм	насіннева, 30–60 мм	дрібна, > 30 мм
<i>Скарбниця</i>			
1. Без внесення (контроль)	10,0	39,6	50,4
2. Агрінос Д	10,5	40,4	49,1
3. Вегестим, РК	11,7	42,4	47,6
4. Вимпел-К (Агролайт-У)	10,5	43,1	46,4
5. Гумати	10,7	40,9	48,4
<i>Щедрик</i>			
1. Без внесення (контроль)	12,1	37,1	50,8
2. Агрінос Д	13,3	43,0	43,6
3. Вегестим, РК	16,0	41,2	42,9
4. Вимпел-К (Агролайт-У)	15,8	40,9	43,3
5. Гумати	18,2	40,8	40,9
<i>Слов'янка</i>			
1. Без внесення (контроль)	11,2	42,3	46,5
2. Агрінос Д	14,1	46,0	39,9
3. Вегестим, РК	14,3	45,7	40,0
4. Вимпел-К (Агролайт-У)	13,7	40,3	42,2
5. Гумати	20,2	44,4	35,3



Рис. 2. Приріст кількості насінневих бульб до контролю при застосуванні регуляторів росту, середнє за 2019–2020 рр.

бульби у варіантах з препаратами була на рівні контролю, або поступалась йому (-8,4–0,5 %). Сорту Слов'янка знижував масу однієї середньої насінневої бульби при обробці регуляторами росту відносно контрольного варіанту. Так при застосуванні Гуматів та Вегестима зниження склало 10,1 та 9,3 відповідно. Таким чином, позакоренева обробка посівів картоплі в більшості випадків призводила до зниження показника маси середньої бульби, що на пряму вплинуло на вихід посадкового матеріалу.

Враховуючи різну реакцію сортів на позакореневу обробку посівів картоплі формуванням кількості бульб та їх середньої маси, це призвело до значного варіювання насінневої врожайності у варіантах. Так, у сорту Скарбниця обробка Вимпелом-К призвела до зростання насінневої продуктивності на 9,8 % відносно контролю, при застосуванні Гуматів зростання збільшилося до 35,6 %. У всіх варіантах із регуляторами росту в посівах сорту Щедрик при зростанні насінневої врожайності варіювання значно поступалось сорту Скарбниця. Так мінімальне зростання врожайності у варіанті із Венестимом склало 16,0 %, максимальне значення відзначено у варіанті з Гуматами – 29,0 %. Сорт Слов'янка відзначився меншою реакцією на обробку посівів регуляторами росту (зростання врожайності насінневої фракції склало 3,2–14,8 %). Найбільший приріст відзначено у варіантах з Вимпел-К (12,0 %) та Агрінос Д (14,9 %). Максимальна насіннева врожайність в розрізі сортів була в варіантах з наступним застосуванням препаратів: Скарбниця – Гумати (8,31 т/га); Щедрик – Агрінос Д (8,78 т/га) та Гумати (8,80 т/га); Слов'янка - Агрінос Д (6,89 т/га).

Вихід насінневої фракції значною мірою коливався від біологічної реакції сортів на обробку посівів регуляторами росту. Відносно контролю, у сорту Скарбниця насіннева фракція в структурі врожайності зростала

від 0,4 % (Агрінос Д) до 4,5 % (Вестим, РК). В посівах сорту Щедрик варіант із застосуванням Гуматів відсоток насінневої фракції знижувався на 2,4 %, при Вестиму, РК структурні показники були на рівні контролю показники. Обробка Вимпелом-К (Агролайт-У) давала значення близькими до контролю (+ 0,4 %). Лише за обробкою регулятором росту Агрінос Д відзначено зростання на 5,8 %. Вихід насінневої фракції у крупнобульбового сорту Слов'янка майже у всіх варіантах знижувався від 0,5 % (Вестим, РК) до 6,7 % (Гумати). Зростання відзначено лише у варіанті з обробкою посівів Агрінос Д.

**Обговорення.** Проблема постачання та забезпечення господарств всіх форм власності високоякісним насіннєвим матеріалом картоплі високих генерацій в Україні є досить гострою. Підвищення виходу насіння з одиниці площі внаслідок застосування стимуляторів росту є одним зі шляхів визначеної проблеми. Такий підхід є достатньо вивчений (Murashev et al., 2020; Ekin, 2019; Vladimirov et al., 2019), але значне різноманіття препаратів, чутливість їх до умов вирощування картоплі, а також біологічні реакції сорту (Nevegov et al., 2018; Magomedov et al., 2021) формують широке поле для досліджень впливу регуляторів росту на формування врожайності бульб та вихід насіння з одиниці площі.

В результаті досліджень встановлено, що в умовах північно-східного Лісостепу встановлений позитивний вплив всіх препаратів, що вносилися, на формування насінневої продуктивності. Врожайність значною мірою залежала від сортових особливостей. Середній у сорту ваговий вихід насіння в врожайності бульб складав від 40,5 % у сорту Щедрик до 45,9 % у сорту Скарбниця. Застосування Гуматів в більшості випадків значно збільшували насіннєву продуктивність, але в структурі врожайності їх вага значно поступалася контролю.

Таблиця 5

**Структурні показники насінневої фракції картоплі різних сортів, сформовані в залежності від обробки посівів регуляторами росту, середнє за 2019–2020 рр.**

№ варіантів	Використані препарати	Кількість насіннєвих бульб	Вага бульб з 1 куща, кг	Маса 1 середньої бульб, г	Вихід насінневої фракції по масі бульб	
					%	т/га
<i>Скарбниця</i>						
1	Без внесення (контроль)	2,38	0,12	55,2	44,4	6,13
2	Агрінос Д	2,91	0,15	54,3	44,8	7,30
3	Вегестим, РК	2,91	0,15	56,5	48,9	7,29
4	Вимпел-К (Агролайт -У)	2,97	0,13	48,8	44,6	6,73
5	Гумати	3,20	0,17	57,6	46,9	8,31
<i>Щедрик</i>						
1	Без внесення (контроль)	2,21	0,14	59,6	39,7	6,82
2	Агрінос Д	2,85	0,18	59,9	45,5	8,78
3	Вегестим, РК	2,58	0,16	54,6	39,7	7,91
4	Вимпел-К (Агролайт -У)	2,76	0,16	56,8	40,1	8,23
5	Гумати	2,94	0,18	56,7	37,3	8,80
<i>Слов'янка</i>						
1	Без внесення (контроль)	2,15	0,11	49,8	42,4	5,30
2	Агрінос Д	2,41	0,14	57,2	43,6	6,89
3	Вегестим, РК	2,42	0,12	51,4	41,1	6,16
4	Вимпел-К (Агролайт -У)	2,12	0,11	55,8	41,9	5,70
5	Гумати	2,50	0,12	51,9	35,7	6,21

Слід зазначити, що посадковий матеріал картоплі більшою мірою доцільно розглядати не з точки зору вагових показників, а кількості бульб придатних для висадки. Як показали дослідження, застосування стимуляторів росту фракційний склад під дією препаратів у середньому по досліді збільшувався в сторону насінневих бульб від 1,7 % (Вимпел-К) до 3,5 % (Агрінос Д) та у крупної фракції від 1,5 % (Агрінос Д) до 5,3 % (Гумати).

В розрізі сортів найбільшу прибавку насінневих бульб формували посіви, які були оброблені Гуматами. Сорт, який виявив стійкість до застосування препаратів, була Слов'янка. Максимальне збільшення коефіцієнту розмноження у нього відзначалось при обробці

Гуматами (2,0), а на застосування Вимпел-К (Агролайт-У) рослини зменшили показник виходу насінневих бульб відносно контролю.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено, що використання регуляторів росту в посівах картоплі в умовах північно-східного Лісостепу України позитивно впливає на збільшення насінневої продуктивності, як у вагових, так і кількісних параметрах. При застосуванні препаратів виявлена різна реакція сортів на вид препарату. Найбільш впливовим на формування посадкового матеріалу виявилась система обробки посівів із застосуванням комплексу Гуматів. Меншою мірою на позакореневу обробку посівів регуляторами росту реагував сорт Слов'янка.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Agaronjan, A. G., Sargisjan, S. M., & Ter-Baljan, N. G. (2020). Sovmestnoe primenenie gerbicidev i stimujatora rosta na poljah kartofelja. [Co-application of herbicides and growth stimulants in potato fields] *Zashhita i karantin rastenij*, 12, 23–24.
2. Araujo, F. F., Santos, M. N., Costa, L. C., Moreira, K. F., Araujo, M. N., Martinez, P. A., & Finger, F. L. (2019). Changes on potato leaf metabolism and anatomy induced by plant growth regulators. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), 139–147. doi: 10.5539/jas.v11n7p139
3. Atanaw, T. (2021). Israel Zewide. Fertility Management on Potato (*Solanum tuberosum*L.). *Crop. Research & Reviews: Journal of Crop Science and Technology*, 10(1), 33–46. doi: 10.37591/RRJoCST
4. Barabolja, O. V., & Ljashenko, Є. S. (2018). Osoblivosti viroshhuvannja ta zberigannja kartopli. [Features of growing and storing potatoes] *Zbalansovaniy rozvitok agroekosistem Ukraïni: Suchasnij pogljad ta innovacii*, 132–135.
5. Barkovs'kij, O. M., & Kucenko, V. S. (1999). Vpliv peredposadkovogo obrobittu bul'b zahisnostimuljujuchimi preparatami na urozhaj kartopli. [The effect of pre-planting treatment of tubers with protective stimulants on the potato crop]. *Kartopljarstvo*, 29, 133–137.
6. Baybulatov, T. S., Magaramov, I. B., Chabibov, S. R., Islamov, M. G., & Minatullaev, S. M. (2018). Results of the Research on the Topic of Ecologically Safe Technology of Planting Potatoes with a Help of Liquid Organic Fertilizers. *practice*, 1(2), 3, 890–894.
7. Butenko, Є. Ju. (2018). Stvorennya vihidnogo materialu dlja selekcii kartopli pid dieju chinnikiv himichnogo mutagenezu. [Creation of source material for potato selection under the influence of chemical mutagenesis factors]. *Suchasni tendencii rozvitku nauki*, 10–12.
8. Bilins'ka, O. M., Kul'ka, V. P., Samec', N. P., & Golod, R. M. (2021). Vpliv zastosuvannja preparatu Al'bit na formuvannja nasinnevoi produktivnosti dobazovogo materialu kartopli. [The influence of application of the preparation Albit on formation of seed productivity of supplemental potatoe material]. *Visnik agrarnoi nauki Prichornomor'ja*, 2, 71–79. doi: 10.31521/2313-092X/2021-2(110)-9
9. Dospheov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience], Агропромиздат, Москва, 416.
10. Ekin, Z. (2019). Integrated use of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria to ensure higher potato productivity in sustainable agriculture. *Sustainability*, 11(12), 3417.
11. Grossi, C. E. M., Fantino, E., Serral, F., Zawoznik, M. S., Fernandez Do Porto, D. A., & Ulloa, R. M. (2020). *Methylobacterium* sp. 2A is a plant growth-promoting rhizobacteria that has the potential to improve potato crop yield under adverse conditions. *Frontiers in plant science*, 11, 71. doi: 10.3389/fpls.2020.00071
12. Juzjuk, O. Produktivnist' nasinnevoi kartopli zalezno vid udobrennja ta zastosuvannja reguljatoriv rostu v umovah zroshennja pivdnja Ukraïni [Productivity of seed potatoes depending on fertilizer and application of growth regulators in the conditions of irrigation of the south of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 68, 175–179.
13. Kabanec', V. M. Muzika, L. P., & German, B. O. (2013). Viroshhuvannja nasinnevoi i prodovol'choi kartopli na prisadibnih diljankah, v fermers'kih ta reformovanih gospodarstvah [Growing of seed and food potatoes on homesteads, in farms and reformed farms], 23–28.
14. Koltunov, V.A. Vajceshina, N.I., Borodaj, V.V., & Karmazina, L.Є. (2012). Vpliv obrobki biopreparatami na vrozhajnist', tovarnist', strukturu ta zbezhenist' bul'b kartopli zalezno vid umov viroshhuvannja i stroku sadinnja v zoni Polissja Ukraïni. [Influence of treatment with biological products on yield, marketability, structure and safety of potato tubers depending on growing conditions and planting period in the Polissya region of Ukraine]. *Kartopljarstvo Ukraïni*, 1–2(26–27), 35–43.
15. Korshunov, A. V., Simakov, E. A., Lysenko, Ju. N., Anisimov, B. V., Mitjushkin, A. V., & Gaitov, M. Ju. (2018). Aktual'nye problemy i prioritetnye napravlenija razvitija kartofelevodstva. [Actual problems and priority directions of innovative development of potato breeding] *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 32(3), 12–20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303
16. Kovalenko, O. A., & Olijnik, T. M. (2016). Zastosuvannja riznih agrotehnicnih prijomiv z vikoristannjam reguljatora rostu roslin Vimpel pri rozmnozheni ozdorovlenih in Vitro roslin kartopli v umovah pivnichno-shidnogo Lisostepu Ukraïni. [Application of various agrotechnical methods with the use of the plant growth regulator Vimpel in the propagation of healthy potato plants in Vitro in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Pidvishhennja effektivnosti virobnictva sil'skogospodars'koï produkcii v pivnichno-shidnomu regioni Ukraïni*, 141–145.
17. Kovalenko, O. A., Kravchenko, O. A., Sharana, M. G., & Kalic'kij P. F. (2007) Zastosuvannja reguljatoriv rostu roslin u suchasnij tehnologii viroshhuvannja kartopli [Application of plant growth regulators in modern potato growing technology]. *Kartopljarstvo Ukraïni*, 3–4(8–9), 9.

18. Kucenko, V. S., Osipchuk, A. A., Podgaec'kij, A. A., & Kononuchenko, V. V. (2002) Metodichni rekomendacii shhodo provedennja doslidzhen' z kartopleju. [Methodical recommendations for research with potatoes]. Institut kartopljarstva, Nemishaeve, 482.
19. Levin, V. I., Petruhin, A. S., & Antipkina, L. A. (2016). Sortovaja reakcija kartofelja na vozdejstvie reguljatorov rosta. [Varietal reaction of potato to the effect of growth regulators] Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. PA Kostycheva, 4 (32), 19.
20. M'jalkovs'kij, R., Bezikonnij, P., & Potaps'kij, Ju. (2021). Urozhajnist' kartopli sortu Miroslava zalezno vid rivnja mineral'nogo zhivlennja i gustoti sadinnja v umovah zahidnogo Lisostep [Yield of Myroslav potatoes depending on the level of mineral nutrition and planting density in the conditions of the Western forest steppe]. Nauka XXI st.: vikliki ta perspektivi, 2, 135–145. doi: 10.37406/sXXIcp.2021.v2.135.
21. Magomedov, R., Musaev, M., Magomedova, A., Musaeva, Z., & Kuramagomedov, A. (2021) Vlijanie biogumusa i reguljatorov rosta na urozhajnost' sortov rannego kartofelja v oroshaemyh uslovijah Dagestana. [Influence of vermicompost and growth regulators on the yield of early potato varieties under irrigated conditions in Dagestan]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN., 2, 50–59. doi: 10.35330/1991-6639-2021-2-100-50-59
22. Milyokhin, A. V., Bakunov, A. L., Dmitrieva, N. N., Rubtsov, S. L., & Shevchenko, S. N. (2020). Development rate of meristem potato plants (*Solanum tuberosum*) in vitro under the influence of biologically active product nano silicon. Research on Crops, 21(2), 291–295.
23. Moloc'kij, M. Ja., Fedorchuk, Ju .V., & Zhitnec'kij, K. V. (2009). Produktivnist' kartopli za kompleksnogo zastosuvannja dobriv i reguljatoriv rostu roslin v umovah central'nogo Lisostepu Ukraïni [Productivity of potatoes with complex application of fertilizers and plant growth regulators in the conditions of the central Forest-steppe of Ukraine]. Kartopljarstvo Ukraïni., №3–4 (16–17), 40–49.
24. Morozov, V. V., Fedorova, Y. N., Telpuk, M. B., & Fedorova, L. N. (2018). Factors of Increasing the Productivity of Potatoes In vitro. Advances in Engineering Research, 151, 712–716
25. Muleta, H. D., & Aga, M. C. (2019). Role of nitrogen on potato production: a review. Journal of Plant Sciences, 7(2), 36–42. doi: 10.11648/j.jps.20190702.11
26. Murashev, S. V., Kiru, S. D., Verzhuk, V. G., & Pavlov, A. V. (2020). Potato plant growth acceleration and yield increase after treatment with an amino acid growth stimulant. Agronomy Research 18(2), 494–506. doi: 10.15159/ar.20.036
27. Medvedeva, I. O., & Kostjukevich, T. K. (2020). Osoblivosti ta perspektivi viroshhuvannja kartopli v Poltav's'kij oblasti. Materiali vseukraïns'koï naukovo-praktichnoi konferencii «Rubinovs'ki chitannja», 26–27.
28. Neverov, A. A., Voskobulova, N. I., & Vereshhagina, A. S. (2018). Vlijanie obrabotki semjan reguljatorom rosta rastenij Mival-Agro na formirovanie urozhaja zerna kukuruzy v razlichnyh pogodnyh uslovijah [Effect of seed treatment with growth regulator Mival-Agro on the formation of corn grain yield in various weather conditions]. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo, 101(2), 209–217.
29. Polishhuk, M. I. (2021). Vpliv sposobiv ta strokiv zastosuvannja reguljatora rostu Emistim S na elementi produktivnosti sortiv kartopli v umovah Lisostepu Pravoberezhnogo. [The influence of methods and terms of application of the growth regulator Emistim C on the elements of productivity of potato varieties in the conditions of the Forest Steppe] Sciences of Europe, (72-2), 3–11.
30. Prishhepenko, E. A. (2020). Vlijanie biopreparatov kompleksnogo dejstviya na urozhajnost' kartofelja. [Formation of potato crop using complex biological products in the conditions of the volga region of the Republic of Tatarstan] Innovacionnye razrabotki i cifrovizacija v APK RF, 93–99.
31. Semenjuk, V. (2018). Produktivnist' kartopli zalezno vid zastosuvannja reguljatora rostu roslin Agat-25K [Potato productivity depending on the use of plant growth regulator Agate-25K] Zahist i karantin roslin, 64.
32. Smirnova, T., Temereva, I., Panov, S., & Stepanova, T. (2021). The Efficiency of Pre-Sowing Seed Treatment with Trace Element Solutions. KnE Life Sciences, 593–600. doi: 0000-0002-1123-0472
33. Trembic'ka, O., Klimenko, T., & Fedorchuk, S. (2020). Vpliv reguljatoriv rostu na jakist' bul'b kartopli. [Influence of growth regulators on the quality of potato tubers] Zbirk naukovih prac' AOGOΣ, 93-95.
34. Uromova, I. P., Kozlov, A. V., Kuposova, N. N., Volkova, A. V., Vershinina, I. V., Avdeev, Y. M., & Tesalovsky, A. A. (2019). Growth regulators as a factor of optimizing the biometric parameters and productivity of improved potatoes in nursery conditions. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(7), 756–758.
35. Vladimirov, V. P., Mostjakova, A. A., Egorov, L. M., & Agiev, F. F. (2019). Produktivnost' kartofelja v zavisimosti ot sposoba primenenija reguljatora rosta i raschetnom fone mineral'nogo pitaniya na seroj lesnoj pochve lesostepi Srednego Povolzh'ja. [Potato productivity depending on the method of application of growth regulator and calculated background of mineral nutrition on the gray forest steppe soil of Middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 14(S4-1), 21–26. doi: 10.12737/2073-0462-2020-21-26
36. Wróbel, S., Keşy, J., & Treder, K. (2017). Effect of growth regulators and ethanol on termination of dormancy in potato tubers. American Journal of Potato Research, 94(5), 544–555.

**Kabanets V. M.**, Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor, Director, Institute of Agriculture of the North-East of NAAS of Ukraine, Sad, Ukraine

**Onychko V. I.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Muzika L .P.**, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Institute of Agriculture of the North-East of NAAS of Ukraine, Sad, Ukraine

**Berdin S. I.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Variety response to the formation of the yield of clubs when treating potato crops with growth regulators**

Potato growing is almost the only branch of the agro-industrial complex of Ukraine, the production volumes of which have not changed significantly during the last 70 years. At present, about 98 % of total potato production is grown on small farms, homesteads and cottages, which makes its adjustments to the technology of cultivation.



Annual potato areas in Ukraine are 1.4–1.5 million ha, and gross production of 18–20.5 million t – about 6 % of world production (fifth in the world after China, Russia, India and the United States) at yield 12.0–13.9 t/ha, which is much lower than the biological capacity of the crop. The main reasons for low potato yields are: poor quality of planting material (violation of the principle of varietal renewal and timely varietal replacement), non-compliance with crop rotation, lack and inefficient use of fertilizers, plant protection products, non-compliance with basic technology conditions. The main areas of increasing yields and potato production are: improving cultivation technology, the main link of which is a clear system of seed production, introduction into the production of new varieties, varietal farming techniques and the use of high-yielding planting tubers.

The quality of seed material of any crop is the basis of its yield. Given the high cost of planting potato tubers, increasing the reproduction rate of high-generation seeds is a factor in reducing the cost of planting material. The use of growth stimulants allows not only to increase the yield of seed tubers per hectare, but also to solve it in an environmentally friendly way. Given the significant number of growth stimulating drugs and their sensitivity to soil and climatic conditions in the case of application, it is important to conduct a wide range of zonal studies to select the most effective growth stimulants.

The biological reaction of Skarbnytsia, Shchedryk, Slovyanka varieties to foliar treatment of potato crops with growth regulators Agrinos D, Vegestim, RK, Vimpel-K (Agrolight-U), humate (Gumifild BP-18, Fulvital Plus) was studied in the researches carried out at the Institute of Agriculture of North-East of NAAS of Ukraine. The object of research were the processes of formation of seed productivity of the culture under the action of these drugs. It is determined that in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe the positive influence of all investigated drugs on the formation of seed productivity is established. Peculiarities of biological reactions of varieties to the formation of components of seed productivity are revealed. The average weight yield of seed tubers was from 40.5 % in the variety Shchedryk to 45.9 % in the variety Skarbnytsia. The use of humates in most cases significantly increased seed productivity, but in the structure of yield, their weight was much lower than control.

It should be noted that the planting material of potatoes is more appropriate to consider not in terms of weight, but in terms of the number of tubers suitable for planting. In structural terms, without crops treatment with growth-stimulating drugs, the tubers of the small fraction average 49.2 % of the total. Foliar application of growth regulators reduces the share of this fraction by 5.0–7.6 %, while the fraction of large tubers increases by 1.5–5.3 %, and seed tubers – by 1.5–3.5 %. Agrinos D and Vegestim had the greatest effect on the yield of the seed fraction. In terms of varieties with the use of growth stimulants, the fractional composition on average in the experiment increased in the direction of seed tubers from 1.7 % (Vimpel-K) to 3.5 % (Agrinos D). Despite the fact that the biological characteristics of varieties significantly affect the efficiency of treatment with growth regulators to increase seed yield from the potato bush, it was found that in terms of varieties the largest increase of seed tubers formed crops that were treated with humates. The increase of the reproduction coefficient of the varieties Skarbnytsia and Shchedryk was determined by 4.2–4.7 pieces/bush, respectively. The Slovyanka variety was the least reactive to the use of drugs. The maximum increase in its reproduction rate was observed when treated with Humates (2.0), and when using Vimpel – K (Agrolight-U) the plants reduced the yield of seed tubers relative to control.

As a result of the research it is natural to generalize that the use of growth regulators in potato crops in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe has a positive effect on the increase of seed productivity, both in weight and in quantitative parameters. When using drugs revealed a different reaction of varieties to the type of drug. The most influential on the formation of planting material was the system of crop treatment using the complex of Humates. The Slovyanka variety reacted to a lesser extent to foliar treatment of crops with growth regulators.

**Key words:** potatoes, yield, seed fractions, number of tubers, mass of tubers.

## ЕНЕРГІЯ ПРОРОСТАННЯ ТА ПОЛЬОВА СХОЖІСТЬ НАСІННЯ КАРТОПЛІ ВІД СХРЕЩУВАННЯ ТА САМОЗАПИЛЕННЯ

**Подгаєцький Анатолій Адамович**

доктор сільськогосподарських наук, професор  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-002-2130-8835  
podgaje@ukr.net

**Шаповал Роман Миколайович**

аспірант  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-8702-6523  
romanschapoval1995@meta.ua

**Кравченко Наталія Володимирівна**

доктор сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-002-4190-0924  
kravchenko\_5@ukr.net

*У статті наведені результати дослідження енергії проростання гібридного насіння за участю складних міжвидових гібридів та від їх самозапилення і сортів, а також лабораторної схожості виконаних у Сумському національному аграрному університеті в 2018 році. В окремих блоках комбінацій за участі однакової батьківської форми доведений значний вплив на енергію проростання гібридного насіння компонентів схрещування. Наприклад, серед чотирьох комбінацій із запилювачем міжвидовим гібридом білоруської селекції 212.110-12 різниця у прояві показника становила 15,2 % з найменшим вираженням у комбінаціях з материнськими формами 83.58с52 і 85.291с12, відповідно, самозапилення чотиривидового гібрида та одноразового беккреса шестивидового гібрида.*

*Різниця за енергією проростання насіння у п'яти комбінаціях із запилювачем видом *S. andigenum* була 16,1 %, проте у чотирьох (за винятком використання материнською формою одноразового беккреса шестивидового гібрида 86.96с32) вона виявилась 9,9 %. Близькі дані до викладених отримані у чотирьох комбінаціях за участі запилювачем міжвидового гібрида білоруської селекції 212.31-10.*

*Виявлений специфічний вплив компонентів схрещування на проростання гібридного насіння впродовж 5–9 діб. Найкращі результати отримані серед насіння з походженням 86.96с32 х *S. andigenum* – 28,3 %. Досить високими вони були ще в трьох популяціях за участю виду. Виняток становило використання материнською формою дворазового беккреса шестивидового гібрида 89.721с81 – 9,2 %.*

*У 54,1% комбінацій лабораторна схожість насіння становила 90 % і більше з максимальним проявом показника в гібридного насіння Щедрик х Подолія – 96,8 %. В іншій популяції за участі згаданої материнської форми також отримані високі результати – 95,4 %.*

*Найвища енергія проростання насіння від самозапилення виявлена в сорту Ірбицька (90,8 %) та міжвидових гібридів 81.436с4 і 81.1546с103 – по 90,0 %. Протилежне стосувалось сорту Аніка (76,0 %) та одноразового беккреса шестивидового гібрида 85.291с12 (77,2 %). Максимальну лабораторну схожість мало насіння від самозапилення сорту Межирічка – 96,0 % та чотиривидового гібрида 81.1546с103 – 97,5 %. Виявлено, що за енергією проростання гібридне насіння поступилося виділеному від самозапилення сортів на 6,0 %, а міжвидових гібридів – на 5,2 %, а щодо лабораторної схожості це, відповідно, становило 3,7 та 3,1 %.*

*Лише в окремих комбінаціях: 90.691/21 х Світанок київський, 81.397с50 х 212.31с10 і 891.1546с103 енергія проростання насіння була вищою, ніж у насінні від самозапилення. Водночас, в популяції 83.58с52 х 212.110-12 різниця виявлена найбільшою та від'ємною – 16,1 %. Щодо лабораторної схожості насіння тільки в двох комбінаціях: 90.691/21 х Світанок київський і 81.397с50 х 212.31-10 різниця з матеріалом від самозапилення була додатною, хоча і з невеликою різницею – 0,2 %.*

**Ключові слова:** картопля, складні міжвидові гібриди, сорти, гібридне насіння, насіння від самозапилення, енергія проростання насіння, лабораторна схожість.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.5>

**Вступ.** Картопля – найважливіша у світі харчова культура (Meenakshi Kumari et al., 2018). Серед світового виробництва бульб близько 66 % використовується як їжа, 12 % – як корм для тварин і 10 % – як насіння (FAO). Значною мірою викладене стало реальністю завдяки

досягненням селекції культури, основу якої становить генетичне різноманіття вихідного матеріалу для гібридизації (Hayder et al., 2007; Yermishin et al., 2021), значну частину якого складають дикорослі та культурні види (Kiru & Rogozina, 2017). Незважаючи на міжвидову

несумісність в процесі міжвидової гібридизації картоплі (Pershina & Trubacheeva, 2016; Gavrilenko & Yermishin, 2017; Anisimova, 2017; Polyucjvich, 2018), усе більше дикорослих та культурних видів залучаються у селекційну практику. Завдяки гетерозису, основаному на гетероалелізмі (Muthoni et al., 2012), значна частина міжвидових гібридів перевищує сорти-стандарту за проявом численних господарсько-цінних ознак (Podhaietskyi, 2012; Podhaietskyi et al., a, 2019; Podhaietskyi et al., 2020). Крім цього, лише завдяки інтрогресії ефективних генів контролю стійкості проти численних збудників хвороб, шкідників від співродичів культурної картоплі у сорти (Rogozina & Khavkin, 2017) вдалося вирішити проблеми, які ставили під сумнів можливість вирощування культури.

Згідно схеми, селекційний процес картоплі починається з гібридизації та вирощування сіянців першого року (Bondarchuk et al., 2019). Саме від цих етапів залежить загальний обсяг оцінюваних гібридів і сіянців від самозапилення. Складнощі у їх виконанні спостерігаються дослідниками повсякчас. Результати експериментів (Sobran et al., 2021) свідчать, що для гібридизації, у тому числі за участю міжвидових гібридів, сприятливим зовнішнім комплексом є умови Українських Карпат. Лише в окремі роки у цьому місці не вдається отримати гібридні ягоди.

Не менш важливим для селекційного процесу є схожість ботанічного насіння картоплі. Згідно результатів дослідження (Hniteckiy, 2021) у окремих комбінаціях частка пророслого насіння була менше 80 %, а з походженням Верді x Струмок становила тільки 6,9 %. Метою експерименту було вивчення енергії проростання та лабораторну схожість гібридного насіння, отриманого від бекросування міжвидових гібридів та від самозапилення.

**Матеріали і методи досліджень.** Вихідним матеріалом для схрещування використані складні міжвидові гібриди за участі дикорослих: *S. bulbocastanum* Dun., *S. demissum* Lindl., *S. acaule* Bitt., та культурних: *S. phureja* Juz. et Buk., *S. andigenum* Juz. et Buk., *S. tuberosum* L. видів картоплі. У походженні окремих комбінацій запилювачем був зразок виду *S. andigenum* (A). Запилювачі популяції 212 отримані з Інституту картоплярства та овочівництва НАН республіки Білорусь. Буквою «П» позначались гібриди Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН України. Також використовувалось насіння від самозапилення сортів та міжвидових гібридів.

Методи виконання експерименту загальноприйняті для проведення селекційно-генетичних досліджень. Пророщували насіння в чашках Петрі, потім вирощували у посівних ящиках, парниках з наступною пересадкою у поле (Metodychni rekomendacii' shhodo provedennja doslidzen' z kartopleju, 2002). Частину насіння одержали з Карпатського опорного пункту Інституту картоплярства НААН України (буква «з» після номера). Енергія проростання насіння визначалась за часткою пророслого насіння на четверту добу після намочування (Zhatova, 2010), а лабораторна схожість на дев'ятий день.

**Результати.** Як свідчать отримані дані (табл. 1), за енергією проростання комбінації значно різнились. Мінімальною величиною показника характеризувалась попу-

ляція з походженням Аніка x 96.976/20 – 60,0 %. Протилежне стосувалось комбінації П.09-1 x 11.24/46 – 94,0 %, тобто з різницею у 34,0 %. Водночас, слід відмітити, що у більшості комбінацій енергія проростання виявилась досить високою. У 17-ти популяціях частка насіння, яке наклонулось у перші чотири доби, було менше 80 % і тільки у п'яти вираження показника було нижче 70 %.

Використання однакових запилювачів або материнських форм дозволило виявити вплив компонентів схрещування на енергію проростання насіння. У чотирьох популяціях запилювачем використано чотириразовий бекрос шестивидового гібрида – 96.976/20. Як свідчать отримані дані, найкращою материнською формою для згаданого гібрида щодо енергії проростання насіння виявився сорт Злагода (87,7 % пророслого насіння). Протилежне стосувалось сорту Аніка з найменшим вираженням показника – 60,0 %. Тобто, різниця серед цього блоку популяцій за вираженням показника становила 27,7 %.

У чотирьох комбінаціях запилювачем був вид *S. andigenum*. У цьому випадку також мала місце значна різниця за енергією проростання насіння, що залежало від особливостей бекросів міжвидових гібридів. Найкращі результати отримані за використання материнською формою дворазового бекросу шестивидового гібрида 89.721c81 – 80,9 %, а найгірші з дворазовим бекросом шестивидового гібрида 86.96c32 – 64,8 %. Різниця між популяціями становила 16,1 %.

Особлива реакція за проявом показника мала місце у блоці комбінацій із гібридом Інституту картоплярства та плодоовочівництва НАН Республіки Білорусь 212-110-12. Вдалою материнською формою виявився одноразовий бекрос п'ятивидового гібрида 81.436c4 з часткою пророслого насіння на четверту добу 83,3 %. Протилежне стосувалось материнської форми, одержаної від самозапилення чотиривидового гібрида 83.58c52 та одноразового бекросу шестивидового гібрида 85.291c12. У них отримані дуже близьке та низьке вираження показника, відповідно, 68,1 та 69,8 %.

Вдалим поєднанням для отримання високої енергії проростання насіння було використання білоруського гібрида 212.31-10. В усіх трьох популяціях за його участю найнижчий прояв показника становив 79,5 %, а різниця між комбінаціями виявилась мінімальною у досліді – 8,3 %.

Значні відмінності між популяціями за вираженням ознаки мали місце також за участю компонентів схрещування сортів та міжсортних гібридів. Стосовно сорту Щедрик (материнська форма), серед чотирьох комбінацій кращим запилювачем був гібрид Поліського дослідного відділення П11.17-1 – 83,8 %. Протилежне відносилося до сорту Ірбицька – 70,0 %, тобто різниця між ними становила 13,8 %.

Найбільша частка пророслого насіння впродовж 5–9 доби – близько 30 % виявлена тільки у двох популяціях: 86.96c32 x А та Джасія x 11.23/47. Не проросло жодної насінини у цей період у комбінації П.09.62-1 x 11.24/46 і дуже низьке вираження показника відмічено у популяції 81.1546c103 x 212.31-10 – 4,2 %. У 20-ти комбінаціях з 37-ми частка пророслого насіння була 90 % і більше. Водночас, у трьох вона не перевищила 76,7 %, у

## Енергія проростання та лабораторна схожість гібридного насіння (2018 р.)

Комбінація, №	Походження	Закладено на пророщування, шт.	Енергія проростання		Проросло на 5–9 добу		Всього проросло	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Злагода х 96.976/20	267	225	84,3	23	8,6	248	92,9
2	Партнер х 96.976/20	161	132	82,0	14	8,7	146	90,7
3	81.386с65 х 212-110-12	160	125	78,1	23	14,4	148	92,5
4	81.386с65 х 212.47-1	250	215	86,0	20	8,0	235	94,0
5	81.397с50 х 212. 31-10	188	165	87,8	9	4,8	174	92,6
6	81.436с4 х 212-110-12	90	75	83,3	8	8,9	83	92,2
7	81.436с4 х 212.31-10	83	66	79,5	5	6,0	71	85,5
8	81.1546с103 х 212.31-10	72	61	84,7	3	4,2	64	88,9
9	81.1546с103 х 212.47-1	65	49	75,4	4	6,2	53	81,5
10	81.397с50 х 212.47-1	267	205	76,8	34	12,7	239	89,5
11	83.58с52 х 212-110-12	72	49	68,1	13	18,1	62	86,1
12	85.291с12 х 212-110-12	86	60	69,8	6	7,0	66	76,7
13	85.291с12 х 212.47-1	84	61	72,6	13	15,5	74	88,1
14	Аніка х 96.976/20	15	9	60,0	2	13,3	11	73,3
15	Злагода х 96.976/20	155	136	87,7	9	5,8	145	93,5
16	Злагода х 90.676/210	70	53	75,7	10	14,3	63	90,0
17	Іванківська р. х 90.676/210	189	136	72,0	36	19,0	172	91,0
18	86.96с32 х А	446	289	64,8	126	28,3	415	93,0
19	89.721с81 х А	251	203	80,9	23	9,2	226	90,0
20	90.666/19 х А	162	115	71,0	21	13,0	136	84,0
21	90.679/8 х 212.31-10	150	114	76,0	24	16,0	138	92,0
22	90.679/8 х А	432	334	77,3	64	14,8	398	92,1
23	90.690/61 х А	167	125	74,9	20	12,0	145	86,8
24	90.691/21 х Св. київський	181	151	83,4	10	5,5	161	89,0
25	90.694/7 х Св. київський	40	28	70,0	5	12,5	33	82,5
1з	П 09.62-1х Околиця	250	198	79,2	34	13,6	232	92,8
2з	Джасія х 81.459с18	250	202	80,8	28	11,2	230	92,0
3з	П.09.62-1х П.11.32/16	250	188	75,2	36	14,4	224	89,6
4з	Джасія х П.11.23/47	250	157	62,8	84	33,6	241	96,4
5з	П.09.62-1х П.11.24/46	250	235	94,0	0	0,0	235	94,0
6з	Межирічка х П.11.23/47	234	186	79,5	12	5,1	198	84,6
7з	Щедрик х Ірбицька	250	175	70,0	16	6,4	191	76,4
8з	Щедрик х П.11.17-1	99	83	83,8	6	6,1	89	89,9
9з	П.09.62-1 х 81.197с14	250	216	86,4	20	8,0	236	94,4
10з	11.32/56 х Янка	250	189	75,6	32	12,8	221	88,4
11з	Щедрик х Батя	216	178	82,4	28	13,0	206	95,4
12з	Щедрик х Подолія	154	125	81,2	24	15,6	149	96,8

що свідчить про значний вплив компонентів схрещування на вираження показника. Поміж насіння від самозапилення найбільшу енергію проростання мав сорт Ірбицька – 90,8 % (табл. 2). Протилежне стосувалось сорту Аніка – 76,0 %, тобто з різницею між ними 14,8 %, що, вважаємо значними відмінностями у характеристиці за проявом показника.

Серед міжвидових гібридів два мали енергію проростання 90,0 %: одноразовий беккрос п'ятивидового гібрида 81.436с4 і чотиривидовий гібрид 81.1546с103. Навпаки, в одноразового беккроса шестивидового гібрида 85.291с12 величина показника становила 77,2 %

або на 12,8 % менше, ніж у згаданого вище. У більшості популяцій від самозапилення сортів на 5–9 добу проросла значна кількість насіння. Максимально це виявлено в сорту Аніка – 18,0 %, а найменшою величиною показника характеризувався сорт Ірбицька – 4,8 %.

Інше, порівняно з викладеним вище, спостерігалось серед міжвидових гібридів, їх беккросів. За винятком трьох: 81.386с65, 81.397с50 і 85.291с12, величина показника була менше 10 %. Максимальна кількість пророслого насіння відмічена поміж самозапилення шестивидового гібрида 81.397с50, а мінімальна – 81.436с4, що також є шестивидовим гібридом.



У цілому, тільки серед самозапилення сорту Світанок ківський лабораторна схожість насіння становила менше 90 %, а максимальною вона була в сорту Межирічка – 96,0 %. Різниця між сортами виявилась невеликою – 7,2 %. Інше, порівняно з викладеним вище, стосувалось міжвидових гібридів, їх беккросів. Лабораторна схожість насіння від самозапилення дворазового беккроса чотиривидового гібрида 90.694/7 становила 85,0 %, а чотиривидового гібрида 81.1546с103 – 97,5 %. Тобто, різниця між ними сягала 12,5 %, що значно більше, ніж у сортів.

Результати проведення порівняння енергії проростання та лабораторної схожості насіння, залежно від його походження, наведені у табл. 3. За проявом першого показника значно поступалось гібридне насіння, порівняно з отриманим від самозапилення. Різниця поміж самозапилення сортів та гібридним насінням становила 6,0 %, а останнім та самозапиленням міжвидових гібридів, їх беккросів – 5,2 %. Водночас, залежно від вихідного матеріалу за проявом показника, різниця самозапилення сортів та міжвидових гібридів, їх беккросів була невеликою – 0,8 %.

Дещо інше спостерігалось щодо частки пророслого насіння на 5–9 добу після намочування. Відмінність між самозапиленням, залежно від вихідного матеріалу, становила тільки 0,1 %, в гібридного насіння це виражалось

12,4 %, тобто на 2,2 % більше, порівняно з самозапиленням сортів, що, вважаємо невеликою різницею.

За проявом лабораторної схожості виділилось насіння від самозапилення сортів з проявом показника 94,2 % (табл. 3). Лише на 0,6 % поступалось йому самозапилення міжвидових гібридів, їх беккросів. Найнижче вираження показника відмічене серед гібридного насіння – 90,5 %.

**Обговорення.** Енергія проростання насіння та лабораторна схожість має велике значення не лише для селекційних цілей, але й для вирощування картоплі з ботанічного насіння (Kuchumov, 1990; Gordijenko & Podgajec'kuj, 2000, Podgajec'kuj, 2002). Порівняння викладених даних з отриманими раніше в дослідженні гібридного насіння, одержаного за участю міжвидових гібридів, їх беккросів та у результаті схрещування сортів свідчить, що за винятком декількох комбінацій мали місце близькі результати стосовно енергії проростання насіння і, особливо, його лабораторної схожості (Podgajec'kuj et al., b, 2019). В іншій роботі (Sobran, 2019) встановлений позитивний вплив на енергію проростання насіння, лабораторну схожість гібридного насіння окремих материнських форм, наприклад, дворазового беккроса шестивидового гібрида 08.195/73, на одному з етапів створення якого схрещували два міжвидові гібриди. Водночас, за енергією проростання комбінації

Таблиця 2

**Енергія проростання та лабораторна схожість насіння від самозапилення сортів та міжвидових гібридів (2018 р.)**

Комбінація, №	Походження	Закладено на пророщування, шт.	Енергія проростання		Проросло на 5–9 добу		Всього проросло	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%
1	Аніка	50	38	76,0	9	18,0	47	94,0
2	Злагода	250	202	80,8	30	12,0	232	92,8
3	Світанок ківський	80	61	76,3	10	12,5	71	88,8
4	Межирічка	250	212	84,8	28	11,2	240	96,0
5	Ірбицька	250	227	90,8	12	4,8	239	95,6
6	81.386с65	70	56	80,0	11	15,7	67	95,7
7	81.397с50	200	157	78,5	34	17,0	191	95,5
8	81.436с4	70	63	90,0	3	4,3	66	94,3
9	81.459с18	180	154	85,6	15	8,3	169	93,9
10	81.1546с103	80	72	90,0	6	7,5	78	97,5
11	83.58с52	120	101	84,2	11	9,2	112	93,3
12	85.291с12	250	193	77,2	31	12,4	224	89,6
13	90.694/7	20	16	80,0	1	5,0	17	85,0
14	96.976/20	250	221	88,4	18	7,2	239	95,6
15	212.31-10	250	208	83,2	23	9,2	231	92,4

Таблиця 3

**Енергія проростання та лабораторна схожість насіння залежно від особливостей вихідного матеріалу (2018 р.)**

Походження	Закладено на пророщування, шт.	Енергія проростання		Проросло на 5–9 добу		Всього проросло		
		шт.	%	шт.	%	шт.	%	
Гібридне насіння	6806	5313	78,1	845	12,4	6158	90,5	
Самозапилення	сортів	880	740	84,1	89	10,2	829	94,2
	беккросів міжвидових гібридів	1490	1241	83,3	153	10,3	1394	93,6

з материнською формою сортом Верді значно різнились. В наших дослідженнях виявилась можливість порівняти за життєздатністю насіння, отриманого від схрещування та самозапилення однієї з батьківських форм. У двох популяціях за участі запилювачем сорту Світанок київський енергія проростання насіння мала як додатне (+ 7,1), так і від'ємне (- 6,3) відхилення від прояву ознаки серед самозапилення сорту (табл. 4).

Значна та від'ємна різниця у прояві показника мала місце за порівняння самозапилення шестивидового гібрида 81.436с4 та двох комбінацій за його участю: - 6,7 та - 10,5 %. Аналогічне стосувалось самозапилення чотиривидового гібрида 83.58с52 і чотиривидового гібрида 81.1546с103. Виявлене невелике відхилення від прояву показника серед самозапилення міжвидового гібриду білоруської селекції 212.31-10 і трьох популяцій за його участю. Зустрічалась як від'ємна різниця 81.436с4 x 212.31-10 (- 3,7 %), так і додатна з комбінаціями 81.397с50 x 212.31-10 і 81.1546с103 x 212.31-10, відповідно, + 4,6 і + 1,5 %. За рідкісним винятком, комбінації за участі материнською формою шестивидового гібрида 81.436с4 та самозапилення чотиривидового гібрид 83.58с52 різниця між самозапиленням компонентів схрещування та потомства від схрещування, яке проросло на 5–9 добу, була від'ємною. Викладене також стосувалось всього пророслого насіння (лабораторна схожість), проте з іншими популяціями: 90.691/21 x Світанок київський і 81.397с50 x 212.31-10.

Значна та від'ємна різниця у прояві показника мала місце за порівняння самозапилення шестивидового гібрида 81.436с4 та двох комбінацій за його участю: - 6,7 та - 10,5 %. Аналогічне стосувалось самозапилення

чотиривидового гібрида 83.58с52 і чотиривидового гібрида 81.1546с103. Виявлене невелике відхилення від прояву показника серед самозапилення міжвидового гібриду білоруської селекції 212.31-10 і трьох популяцій за його участі. Зустрічалась як від'ємна різниця 81.436с4 x 212.31-10 (- 3,7 %), так і додатна з комбінаціями 81.397с50 x 212.31-10 і 81.1546с103 x 212.31-10, відповідно, + 4,6 і + 1,5 %. За рідкісним винятком: комбінації за участю материнською формою шестивидового гібрида 81.436с4 та самозапилення чотиривидового гібрид 83.58с52 різниця між самозапиленням компонентів схрещування та потомства за їх участю за часткою насіння, яке проросло на 5–9 добу була від'ємною. Викладене також стосувалось всього пророслого насіння (лабораторна схожість), проте з іншими популяціями: 90.691/21 x Світанок київський і 81.397с50 x 212.31-10.

**Висновки.** В окремих блоках комбінацій за участі однакової батьківської форми доведений значний вплив на енергію проростання гібридного насіння компонентів схрещування. Наприклад, серед серед чотирьох комбінацій із запилювачем міжвидовим гібридом білоруської селекції 212.110-12 різниця у прояві показника становила 15,2 % з найменшим вираженням у комбінаціях з материнськими формами 83.58с52 і 85.291с12, відповідно, самозапилення чотиривидового гібрида та одноразового беккреса шестивидового гібрида.

Різниця за енергією проростання насіння у п'яти комбінаціях із запилювачем видом *S. andigenum* становила 16,1 %, проте у чотирьох (за винятком використання материнською формою одноразового беккреса шестивидового гібрида 86.96с32) вона була 9,9 %. Близькі дані до викладених отримані у чотирьох комбінаціях за участю запилювачем міжвидового гібрида білоруської селекції 212.31-10. Виявлений специфічний вплив компонентів схрещування на проростання гібридного насіння впродовж 5–9 днів. Найвищі результати отримані серед насіння з походженням 86.96с32 x *S. andigenum* – 28,3 %. Досить високими вони були ще в трьох популяціях за участі виду. Виняток становило використання материнською формою дворазового беккреса шестивидового гібрида 89.721с81 – 9,2 %. У 54,1 % комбінацій лабораторна схожість насіння становила 90 % і більше з максимальним проявом показника в гібридного насіння Щедрик x Подолія – 96,8 %. В іншій популяції за участю згаданої материнської форми також отримані високі результати – 95,4 %. Найвища енергія проростання насіння від самозапилення встановлена в сорту Ірбицька (90,8 %) та міжвидових гібридів 81.436с4 і 81.1546с103 – по 90,0 %. Протилежне стосувалось сорту Аніка (76,0 %) та одноразового беккреса шестивидового гібрида 85.291с12 (77,2 %). Максимальну лабораторну схожість мало насіння від самозапилення сорту Межирічка – 96,0 % та чотиривидового гібрида 81.1546с103 – 97,5 %. Виявлено, що за енергією проростання гібридне насіння поступалося виділеному від самозапилення сортів на 6,0 %, а міжвидових гібридів – 5,2 %. Щодо лабораторної схожості це, відповідно, становило 3,7 та 3,1 %. Лише в окремих комбінаціях: 90.691/21 x Світанок київський,

Таблиця 4

**Енергія проростання та лабораторна схожість насіння компонентів схрещування і гібридного (± до самозапилення)**

Походження	Енергія проростання %	Проросло на 5-9 добу %	Всього проросло %
90.691/21 x Св. київський	+7,1	-7,0	+0,2
90.694/7 x Св. київський	-6,3	0,0	-6,3
Світанок київський	76,3	12,5	88,8
81.436с4 x 212-110-12	-6,7	+4,6	-2,1
81.436с4 x 212.31-10	-10,5	+1,7	-8,8
81.436с4	90,0	4,3	94,3
81.1546с103 x 212.31-10	-5,3	-2,1	-8,6
81.1546с103 x 212.47-1	-14,6	-2,0	-16,0
81.1546с103	90,0	7,5	97,5
83.58с52 x 212-110-12	-16,1	+8,9	-7,2
83.58с52	84,2	9,2	93,3
85.291с12 x 212-110-12	-7,4	-6,3	-12,9
85.291с12 x 212.47-1	-4,6	-8,5	-1,5
85.291с12	77,2	12,4	89,6
81.397с50 x 212. 31-10	+4,6	-4,4	+0,2
81.436с4 x 212.31-10	-3,7	-3,2	-6,9
81.1546с103 x 212.31-10	+1,5	-5,0	-3,5
212.31-10	83,2	9,2	92,4

81.397с50 х 212.31с10 і 891.1546с103 енергія проростання насіння була вищою, ніж у насінні від самозапилення. Водночас, в популяції 83.58с52 х 212.110-12 різниця виявилась найбільшою та від'ємною – 16,1 %.

Щодо лабораторної схожості насіння тільки у двох комбінаціях: 90.691/21 х Світанок київський і 81.397с50 х 212.31-10 різниця з матеріалом від самозапилення була додатною, хоча і з невеликою різницею – 0,2 %.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Anasimova, I. N. (2017). Citoplazmatischekaja mužhskaja steril'nost' i perspektivy ee ispol'zovanija v selekcionno-geneticheskikh issledovanijah i semenovodstve kartofelja [Cytoplasmic male sterility and prospects for its use in breeding and genetic studies and potato seed production]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 21(1), 83–95 (in Russian). doi: 10.18699/VJ.226
2. Bondarchuk, A. A., Koltunov, V. A., Olijnyk, T. M., Furdyga, M. M., Vyshnevs'ka, O. V., Osypchuk, A. A., Kuprijanova, T. M. & Zaharchuk, N. A. (2019). Kartopljарstvo: metodyka doslidnoi' spravy [Potato growing: research methodology]. *TVORY, Vinnycja*, 649 (in Ukrainian).
3. FAO. Food Agriculture Organization. 2010. Access mode: [www.fao.org.in](http://www.fao.org.in).
4. Hayder, A., Ahmed, M. B., Hannan, M. M., Razvy, M. A., Mandal, M. A., Salahin, M., Karim, R., & Hossain, K. M. (2007). Analysis of genetic diversity in some potato varieties grown in Bangladesh. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 2(3-4), 143–145.
5. Hnitechkyi, M. O. (2021). Peculiarities of manifestation of economic traits among offspring from interspecific and intervarietal crossings of potatoes. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Sumy, 198.
6. Ermishin, A. P., Voronkova, E. V., Kozlov, V. A., Roljuhovich, Ju. V., Luksha, V. I., Levyj, A. V., Jakovleva, G. A., Semanjuk, T. A., Dubinich, V. L., & Rod'kina, I. A. (2021). Mezhvidovaja gibridizacija v selekcii kartofelja [Interspecific hybridization in potato breeding]. *Belarusskaja navuka, Minsk*, 396 (in Russian).
7. Gavrilenko Y. A. & Yermishin A. H. (2017). Interspecific hybridization of potato: theoretical and applied aspects. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 21(1), 16–29. doi: 10.18699/VJ17.220.
8. Gordijenko, V. V., & Podgajec'kyj, A. A. (2000). Analiz skladovyh genofondu kartopli za prydatnistju dlja vyroshhuvannja z vykorystannjam botanichnogo nasinnja [Analysis of the components of the potato gene pool for suitability for cultivation using botanical seeds]. *Kartopljарstvo*, 30, 113–117 (in Ukrainian).
9. Kiru, S. D., & Rogozina, U. V. (2017). Mobilizacija, sohranenie i izuchenie geneticheskikh resursov kul'tiviruemogo i dikorastushhego kartofelja [Mobilization, conservation and study of the genetic resources of cultivated and wild potatoes]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 21(1), 7–15 (in Russian). doi: 10.18699/VJ17.219
10. Kuchumov, V. O. (1990). Shema proizvodstva kartofelja na osnove nastojanih gibridnyh semjan [Potato production scheme based on infused hybrid seeds]. *Selekcija i semenovodstvo*, 2, 41–43 (in Russian).
11. Meenakshi, Kumari; Manoj, Kumar; & Shchshcank, Shekhar Solankey (2018). Breeding Potato for Quality Improvement. Submitted: May 8th 2017 Reviewed: October 5-th 2017 Published; June 6th 2018. doi: 10.5772/intechopen.71482.
12. Metodichni rekomendacii' shhodo provedennja doslidzhen' z kartopleju [Methodical recommendations for conducting research with potatoes]. (2002). *IK, Nemishajeve*, 183.
13. Muthoni, J., Shimelis, H., Melis, R., & Kabira, J. (2012). Reproductive biology and early generation's selection in conventional potato breeding. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 488–497.
14. Pershina, L. A., & Trubacheeva, N. V. (2016). Interspecific incompatibility in wide hybridization of plants and ways to overcome. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 20(4), 416–425. doi: 10.18699/VJ16.082.
15. Podgajec'kyj, A. A. (2002). Vyroshhuvannja kartopli z vykorystannjam botanichnogo nasinnja. *Kartoplja* [Growing potatoes using botanical seeds. Potato]. T.1. Bila Cerkva, 290–313 (in Ukrainian).
16. Podhaietskyi, A. A. (2012). Mezhvidovaja gibridizacija v selekcii kartofelja v Ukraine [Interspecies crosses in potato breeding in Ukraine]. *Vavilov journal of genetics and breeding*, 2, 16, 471–479 (in Russian).
17. Podgajec'kyj, A. A., Kravchenko, N. V., & Gnitech'kyj, M. O. (2019). a. Projav seredni'oi' masy bul'b sered potomstva vid mizhvydovyh ta mizhsortovyh shreshhuvan' kartopli [Manifestation of the average mass of tubers among the offspring from interspecific and interspecific crossings of potatoes]. *International Scientifics and practical conference Topical issues of Methods of teaching natures sciences. Poland. Lublin. December 27–28*, 30–33 (in Ukrainian).
18. Podgajec'kyj, A. A., Krjuchko, L. V., & Gnitech'kyj, M. O. (2019). b. Zhyttjezdatsnist' gibrydnogo nasinnja kartopli ta vtraty materialu pid chas vyroshhuvannja sijanciv pershogo roku [Viability of hybrid potato seeds and loss of material during the cultivation of seedlings in the first year]. *Visnyk Harkivs'kogo NAU. Serija «Roslynnnyctvo, selekcija i nasinnnyctvo, plodoovochivnyctvo i zberigannja»*, 2, 45–55 (in Ukrainian). doi: 10.35550/ISSN2413-7642/2019/02/05.
19. Podgaekij, A. A., Gnitech'kyj, M. O., Kravchenko, N. V., & Shapoval, R. N. (2020). Produktivnost' potomstva ot mezhvidovyh i mezhsortovyh skreshhivanij kartofelja [Productivity of offspring from interspecific and intervarietal crossing of potatoes]. *Sb. nauchn. tr. «Kartofelevodstvo»*. Minsk, 27, 24–29 (in Russian).
20. Poljuhovich, Ju. V. (2018). Geneticheskoe raznoobrazie citoplazm dikogo allotetraploidnogo vida kartofelja *Solanum stoloniferum* v reshenii problemy mužhskoj steril'nosti mezhvidovyh gibridov [Genetic diversity of cytoplasm of the wild allotetraploid potato species *Solanum stoloniferum* in solving the problem of male sterility of interspecific hybrids]. *Vesci NAAN Belarusi. Ser. Biol nauk*, 63(1), 33–38 (in Russian).
21. Rogozina, E. V., & Khavkin, E. E. (2017). Interspecific potato hybrids as donors of durable resistance to pathogens. *Vavilovskij zhurnal genetyky i selekcii*, 21(1), 30–41. doi: 10/18699/VJ17.221
22. Sobran, I. V. (2019). Produktivnist' potomstv, oderzhanyh v procesi bekkrosuvannja skladnyh mizhvydovyh gibrydiv kartopli [Productivity of offspring obtained in the process of backcrossing of complex interspecific potato hybrids]. *Dys. ... na zdobuttja nauk. stupenja kandydata s.-g. nauk. Sums'kyj NAU. Sumy*, 215 (in Ukrainian)..

23. Sobran, V. M., Podgajec'kyj, A. A., & Sobran, I. V. (2021). Intensyfikacija selekciynogo procesu kartopli z vykorystannjam umov Ukraïns'kyh Karpat [Intensification of potato selection process using the conditions of the Ukrainian Carpathians]. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference: Science and Education: problems, prospects and innovations. Kyoto, Japan 4–6 February, 895–900 (in Ukrainian).

24. Zhatova, G. O. (2010). Zagal'ne nasinnjeznavstvo [General seed science]. Navchal'nyj posibnyk. Universytets'ka knyga, Sumy, 272 (in Ukrainian).

**Podhaiyetskiy A. A.**, Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Shapoval R. M.** PhD Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Kravchenko N. V.**, Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Germination energy and field similarity of potato seeds from crossing and self-pollination**

*the article presents the results of the study of germination energy of hybrid seeds with the participation of complex interspecific hybrids and their self-pollination and varieties, as well as laboratory similarity performed at Sumy National Agrarian University in 2018. In separate blocks of combinations with the participation of the same parental form, a significant effect on the germination energy of hybrid seeds of crossbreeding components has been proved. For example, among the four combinations with pollinator interspecific hybrid of Belarusian selection 212.110-12, the difference in the manifestation of the indicator was 15.2 % with the least expression in combinations with maternal forms 83.58s52 and 85.291s12, respectively, self-pollination of four-species hybrid and single backcross hybrid.*

*The difference in seed germination energy in five combinations with the pollinator of *S. andigenum* was 16.1 %, but in four (except for the use of the mother form of a single backcross of the six-species hybrid 86.96s32) it was 9.9 %. Similar data to the above were obtained in four combinations with the participation of the pollinator interspecific hybrid of Belarusian selection 212.31-10. The specific influence of crossbreeding components on the germination of hybrid seeds within 5–9 days was revealed. The best results were obtained among seeds with origin 86.96s32 x *S. andigenum* – 28.3 %. They were quite high in three more populations involving the species. The exception was the use of the mother form of double backcross six-species hybrid 89.721s81 – 9.2 %. In 54.1 % of combinations, the laboratory germination of seeds was 90 % or more with the maximum manifestation of the hybrid seed Shchedryk x Podoliya – 96.8 %. In another population with the participation of the mentioned maternal form also obtained high results – 95.4 %.*

*The highest energy of seed germination from self-pollination was found in the variety Irbytska (90.8 %) and interspecific hybrids 81.436s4 and 81.1546s103 – 90.0 % each. The opposite was true for the Anika variety (76.0 %) and the one-time backcross of the six-species hybrid 85.291s12 (77.2 %). The maximum laboratory germination had seeds from self-pollination of Mezhyrichka variety – 96.0 % and four-species hybrid 81.1546c103 – 97.5 %. It was found that in terms of germination energy, hybrid seeds yielded to self-pollinated varieties by 6.0 %, and interspecific hybrids – by 5.2 %, and in terms of laboratory germination, it was 3.7 and 3.1 %, respectively.*

*Only in some combinations: 90.691 / 21 x Svitnok kyivskiy, 81.397s50 x 212.31s10 and 891.1546s103 seed germination energy was higher than in seeds from self-pollination. At the same time, in the population of 83.58s52 x 212.110-12, the difference was the largest and negative – 16.1 %. Regarding the laboratory germination of seeds in only two combinations: 90.691 / 21 x Svitnok kyivskiy and 81.397s50 x 212.31-10 the difference with the material from self-pollination was positive, although with a small difference – 0.2 %.*

**Key words:** potatoes, complex interspecific hybrids, varieties, hybrid seeds, self-pollination seeds, seed germination energy, laboratory germination.



**ВИВЧЕННЯ ФІТОРІЗНОМАНІТТЯ ДОЛИНИ РІЧКИ СИРОВАТКА З ПЕРСПЕКТИВОЮ ВИКОРИСТАННЯ ЇЇ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ В ЕКОЛОГІЧНОМУ ТУРИЗМІ**

**Скляр Вікторія Григорівна**

доктор біологічних наук, професор  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-1301-7384  
skvig@ukr.net

**Тихонова Олена Михайлівна**

кандидат біологічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-0961-4896  
ur5apn@ukr.net

**Кирильчук Катерина Серіївна**

кандидат біологічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-9968-4833  
ekaterinakir2017@gmail.com

**Клименко Ганна Олександрівна**

кандидат біологічних, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1859-4997  
annaklimenko2014@gmail.com

**Онопрієнко Володимир Петрович**

доктор педагогічних наук, професор  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
onoprienko.v.p@ukr.net

**Бондарєва Людмила Миколаївна**

кандидат біологічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-4126-7601  
milabond77@gmail.com

**Троцька Світлана Сергіївна**

кандидат біологічних наук, ст. викладач  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-2089-5780  
s.s.trotska@gmail.com

**Клименко Юлія Олександрівна**

студентка  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
klimenkou147@gmail.com

*В роботі представлені результати вивчення фіторізноманіття природних комплексів ділянки долини річки Сироватки між селами Верхня Сироватка та Новоселиця Сумського району. Показано, що цій території притаманне значне видове різноманіття, яке представлене рослинами, що мають різні ранги охорони (регіональний, державний і міжнародний). Група рослин міжнародного рангу охорони є найбільшою і включає близько 50 видів. Її формують рослини, включені до «Червоного списку МСОП». Майже усі вони (окрім одного) мають невисокий охоронний статус (LC – знаходяться під найменшою загрозою). Із числа видів, включених до «Червоної книги України», виявлено небагаточисельну популяцію *Iris pineticola* Klokov, а із рослин, представлених у «Переліку видів, які підлягають особливій охороні на території Сумської області» – *Salix rosmarinifolia* L. та *Crataegus ucrainica* Pojark.*

Значним є і ценотичне різноманіття, репрезентоване угрупованнями водної, повітряно-водної, лучної та лісової рослинності. Багате фіторізноманіття у комплексі із рівнинністю території та близькістю до населених пунктів, у тому числі і до м. Суми, формують об'єктивне підґрунтя щодо залучення цієї території до туристичної, рекреаційної та еколого-просвітницької діяльності. Найбільш перспективним є впровадження екологічного туризму, який пов'язує у собі питання економічного, соціального та екологічного характерів. З метою поглиблення знань про формування, сучасний стан та динаміку розвитку природних комплексів долини річки Сироватки, необхідно продовжити геоботанічні та зоологічні дослідження даної території. Окрім того, доцільно привести лісовий масив в естетично-привабливий стан, зокрема, видалити смітники з подальшим облаштуванням рекреаційних зон. З врахуванням багатого біорізноманіття території доцільно розглянути і питання щодо надання їй природоохоронного статусу з обранням категорії, яка дозволить як поліпшити охорону рослинного і тваринного світу, так і надасть можливість реалізовувати рекреаційну та туристичну діяльність.

**Ключові слова:** фіторізноманіття, навколишнє природне середовище, екологічний туризм, екологія людини, природні ландшафти.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.6>

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку туристичної галузі одним із пріоритетних напрямів сталого розвитку територій став екологічний туризм. Туристичний сектор є висококонкурентним середовищем, яке змушує турсервісників надавати кращі послуги для відвідувачів, щоб залишатися конкурентоспроможними (Barkin, 2002; Vashtoviy et al., 2018). В екологічному туризмі, ніша якого постійно розширюється на туристичному ринку, біотичні та абіотичні компоненти навколишнього середовища відіграють вирішальну роль у сприянні стійкості та конкурентоспроможності цього напрямку. Серед провідних мотивів туристських подорожей на перший план виступає прагнення людей до відпочинку в лоні природи. Звідси походить вислів «soft tourism», що означає «м'який туризм» – туризм з м'яким дотиком до природи. Екологічний та сільський зелений туризм тісно пов'язані з екологією людини, адже певною мірою вирішують проблему її реабілітації та емоційного оздоровлення. Дослідження низки вчених доводять, що естетика ландшафтного фіторізноманіття чинить позитивний психологічний вплив на емоційний і соматичний стан людини (Skrebets, 2005; Copylets, 2009; L'ovochkina, 2003). Окрім того, екологічний туризм з його великими рекреаційними і пізнавальними можливостями покликаний сформувати суспільну свідомість щодо охорони та раціонального використання природних багатств, донести до людей актуальність і важливість питання захисту навколишнього середовища від антропогенних впливів. У провідних країнах світу екологічний туризм стає супутником і невід'ємною частиною всіх видів туризму, є регулятивним важелем управління раціональним природокористуванням, завдяки просвітницькому потенціалу (Dmytruk, 2002; Kozenja, 2005; Honey, 2008). Окрім того, екотуризм може сприяти розвитку економічної складової регіону (Hunt, 2015).

Деякі автори відносять екологічний туризм до пізнавального відпочинку на природоохоронних територіях, але більшість дослідників вважають, що розвиток цієї галузі покликаний вирішити екологічні проблеми природних ландшафтів, адже одним із ключових аспектів глобальних змін є зниження їх екологічної цілісності (Burger & Joanna, 2000). Колишні ліси і заплавні луки як осередки біорізноманіття та екосистеми, які мігруючі тварини використовують в якості тимчасових притулків, перетворюються на мозаїку деградованих ділянок. Руйнування

місць існування видів неухильно веде до зниження біорізноманіття окремих екосистем і біосфери у цілому, що є однією з глобальних проблем людства, вирішенню якої присвячена значна кількість наукових праць (Duru & Viñuales, 2018; Wilsey, 2018; Salk et al., 2020; Kaur, 2018; Sui et al., 2018; Rahman, 2018; Segelbacher, 2018; Cardinale et al., 2011; Mace et al., 2012). Якщо ситуація не зміниться, біорізноманіття неухильно буде знижуватись навіть на природоохоронних територіях. Саме орієнтацією на екологічну складову пояснюється підвищена увага в останні роки до відвідування заповідних ділянок природи або місць із малозміненим природним середовищем (Skliar, 2014).

В світі існує дві моделі екологічного туризму – австралійська, де організація туризму відбувається у межах дикої природи та західноєвропейська, коли подорожі проводяться у межах природоохоронних територій. В Україні пріоритетною моделлю розвитку екотуризму є остання (Posohov & Sagaidachna, 2019). Одним із найважливіших екологічних завдань країни є збереження біорізноманіття рослинного та тваринного світу на заповідних територіях та природних ландшафтах без охоронного статусу, які слугують екологічними коридорами для мігруючих тварин (Skliar et al., 2012; Bondarieva et al., 2019; Klymenko et al., 2011). За умов раціонального підходу до організаційних питань, екологічний туризм може покращити стан природних ландшафтів як середовища існування рідкісних видів тварин та рослин. Відповідно, виявлення територій із багатим біорізноманіттям, що є перспективними для використання у сфері екологічного туризму, є актуальним питанням, яке має вагомий соціальний зачіп.

**Матеріали і методи досліджень.** До числа територій, перспективних для використання в екологічному туризмі, належать долини малих річок і, зокрема, р. Сироватка, яка протікає по території Сумського району Сумської області і є лівою притокою р. Псел. Протягом 2019–2020 років було здійснене вивчення природних комплексів долини цієї річки у межах ділянки, яка охоплює територію між селами Верхня Сироватка та Новоселиця (рис. 1). Теоретичні методи базувалися на аналізі наукової літератури з проблематики дослідження і супроводжувалися систематизацією, класифікацією та узагальненням літературних даних (Shel'jag-Sosonko, 1971; Skliar et al., 2020; Korovjakova et al., 2015). В ході

польових досліджень проводилось натурне обстеження території, визначалися типові угруповання, які репрезентують видове різноманіття долини р. Сироватки. В процесі роботи були використані стандартні групи методів: спостереження, аналітичний, картографічний, статистичний. В камеральних умовах було здійснено обробку гербарного матеріалу, а також проведено визначення належності описаних екоотопів до територій, перспективних для використання в екологічному туризмі.

**Результати.** За фізико-географічним районуванням України досліджуваний регіон знаходиться у межах Східно-Європейської рівнини, в Лісостеповій природній зоні, Східно-Українському краю, в Сумській схилово-височинній області. За геоботанічним районуванням територія дослідження знаходиться в Сумському геоботанічному окрузі кленово-липово-дубових, липово-дубових, дубових, дубово-соснових лісів і лучних степів (Магунсх, 2003). Його геологічні умови визначаються положенням на північному схилі Дніпровсько-Донецької западини, де докембрійський кристалічний фундамент знаходиться на глибинах від 0,5 до 3,0 км. На докембрійському фундаменті залягають товщі осадових порід від девонських до четвертинних. Найбільш давніми з них, які виходять на поверхню, є крейдові мергелі та глини, піски. Антропогенні відклади представлені лесами і лесоподібними суглинками, водно-льодовиковими суглинками і пісками, давньоозерними утвореннями, алювіальними й еоловими піщаними відкладами (Sobolev, 1947).

Нині, як і у геологічному минулому, потужним чинником формування природних комплексів та їх важливим компонентом виступають поверхневі води. Результатом їхньої діяльності є формування долин річок, а також геологічних відкладів певного складу та потужності. Ці ж дві характеристики, у свою чергу, відбиваються на стані ландшафтів. Долина р. Сироватки представлена природними комплексами терасових горбистих піщаних рівнин з дерново-підзолистими ґрунтами, з борами

і суборами по корінному берегу та широкою заплавою. На лучно-болотних заплавах рівнининах, переважно на лучних і лучно-болотних ґрунтах та опідзолених чорноземах на лесових суглинках, поширені сильно- і середньозволожені різнотравні та осокові луки, вербняки, вільшняки, осичники. У середній частині заплави луки – різнотравні та подекуди осокові. Притерасна заплава зайнята осоковими, різнотравно-осоковими луками, вільшняками. У заплавах наявні старичні озера, заболочені левади із водно-болотною рослинністю.

Одна з найцінніших ділянок луків разом із болотами, озером і корінним берегом простягається у межах території дослідження. Ці низинні луки ніколи не оброблялися людиною, через що збереглося їх унікальне біорізноманіття. Ліси, що увійшли до складу обстежуваної території, є складним поєднанням штучних посадок і змінених природних комплексів. Важливою складовою території є річка, яка перетинає її зі сходу на захід. Ширина водотоку здебільшого становить 5–6 м. Водойма є місцем формування угруповань із домінуванням рослин-макрофітів. На поверхні води у невеликих заводях сформувалися популяції ряски малої (*Lemna minor* L.)\* серед яких трапляються поодинокі рослини спіродели багатокореневої (*Spirodella polyrrhiza* (L.) Schleid.)\*. У воді спостерігаються зарості куширу зануреного (*Ceratophyllum demersum* L.)\* та водяного жовтеця водного (*Batrachium aquatile* (L.) Dumort.)\*. У північній частині озера, яке сформувалося у результаті поглиблення стариці задля видобутку піску, знаходиться рясне угруповання глечиків жовтих (*Nuphar lutea* (L.) Sm.)\* із проективним покриттям 25–30 %.

У прибережній зоні водойм домінують рогіз широколистяний (*Typha latifolia* L.)\*, очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.)\* та сусак зонтичний (*Butomus umbellatus* L.)\*, спорадично трапляється частуха подорожникова (*Alisma plantago-aquatica* L.)\*, куга озерна (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla)\*, жабурник звичайний (*Hydrocharis morsus-ranae* L.)\*. По берегах

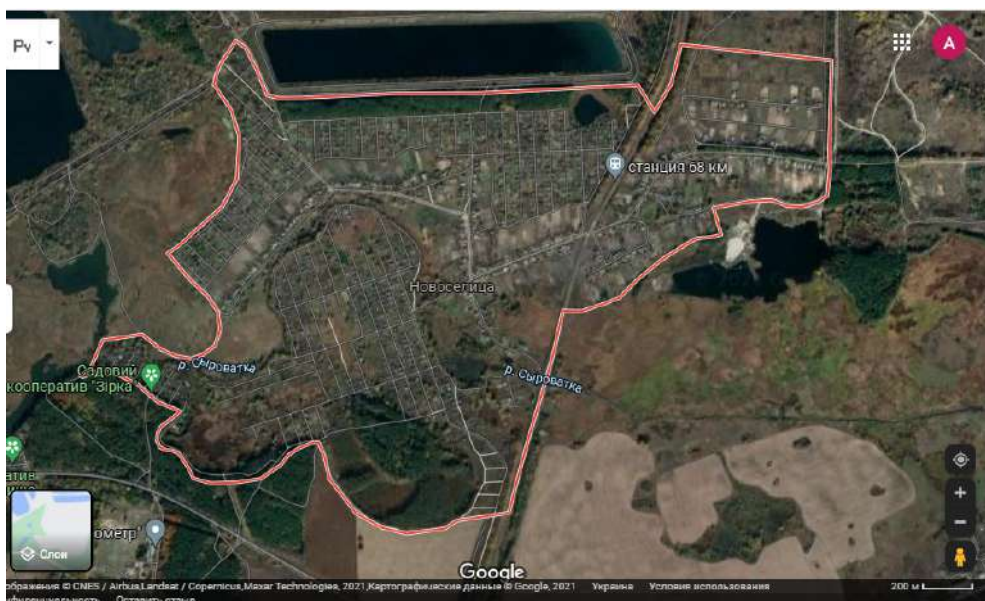


Рис. 1. Долина р. Сироватка між селами Верхня Сироватка та Новоселиця



річки розкинулися зарості гірчака почечуйного (*Persicaria maculosa* Grey.)\* з проективним покриттям 60 % та сідача коноплевого (*Eupatorium cannabinum* L.). Прибережна рослинність представлена різноманіттям таких гідрофільних видів як комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus* L.)\* – 10 %, осока побережна (*Carex riparia* Curt.)\*, осока гостровидна (*Carex acutiformis* Ehrh.)\*, хвощ річковий (*Equisetum fluviatile* L.)\*, зніт болотний (*Epilobium palustre* L.)\*, череда трироздільна (*Bidens tripartita* L.)\*, зірочник болотяний (*Stellaria palustris* Ehrh. Ex Hoffm.), вероніка струмкова (*Veronica beccabunga* L.)\*, слабник водяний (*Myosoton aquaticum* (L.) Moench.), ситник жаб'ячий (*Juncus bufonius* L.)\*. Тут також зростають тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.)\*, перстач гусячий (*Potentilla anserina* L.)\*, конюшина повзуча (*Trifolium repens* L.), вовконіг європейський (*Lycopus europaeus* L.)\*, підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.), плетуша звичайна (*Calystegia sepium* (L.) R. Br.)\*, вербозілля звичайне (*Lysimachia vulgaris* L.)\*, скажений огірок звичайний (*Ecballium elaterium* (L.) A. Rich), щавель прибережний (*Rumex hydrolypatum* Huds.)\*, шоломниця списолиста (*Scutellaria hastifolia* L.), паслін чорний (*Solanum nigrum* L.), подорожник великий (*Plantago major* L.)\*, герань лучна (*Geranium pratense* L.).

З обох боків водотоку в смузї шириною 10–20 м представлена вологолюбна деревна та чагарникова рослинність. Домінантами виступають вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.)\*, верба п'ятитичинкова (*Salix pentandra* L.)\*, верба козяча (*Salix caprea* L.)\*. Спорадично трапляються осика звичайна (*Populus tremula* L.)\*, маслинка вузьколиста (*Elaeagnus angustifolia* L.), верба ламка (*Salix fragilis* L.), тополя біла (*Populus alba* L.)\*, береза повисла (*Betula pendula* Roth.)\*, клен американський (*Acer negundo* L.), в'яз гладкий (*Ulmus laevis* L.)\*. Подекуди ростуть поодинокі рослини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.)\*, горобини звичайної (*Sorbus aucuparia* L.)\*, груші звичайної (*Pyrus communis* L.)\*, глоду колючого (*Crataegus oxyacantha* L.), клену польового (*Acer campestre* L.), дуба звичайного (*Quercus robur* L.)\*. Повнота деревостану складає 0,5. У ярусі чагарників зростають бузина чорна (*Sambucus nigra* L.), верба тритичинкова (*Salix triandra* L.)\*, рідше – верба розмаринолиста (*Salix rosmarinifolia* L.) та глід український (*Crataegus ucrainica* Pojark.). Два останніх види належать до тих, що підлягають особливій охороні на території Сумської області. Під наметом деревно-чагарникової рослинності домінує костриця лучна (*Festuca pratensis* Huds.) з проективним покриттям 40 %. Серед тіньовитривалих трав переважають угруповання яглиці звичайної (*Aegopodium podagraria* L.), розрив-трави звичайної (*Impatiens noli-tangere* L.)\*, кропиви дводомної (*Urtica dioica* L.)\*, чистотілу звичайного (*Chelidonium majus* L.), кропиви жалкої (*Urtica urens* L.), болиголову плямистого (*Conium maculatum* L.), підмаренника чіпкого (*Galium aparine* L.), поодинокі трапляється папороть чоловіча (*Dryopteris filix-mass* (L.) Schott). На галявинах сформовані угруповання таких видів як гадючник в'язолистий (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.)\*, кунічник наземний (*Calamagrostis epigeios* L.). Подекуди тра-

пляється будяк пониклий (*Carduus nutans* L.), лопух справжній (*Arctium lappa* L.), морква дика (*Daucus carota* L.), дивина чорна (*Verbascum nigrum* L.), пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.), розхідник звичайний (*Glechoma hederacea* L.). По деревах плетуться зарості хмелю звичайного (*Humulus lupulus* L.) та дівочого винограду п'ятилисточкового (*Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch.).

Загалом, у межах досліджуваної території у водоймі та прибережній смузї р. Сироватки зростає 41 вид, включений до «Червоного списку МСОП» (тут і далі за текстом їх відзначено позначкою «\*»). При цьому 40 видів мають категорію раритетності рівня LC (знаходяться під найменшою загрозою) та один (*Ulmus laevis* Pall.) – ще нижчий охоронний статус (рівня DD: даних недостатньо). Виявлено і два види, занесені до «Переліку видів, які підлягають особливій охороні на території Сумської області».

На високих ділянках корінного правого берега розташовані лучні та лісові угруповання. У лісовому масиві біля озера у першому ярусі домінує *P. sylvestris*\* віком 50–60 років з проективним покриттям 90 %, формуючи сухий бор. Зімкнутість першого деревного ярусу здебільшого становить 0,8–0,9. В другому ярусі домінує *Robinia pseudoacacia* L., подекуди трапляється *Corylus avellane* L., *B. pendula*\*, *U. laevis*\*, *Q. robur*\*, *P. tremula*\*.

У трав'яному ярусі соснового лісу домінують тонконіг дібровний (*Poa nemoralis* L.) з проективним покриттям 30 % та осока шорстковолиста (*Carex hirta* L.). Проективне покриття інших видів не перевищує 3–6 % – куртинами розкидані угруповання мітлиці собачої (*Agrostis canina* L.) та костриці овечої (*Festuca ovina* L.), подекуди трапляється мітлиця повзуча (*Agrostis stolonifera* L.)\*, *C. epigeios*, пирій повзучий (*Elytrigia repens* (L.) Gould.), *Lysimachia vulgaris*\*, молочай лозний (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.), *Tanacetum vulgare*, гравілат міський (*Geum urbanum* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), поодинокі – грабельки звичайні (*Erodium cicutarium* (L.) L'Her.), нечуйвітер волохатенький (*Pilosella officinarum* F.W. Schultz & Sch. Bip.). В південній та східній частинах соснового лісу знайдено два локалітети півників борових (*Iris pineticola* Klokov) загальною площею 13 м<sup>2</sup>, занесених до Червоної книги України. В південно-західній частині лісового масиву значну площу займає угруповання купини багатоквіткової (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.). В пониженнях рельєфу трапляються хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.)\*, безщитник жіночий (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert.) та *Dryopteris filix-mass* (L.) Schott.

Отже, у складі лісових фітоценозів, що займають підвищені ділянки долини р. Сироватки, та фітоценозів суходільних луків з яскраво вираженим процесом самозаліснення виявлено сім видів рослин, які включено до «Червоного списку МСОП». шість із них (за винятком *Ulmus laevis*) мають ранг охорони рівня LC. Тут зростає один вид, включений до «Червоної книги України».

Найбільшу площу у межах досліджуваної території займають заплавні луки. Домінантами лучної рослинності виступають *Carex hirta* – місцями із проективним покриттям до 50 %, *Epilobium palustre*\* – до 10 %. Значною



мірою (при проективному покритті 3–5 %) представлені щучка дерниста (*Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv.), *Calamagrostis epigeios*, *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*\*, стоколос безостий (*Bromopsis inermis* Leyss.), райграс пасовищний (*Lolium perenne* L.), тимофіївка лучна (*Phleum pratense* L.), перстач повзучий (*Potentilla reptans* L.), осот польовий (*Cirsium vulgare* (Savi) Ten.), осот жовтий (*Sonchus arvensis* L.), латук дикий (*Lactuca serriola* L.), скереда покривельна (*Crepis tectorum* L.), герань лучна (*Geranium pratense* L.), осока рання (*Carex praecox* Schreb.), *Carex acutiformis*\*, пастернак дикий (*Pastinaca sylvestris* Mill.), морква дика (*Daucus carota* L.), *Solidago canadensis*, *Elytrigia repens*, *Equisetum arvense*\*, парило звичайне (*Agrimonia eupatoria* L.), *Trifolium pratense*\*, *Trifolium repens*.

Не більше 1–2 % проективного покриття лучного різноманіття займають такі трави, як цикорій дикий (*Cichorium intybus* L.), конюшина середня (*Trifolium medium* L.), люцерна жовта (*Medicago falcata* L.), горошок мишачий (*Vicia cracca* L.), *Plantago major*\*, деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.)\*, злинка канадська (*Erigeron canadensis* L.), жовтець їдкий (*Ranunculus acris* L.), підмаренник справжній (*Galium verum* L.), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Webb. ex F.H.Wigg.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.), чистець болотний (*Stachys palustris* L.)\*, костриця овеча (*Festuca ovina* L.), *E. virgata*, щавель кислий (*Rumex acetosa* L.).

Окремими групами зростають *Eupatorium cannabinum*, живокіст лікарський (*Symphytum officinale* L.), щавель кінський (*Rumex confertus* Willd.), полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), конюшина суницевидна (*Trifolium fragiferum* L.), *Tussilago farfara*, будяк акантовидний (*Carduus acanthoides* L.), татарник звичайний (*Onopordum acanthium* L.), *Arctium lappa*, оман британський (*Pentanema britannicum* (L.) D. Gut. Larr.), *Potentilla anserina*\*, дзвінець великий (*Rhinanthus angustifolius* C.C.Gmel.), *Plantago major*\*. Таким чином, у формуванні трав'янистих фітоценозів заплавних лук беруть участь вісім видів рослин, включених до «Червоного списку МСОП» із охоронним статусом рівня LC.

**Обговорення.** Результати вивчення фіторізноманіття однієї із ділянок долини р. Сироватка свідчать про те, що цій території притаманне значне видове багатство: тут зростають рослини, які мають різні ранги охорони (регіональ-

ний, державний, міжнародний). Група видів міжнародного рангу охорони є найбільшою, її формують рослини, включені до «Червоного списку МСОП». Майже усі вони (окрім одного) мають невисокий охоронний статус (LC). Значним є і ценотичне різноманіття, репрезентоване угрупованнями водної, повітряно-водної, лучної та лісової рослинності.

Багате фіторізноманіття у комплексі із рівнинністю території та близькістю до населених пунктів, у тому числі і до м. Суми, формують об'єктивне підґрунтя щодо залучення цієї території до туристичної, рекреаційної та еколого-просвітницької діяльності. За таких умов актуальності набуває питання щодо розробки тактики та стратегії реалізації зазначених заходів, у тому числі розробки маршрутів, еколого-туристичних стежок, їхнього маркування та облаштування, виготовлення рекламної продукції, дотримання вимог техніки безпеки та природоохоронного законодавства.

З метою поглиблення знань про формування, сучасний стан та динаміку розвитку природних комплексів долини р. Сироватки необхідно продовжити геоботанічні та зоологічні дослідження території. Окрім того, доцільно привести лісовий масив в естетично-привабливий стан, зокрема, видалити смітники з подальшим облаштуванням рекреаційних зон. З врахуванням багатого біорізноманіття території доцільно розглянути і питання щодо надання цій території природоохоронного статусу з обранням категорії, яка дозволить як поліпшити охорону рослинного і тваринного світу, так і надасть можливість реалізовувати рекреаційну та туристичну діяльність.

**Висновки.** Дослідження фіторізноманіття заплави р. Сироватки виявило природні комплекси, які цілком можливо використовувати в екологічному туризмі. Досить високий рівень різноманіття і відносно значний ступінь антропогенної трансформованості – характерні ознаки природи досліджуваної території.

Незважаючи на виявлення основних показників щодо складу і стану природних комплексів території, питання подальшого її дослідження не втрачає актуальності. Особливу увагу необхідно приділяти аспектам антропогенного впливу на стан, зміни тих чи інших компонентів природних комплексів. За умови активного залучення цієї території до туристичної та рекреаційної діяльності буде зростати і значущість впровадження моніторингових досліджень за станом фіторізноманіття, його динамікою під впливом цих видів антропогенного впливу.

#### Бібліографічні посилання:

1. Barkin, D., & Bouchez, C. P. (2002). NGO–Community Collaboration for Ecotourism: A Strategy for Sustainable Regional Development. *Current Issues in Tourism*, 5(3–4), 245–253. doi: 10.1080/13683500208667921
2. Bashtovyi, M. H., Skliar, V. H., Tykhonova, O. M., & Skljjar, Ju. L. (2018). Turistychny cluster Sumshyny: geomonitoring obektiv ekologichno-orientovanogo turizmu yak skladova stalogo rozvitku regionu [Sumy region tourism cluster: geomonitoring of ecologically oriented tourism objects as a component of sustainable development of the region]. *Visnyk Sumskogo universytetu, Economics and management*, 8(77), 143–148 (in Ukrainian).
3. Bondarieva, L. M., Kyrylchuk, K. S., Skliar, V. H., Tykhonova, O. M., Zhatova, H. O., & Bashtovyi, M. G. (2019). Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 204–211.
4. Burger, J. (2000). Landscapes, tourism, and conservation. *Science of the Total Environment*, 249(1–3), 39–49. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00509-4.
5. Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. D., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M.I. & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany*, 98(3), 572–592. doi: 10.3732/ajb.1000364

6. Copylec', Je. V. (2009). Traktuvannja ponjattja ekologichnyh cinnisnyh orijentacij u teorii' ekologichnoi' osvity i vyhovannja [Interpretation of the concept of ecological value orientations in the theory of ecological education and upbringing]. Slovjans'k: SDPU, 14, 184 – 188 (in Ukrainian).
7. Dmytruk, O. Ju., & Shhur, Ju. V. (2002). Ekologichnij turizm jak didaktichna osnova racional'nogo prirodokoristuvannja ta geoeologichnoi' osvity [Ecological tourism as a didactic basis of rational nature management and geoeological education]. Regional'ni ekologichni problemi, 36, 45–50 (in Ukrainian).
8. Dupuy, P., & Viñuales, J. (2018). International Environmental Law (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge, 594. doi: 10.1017/9781108399821
9. Geologicheskij ocherk Sumskoj oblasti [Geological feature article of the Sumy region] (1947). Red. D. N. Soboleva, L. I. Karjakina, I. P. Cherneckogo. Sumy, Bil'shovic'ka zbroja, 375 (in Russian).
10. Hunt, C. A., Durham, W. H., Driscoll, L., Honey, M. (2015). "Can ecotourism deliver real economic, social, and environmental benefits? A study of the Osa Peninsula, Costa Rica". Journal of Sustainable Tourism, 23(3), 339–357. doi: 10.1080/09669582.2014.965176. ISSN 0966-9582. S2CID 55684006.
11. Honey, M. (2008). Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns Paradise? (Second ed.). DC: Island Press, Washington, ISBN 978-1-59726-125-8.
12. Kaur, A. (2018) Conservation of Plant Biodiversity Current Strategies and Future Needs. International Journal of Scientific Research in Biological Sciences, 5(4), 109–113. doi: 10.26438/ijrsbs/v5i4.109113
13. Klymenko, G. O., Zlobin, Ju. A., & Bjelan, S. S. (2011). Shljahy vdoskonalennja ohorony ridkisnyh vydiv roslyn v Ukrai'ni [The ways of improving protection of rare plant species in Ukraine]. Vcheni zapysky Tavrichnogo nacional'nogo universytetu im. V. I. Vernads'kogo. Ser. Biologija ta himija, 24(63), 1, 52–59 (in Ukrainian).
14. Kozenja, E. Y. (2005). K sushhnosti voprosa ob ekologicheskom soznanny [To the essence of the question of environmental consciousness]. Aktual'ni problemy psihologii': zb. nauk. prac', 7(5), 1, 214–218 (in Russian).
15. Korovjakova, T. O., & Tyhonova, O. M. (2015). Cenopopuljacii' invazijnogo vydu Stenactis (Phalacrocoma) annua (L). Cass. na zaplavnyh lukah richky Psel (Sums'ka oblast') [Cenopopulations of invasive species Stenactis (Phalacrocoma) annua (L). Cass. on floodplain meadows of the river Psel (Sumy region)]. Visnyk Cherkas'kogo universytetu, 2(335), 60–66 (in Ukrainian).
16. L'ovochkina, A. M. (2003). Ekologichna psihologija. Navchal'nyj posibnyk [Environmental Psychology: A Textbook]. Milenium, K., 120 (in Ukrainian).
17. Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. Trends in Ecology and Evolution, 27(1), 19–26. doi: 10.1016/j.tree.2011.08.006
18. Marynych, O. M., Parhomenko, G. O., Petrenko, O. M., & Shyshhenko, P. G. (2003). Udoskonalena shema fizyko-geografichnogo rajonuvannja Ukrai'ny [Improved scheme of physical and geographical zoning of Ukraine]. Ukr. geograf. zhurn., 1, 16–20 (in Ukrainian).
19. Posohov, I. S., & Sagaidachna, A. V. (2019). Perspektyvi rozvytku ekologichnogo turyzmu v Ukraini [Prospects for the development of ecological tourism in Ukraine]. Visnyk Harkivskogo universytetu. International Relations. Economics. Country Studies. Tourism, 9, 203–212. (in Ukrainian). doi: 10.26565/2310B9513B2019B9B25
20. Rahman, M. A. (2018) Plant diversity in Hazarikhil Wildlife Sanctuary of Chittagong and its conservation management. Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management, 3(2), 43–56. doi: 10.3329/jbcm.v3i2.36027
21. Salk, C. F., Chazdon, R., & Waiswa, R. (2020). Thinking outside the plot: monitoring forest biodiversity for social-ecological research. Ecology and Society, 25(1), 7. doi: 10.5751/ES-11223-250107
22. Segelbacher, G. (2018). Genetic, genomic, synthetic - new approaches for biodiversity conservation. Proceedings of the 5th European Congress of Conservation Biology. ECCB2018: 5th European Congress of Conservation Biology. 12th - 15th of June 2018, Jyväskylä, Finland. doi: 10.17011/conference/eccb2018/107508
23. Skliar, V. G., Skliar, Ju. L., Gudakov, O. O., & Tykhonova, O. M. (2012). Harakterystyka pryrodnyh kompleksiv Get'mans'kogo nacional'nogo pryrodnogo parku [Characteristics of natural systems of the Getmanski National Nature Park]. Visnyk Sums'kogo NAU. Serija «Agronomija i biologija», 2(23), 13–17 (in Ukrainian).
24. Skliar, V. G., Jemec', O. M., & Skliar, Ju. L. (2020). Bioriznomanittja proektovanogo zakaznyka «Kalii'vs'kyj» [Biodiversity of the projected reserve "Kaliyivsky"]. Monitoryng ta ohorona bioriznomanittja v Ukrai'ni : prykladni aspekty monitoryngu ta ohorony bioriznomanittja. «Conservation Biology in Ukraine». Druk Art, Kyi'v ; Chernivci, 16(3), 441–444 (in Ukrainian).
25. Skliar, V. H. (2014). Pryrodne vidnovlennia providnykh lisoutvorivnykh vydiv Novhorod-Siverskoho Polissia: realizovani ekolohichni nishi ta yikhnia dynamika [Natural restoration of the leading forest-forming species of Novgorod-Siversky Polissya: realized ecological niches and their dynamics]. Ukr. botan. Journal, 71 (1), 8–16 (in Ukrainian).
26. Skrebec', V. O. (2005). Suchasnyj stan ta priorytetni naprjamy rozvytku ekologichnoi' psihologii' v Ukrai'ni [Current state and priority directions of development of ecological psychology in Ukraine]. Aktual'ni problemy psihologii'. Zb. nauk. pr., 5(2), 235–245 (in Ukrainian).
27. Sheljag-Sosonko, Ju. R. (1971). Formacija duba zvyčajnogo (*Querceta roboris*) Livoberezhnogo rel'jefnogo lisostepu Ukrai'ny [Formation of common oak (*Querceta roboris*) of the Left-bank relief forest-steppe of Ukraine]. Ukr. botanichnyj zhurnal, 28(3), 356–361 (in Ukrainian).
28. Sui, X., Mao, L., Liu, Y., & He, F. (2018). Mapping relative extinction risk for biodiversity conservation. Biological Conservation, 226, 168–176. doi: 10.1016/j.biocon.2018.07.012
29. Wilsey, B. J. (2018). Biodiversity of Grasslands. Oxford Scholarship Online. doi: 10.1093/oso/9780198744511.003.0002

*Skliar V. G.* Doctor (Biological Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Tykhonova O. M.*, PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Kyrylchuk K. S.*, PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Klymenko H. O.*, PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Onoprienko V. P.* Doctor (Pedagogical Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Bondarieva L. M.*, PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Trotska S. S.*, PhD (Biological Sciences), Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
*Klimenko Ju. O.*, Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Study of phytodiversity of the Syrovatka river valley with the perspective of using its natural complexes in ecological tourism**

The paper presents the results of studying the phytodiversity of natural complexes of the Syrovatka river valley between the villages of Verkhnya Syrovatka and Novoselytsia of Sumy district. It is shown that this area is characterized by significant species wealth: here grow plants that have different ranks of protection (regional, state, international). The group of species of international protection is the largest and includes about 50 species. It is formed by plants included in the IUCN Red List. Almost all of them (except one) have a low protection status (LC – are at the lowest risk). Among the species included in the "Red Book of Ukraine", a small population of *Iris pineticola* Klokov was found, and among the plants presented in the "List of species subject to special protection in the Sumy region" - *Salix rosmarinifolia* L. and *Crataegus ucrainica* Pojark. The coenotic diversity represented by groups of aquatic, air-water, meadow and forest vegetation is also significant. Rich phytodiversity in combination with the flatness of the territory and whiteness to the settlements, including the city of Sumy, form an objective basis for the involvement of this area in tourism, recreation and environmental education. The most promising is the introduction of eco-tourism, which combines economic, social and environmental issues. In order to deepen knowledge about the formation, current state and dynamics of development of natural complexes of the Syrovatka river valley, it is necessary to continue geobotanical and zoological research of the territory. In addition, it is advisable to bring the forest into an aesthetically pleasing condition, in particular, to remove landfills. Taking into account the rich biodiversity of the territory, it is expedient to consider the issue of granting this territory environmental status with the choice of a category that will improve both the protection of flora and fauna and provide opportunities for recreational and tourist activities.

**Key words:** phytodiversity, environment, ecological tourism, human ecology, natural landscapes.

**MOLECULAR IDENTIFICATION OF A SHORT-TYPE PEPTIDOGLYCAN RECOGNITION PROTEIN,  
GMPGRP-SC FROM GRAPHOLITHA MOLESTA**

**Cao Zhishan**

PhD Student

Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine;

School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0003-3127-4592

caozhishan123@163.com

**Cao Jinjun**

Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor

School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0001-5649-0465

cjj1986108@163.com

**Zhu Hongxia**

PhD Student

Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine

School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0003-0113-779X

zhxhg105@163.com

**Vlasenko Volodymyr**

Doctor (Agricultural Sciences), Professor

Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-5535-6747

vlasenkova@ukr.net

*Peptidoglycan recognition protein (PGRP) as an important pattern recognition receptor, which is found in both invertebrates and vertebrates, play an important role in antibacterial immunity, due to its prominent ability in detecting and eliminating the infection pathogen. However, PGRPs mainly have been identified from *Drosophila melanogaster* and *Bombyx mori*, and there were few reports on other agricultural insects, especially about their functions and mechanism. In this study, a short – types PGRP gene named as GmPGRP-SC has been identified in the *Grapholitha molesta*, oriental fruit moth (OFM) based on analysis of the transcription group database of OFM from our laboratory and the National Center for Biotechnology Information (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). The GmPGRP-SC contains a highly conserved PGRP domain and has the closest genetic relationship with the PGRP gene of *Leguminivora glycinivorella* according to sequence and phylogenetic analyses. The real-time PCR method was used to analyze its expression pattern in the developmental stage of OFM and in different tissues of the larva of OFM. Finally, the relative expression levels of GmPGRP-SC gene in OFM were analyzed after infected by different treatment of *Beauveria bassiana*. The results showed that the total cDNA of GmPGRP-SC was 3 221 bp, and the coding regions was 2 268 bp, encoding 756 amino acid residues. The expression level of GmPGRP-SC was the highest in pupal stage of OFM, meanwhile in different tissues of OFM, its relative expression was higher in epithelium and hemocyte, while other stage and tissues were relatively low, and with little difference. The expression level of GmPGRP-SC was significance different when the spore suspension of *B. bassiana* was  $10^5$  conidia/ $\mu$ L infected after 48 h. And when the spore suspension of *B. bassiana* was  $10^7$  conidia/ $\mu$ L, the expression level of GmPGRP-SC was also significance different. All these results lay a foundation for the study of the role and functions of GmPGRP-SC in the innate immunity of OFM, and also do contribute to the further study of the molecular interaction between OFM and *B. bassiana*. The research results can help to find potential target molecules, and provide scientific basis for the development of new biogenic pesticides and the realization of Green Pest Management (GPM).*

**Key words:** oriental fruit moth; innate immunity; *Beauveria bassiana*; Green Pest Management.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.7>

**Introduction.** Insects lack the acquired immune system and mainly rely on their own effective innate immune system for defense against the invasion of fungi, bacteria and other pathogens. Insect innate immune response is induced by the specific recognition of common components bearing on the microbial surfaces, known as pathogen associated

molecular patterns (PAMPs), by pattern recognition receptors (PRRs) (Kang et al., 1998; Ochiai & Ashida 1999; Werner et al., 2000). Peptidoglycan recognition proteins (PGRPs) are the most important PRRs in insects, which can recognize the Peptidoglycan (PGN) on the surface of pathogenic microorganisms and activated the Toll and IMD pathways.



Then this can trigger the production of antimicrobial peptides and play a crucial role in the innate immunity of insects against microorganisms (Hultmark, 2003; Beutler, 2004; Lu et al., 2020).

PGRPs as an important part of recognition receptor in insects, play an important role in the immune defense signaling pathway (Toll and IMD), which are natural immunity molecules found in insects, mollusks, echinoderms, and vertebrates, but not present in nematodes or plants (Kang et al., 1998; Dziarski & Gupta, 2006; Gerardo et al., 2010). Nowadays more than 100 kinds of PGRPs in insects and mammals have been identified, PGRPs can be categorized into two types: long (L) types and short (S) types based on their length. At present, there are nearly 100 members of PGRPs family have been identified, 6 long and 6 short types have been found in *Bombyx mori*, 6 long and 7 short types in *Drosophila melanogaster*, and 4 long and 4 short types in *Anopheles gambiae* 4 PGRP genes in humans and musculus (Kang et al., 1998; Tanaka et al., 2008). At present, studies on PGRPs mainly focus on *Drosophila melanogaster* and *Bombyx mori*, and fewer studies have been reported in other Lepidoptera insects. In our previous study that the transcription analysis of oriental fruit moth (OFM) reduced by *Beauveria bassiana*, *GmPGRP-SC* was up-regulated (the transcriptome data will be published later). So, we hypothesize that *GmPGRP-SC* gene plays an important role in the anti-fungal immunity of OFM.

The *Grapholitha molesta*, OFM is a fruit pest all around the world except Antarctica (Natale et al., 2003; Kong et al., 2020). At present, the main method for controlling OFM in orchards mainly relies on insecticide and mating disruption (Kanga et al., 2003). Due to the damage of larvae is concealed and resistance to chemical insecticides, it is difficult to control it. Even mating interference has been gradually declined (Benelli et al., 2019). Meanwhile with the further enhancement of people's awareness of environmental protection and pollution-free, the development of effective biogenic pesticides presents a broad application prospect. Due to the extensive use of antibiotics, modern medicine is faced with more and more crises of antibiotic-resistant bacteria. The introduction of each new antibiotic is accompanied by the emergence of antibiotic-resistant strains. In contrast, innate immunity provides the host with immediate protection from infection and has maintained its antimicrobial effect for millions of years without the frequent emergence of drug-resistant strains (Zhao et al., 2017; Zhang et al., 2019). Then the concept of biological control based on immune system has been put forward gradually, therefore, it has a great significance to study the immune defense response of OFM for biological control in the future. Then *GmPGRP-SC* gene is a highly conserved pathogen recognition protein, which plays an important role in the resistance of OFM to pathogenic microorganisms, such as *B. bassiana*. The *B. bassiana* is a widely used Entomopathogenic fungus and biological control agent against many kinds of including OFM (Saranraj & Jayaprakash, 2017; Sarker et al., 2020). But there was no report on the interaction between *B. bassiana* and OFM, especially on molecular aspects. PGRPs as the recognition protein plays a key role in pathogen recognition, activation of Toll and IMD pathway,

and regulation of immune response in insects, and study of it is the basic for studying the molecular mechanism of interaction between *B. bassiana* and OFM (Du et al., 2011). The study of *GmPGRP-SC* gene is helpful to elucidate the function of *GmPGRP-SC* protein in the immune system of OFM and reveal the mechanism of the immune system to recognize pathogenic microorganisms. The research results can help to find potential target molecules, improving the control effect of *B. bassiana* and provide scientific basis for the development of new biogenic pesticides and the realization of green pest control.

**Materials and methods.** *Insect rearing and main instrument*

*Insect rearing.* The insects were kindly gifted by Dr. Zhang Huaijiang from the Fruit Tree Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Eggs were reared on Fuji fresh apples until the fifth-instar larvae emerged from the apple. The emerged larvae were reared by artificial diet, adults were fed with 10 % honey solution. The whole developmental period was in artificial climate chamber at 26.5 °C, 75 %–80 % relative humidity, a photoperiod of 15 h light and 9 darkness follow the methods of Du et al (2009).

*The main reagent and instruments.* Cham Q Universal SYBR real-time PCR Master Mix, HiScript® II Reverse Transcriptase, RNAprep Pure Tissue Kit, Taq DNA Polymerase (Vandesompele et al., 2002; Nolan et al., 2006) and other domestic or imported analytical pure reagents were used. The main software and instrument used in this study were DNAMAN, MEGA 7.0, Bio-Rad PCR instrument (Lin & Yao, 2012), Eppendorf 5425 R small high speed refrigerated centrifuge was used (American), ABI QuantStudio5 Q5 (Bustin et al., 2009; Pavsic et al., 2016)

*Primer design.* The complete sequence of *GmRP-SC1* gene and the conserved region were obtained from the transcriptome analysis data of our laboratory, the primers were designed by DNAMAN, and the synthesis of the primers was completed by Sangon Biotechnology (Shanghai) Co., Ltd (Table 1).

Table 1

**Lists of the primer sequences (Pantty et al., 2003)**

Primer name	Primer sequence 5'→3'
PGRPF	TCAAGTGC GGAGTGACCAA
PGRPR	ATGCCATCAAGATTGTCCG
EF-1aF	CATCACAGTAAAGGACGGTAAG
EF-1aR	AGAACAAGACCAGAGCATCC

*Sequence analysis and evolutionary tree construction.* The complete spliced cDNA sequence of *GmPGRP-SC* was analyzed. ORF prediction and protein translation were performed by DNAMAN. Protein physical and chemical properties, structural domain prediction using proteomics ExPASy was done online (<http://web.expasy.org/protparam/>) (Artimo et al., 2012) with the help of SignalP-5.0 Server (<http://www.cbs.dtu.dk/services/SignalP/>) (Armenteros et al., 2019) and SMART (<http://smart.emblheidelberg.de/>) (Ivica & Peer 2017) analysis. NCBI Blast Network Server was used to search the homology of *GmPGRP-SC* gene

amino acid sequence of 16 species of insects, including *Leguminivora glycinivorella* and *Bombyx mori* (Geer et al., 2010). The phylogenetic tree was constructed by Neighbor-joining method (Telles et al., 2018), and the phylogenetic relationship was analyzed by using the biological software Mega 7.0. (Sudhir et al., 2016).

**The spatio-temporal expression models of *GmPGRP-SC* gene in OFM.** The samples of RNA were extracted at different development stages (first instar larva, second instar larva, third instar larva, fourth instar larva, fifth instar larva, pupa, and adult) and sample of different tissue were extracted from the larvae that second days after fifth-instar larva, including hemocyte (70 to 80 samples were taken from each sample, and the hemolymph was collected at 4000 g/min), fat bodies, epidermis, malpighian tubules and midgut, according to the method of RNAprep Pure Tissue Kit. RNA purity and integrity were checked with Agilent 2100 bioanalyzer (Fischer & Siedler, 2004; Rufer A., 2010).

**Real-time fluorescent quantitative PCR.** Then the samples were performed to reverse transcription by the kit of HiScript® II Q RT SuperMix for real-time PCR (Soohyun et al., 2011). The first strand of sample cDNA was used as a template, and each sample was repeated for 3 times. PGRPF and PGRPR were used as primers for fluorescence quantitative amplification, and *Ef-1α* were used as a housekeeping gene from the reference gene selection experiment (Cao, 2015). The real-time PCR was calculated by relative quantitative method follow the instructions of ChamQ Universal SYBR real-time PCR kit. The instruments were ABI QuantStudio5 Q5 (American) real-time PCR, the reaction conditions were as follows: pre-denaturation at 95 °C for 30s, 95 °C for 10s, 60 °C for 30 s, a total of 40 cycles, 95 °C for 15 s, 60 °C for 60 s, 95 °C for 15s for recording the dissolution curve (Nolan et al., 2006)

Effect of the expression of *GmPGRP-SC* in OFM after infected by *B. bassiana*

***B. bassiana* culture and conidia suspension preparation.** *B. bassiana* BNCC 111705 was from BeNa Culture Collection, and cultured on potato dextrose (PDA) plates at 28 °C, 95 %

humidity in complete darkness. Conidia were collected from the plate incubated for 5–7 days. Then the surface of the mycelium was scraped and filtered with sterile gauze, washed with ddH<sub>2</sub>O for third times, counted and adjusted to 1×10<sup>5</sup> conidia/μL, 1×10<sup>7</sup> conidia/μL, 1×10<sup>9</sup> conidia/μL respectively with hemocytometer (Liu et al., 2014). Freshly prepared conidia were used for all experiment.

**Sample preparation and treatment by the infection of *B. bassiana*.** The fifth instar larvae with consistent growth were selected and used for infection. The treatment groups of insects were soaked in the spore suspensions with different concentrations separately (1×10<sup>5</sup> conidia/μL, 1×10<sup>7</sup> conidia/μL, 1×10<sup>9</sup> conidia/μL) for 10s, and the control groups were used as ddH<sub>2</sub>O for the same time. Then the water on the surface of the insects was drained with sterile filter paper, and the insects reared separately in each dactyllethrae with artificial diet. Each assay was repeated three times. After treatment of 24 h, 48 h, 72 h, the samples of treatment groups and control groups were immediately frozen in liquid nitrogen. Total RNA extracted and reverse transcription by the method of 2.4. real-time PCR validation and analysis were the same as 2.5.

**Statistical analyses.** The relative expression of the gene was calculated by the method of  $2^{-\Delta\Delta Ct}$ ,  $-\Delta\Delta Ct = -(\Delta Ct - q - \Delta Ct - ab)$ ,

– Ct represents the number of cycles the target amplification product under went to reach the set threshold,  
– ΔCt means difference of Ct value between target gene and housekeeping gene

– q means target gene (*GmPGRP-SC* is in this experiment)

– ab means housekeeping gene (*Ef-1α* gene is in this experiment) (Livak et al., 2001).

All the results were analyzed with Student's t-test in SPSS 19.0 software (Wang & Wang, 2011). Significant difference was indicated by \*(P < 0.05), \*\*(P < 0.01) respectively. The data was presented as mean± standard error (SE).

**Results. 3.1. Sequence analysis and phylogenetic tree of *GmPGRP-SC*.** The complete sequence of *GmPGRP-SC* gene was obtained by analyzing the data of the transcriptome

data in our laboratory, and it has been submitted to NCBI GenBank. The GenBank accession number is MW773839. The results shows that the full length of the *GmPGRP-SC* cDNA sequence is 707 bp, the length of the open reading frame (ORF) is 621bp, and it encoded 206 amino acid residues. The predicted signal peptide is located between 1–33 amino acids, the transmembrane region is between 7~26 amino acids. The molecular weight is predicted to 22.75 KD. Total number of negatively charged residues (Asp + Glu) is 15 and total number of positively charged residues (Arg + Lys) is 21. The instability index (II) is computed to be 26.60, and this classifies the protein as stable. The theoretical pI (isoelectric point) is 9.19. The Grand average of hydropathicity (GRAVY) is -0.1.

The domain structure was analyzed by SMART software online. The result shows that the PGRP domain structure is located



**Fig 1. The cDNA and encoding amino acid sequence of the *GmPGRP-SC*. (The underlined signal indicates the signal peptide sequence; the double underline indicates the PGRP domain, and the start and stop codon are indicated in the boxes)**



Bombyx mandarina_PGRP	VSKKQWGLIFVHVSYLAREVSEVYVCHT VTP. E. RTDAG	66
Bombyx mori_PGRP	CSRDGNGAVPSKDTPLNKKEVFPVNIKHAIPTVCHTITQ	73
Drosophila melanogaster_PGRP-SC1A	YSHAENGGGRGAKWTYVGLGNLYLSYALIHHTAGS. YCETRAQ	63
Galleria mellonella_PGRP-S	YSRADWNAQDPSTIVRPLITLTFYVVIHHTIYEPPACNETAQ	78
<b>Grapholitha molesta_PGRP-SC</b>	VTRCQWDLNPTRAEYLPREVGLVVIHHTVSP. T. STDCG	76
Helicoverpa armigera_PGRP-A	VSKAGWDGLTFIHVEYLAREVVDLVIIHHTVTS. T. CTNAR	62
Leguminivora glycinivorella_PGRP-SC1	VTREQWDLSTFIVVEYLAREVGLVVIHHTVSS. F. QUTDGT	63
Manduca sexta_PGRP-1A	VSKDDWGLTISVHIEYLETREIKVYIICHTDTF. C. CDTDA	63
Operophtera brumata_PGRP-SA	.....NHIVTF. F. CSSTEG	13
Ostrinia furnacalis_PGRP	VTKKQWGLKPTINVCYLPREVGLVVIHHTVTF. M. CHTDA	63
Papilio machaon_PGRP	USRKEWDLKFPVHVRYLPREVGLVVIHHTVTP. T. CATDDG	57
Papilio xuthus_PGRP	VSRKEDGLKFPVHVRYLPREVGLVVIHHTVTF. T. CATDDG	65
Papilio xuthus_PGRP-SA	VSRKEDGLKFPVHVRYLPREVGLVVIHHTVTF. T. CATDDG	50
Plutella xylostella_PGRP-1R	VTRPCWDLGDFTCVEYLPFPLGLVVIHHTATA. A. CDTDA	64
Plutella xylostella_PGRP-S2	VTRCCWDLGDFTCVEYLPFPLGLVVIHHTATP. A. CDTDA	64
Samia ricini_PGRP-A	VSKDDWGLTFIVHVEYLNREVKVYIICHTDTF. C. CDTDA	64
Trichoplusia ni_PGRP	ITKDEWDLGTFIHVEYLAREVSEVYVCHT VTP. T. CHTDA	62
Bombyx mandarina_PGRP	CEELVRNIC TNHMEALCYMIGFSELV. GNGKRVYEGCGWL	106
Bombyx mori_PGRP	CMRDMKSNCKYHNS. LGWGDIGYHFCVGGDGVAYECCGKN	112
Drosophila melanogaster_PGRP-SC1A	CNAVLSVGNHYHMSLGNFDIGYNSLIGDGNVYEGCGKN	103
Galleria mellonella_PGRP-S	CEAAMKSKCYDKKS. LDWGDIGYHFCVGGDGVAYECCGKN	117
<b>Grapholitha molesta_PGRP-SC</b>	CAECVRNIC TYFLEDTLGYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	116
Helicoverpa armigera_PGRP-A	CAEIVRAICTNHMDLGYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	102
Leguminivora glycinivorella_PGRP-SC1	CAACVRNIC TYFLEDTLGYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	103
Manduca sexta_PGRP-1A	CAARVRSIC DYHLEDTLNYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	103
Operophtera brumata_PGRP-SA	CAEIVRNIC TRHMEELKYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	83
Ostrinia furnacalis_PGRP	CKNRVKNIC DYHMDTLNWWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	103
Papilio machaon_PGRP	CAEIVRNIC AYQMDTLNFWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	97
Papilio xuthus_PGRP	CAEIVRNIC AYQMDTLNFWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	105
Papilio xuthus_PGRP-SA	CAEIVRNIC AYQMDTLNFWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	90
Plutella xylostella_PGRP-1R	CVLEVRNIC TNHMDLKYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	104
Plutella xylostella_PGRP-S2	CVLEVRNIC TNHMDLKYWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	104
Samia ricini_PGRP-A	CAARVRSIC DYHMDTLNFWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	104
Trichoplusia ni_PGRP	CAGIVRNIC SYHMDTLNFWDLGFSFLIGGNGKRVYEGCGWL	102
Bombyx mandarina_PGRP	HVGANTYGMRRSIGVAFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	146
Bombyx mori_PGRP	VIGIHAGFANKLSIGICLIGDWRVETEPAEQLATTKPRLS	182
Drosophila melanogaster_PGRP-SC1A	NHGAHAERK PYSIGISFLONXHWETLEPNHISHAQQELN	143
Galleria mellonella_PGRP-S	VVGIAHAGKAPYSIGICLIGDWRVETEPAEQLATTKPRLS	157
<b>Grapholitha molesta_PGRP-SC</b>	HVGANTYGMRRSIGISIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	136
Helicoverpa armigera_PGRP-A	HVGANTYGMRRSIGITIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	142
Leguminivora glycinivorella_PGRP-SC1	HVGANTYGMRRSIGISIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	143
Manduca sexta_PGRP-1A	HVGVENYAKRRAIKITIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	143
Operophtera brumata_PGRP-SA	HVGANTYGMRRSIGISIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	93
Ostrinia furnacalis_PGRP	HVGANTYGMRRSIGISIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	143
Papilio machaon_PGRP	HAGANTYGMRRSIGVAFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	137
Papilio xuthus_PGRP	HAGANTYGMRRSIGVAFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	145
Papilio xuthus_PGRP-SA	HAGANTYGMRRSIGVAFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	130
Plutella xylostella_PGRP-1R	HVGANTYGMRRSIGISIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	144
Plutella xylostella_PGRP-S2	HVGANTYGMRRSIGISIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	144
Samia ricini_PGRP-A	HVSVEFHAKRRAIKITIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	144
Trichoplusia ni_PGRP	HVGANTYGMRRSIGITIFICFNHNTKPSGAMLELRSLR	142
Bombyx mandarina_PGRP	CGVERCHLAGSNVYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	186
Bombyx mori_PGRP	TOVENCAISSNKLIGHRCANTTECPGALLNEIRSPDN	192
Drosophila melanogaster_PGRP-SC1A	DAVNRQGLSSCNILYGHKQVSAETCPGTHIWNIRSPDN	183
Galleria mellonella_PGRP-S	EGVNRQGLSSCNILYGHKQVSAETCPGTHIWNIRSPDN	197
<b>Grapholitha molesta_PGRP-SC</b>	CGVRECHLSRSYVYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	186
Helicoverpa armigera_PGRP-A	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	182
Leguminivora glycinivorella_PGRP-SC1	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	183
Manduca sexta_PGRP-1A	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	183
Operophtera brumata_PGRP-SA	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	183
Ostrinia furnacalis_PGRP	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	177
Papilio machaon_PGRP	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	185
Papilio xuthus_PGRP	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	170
Papilio xuthus_PGRP-SA	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	184
Plutella xylostella_PGRP-1R	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	184
Plutella xylostella_PGRP-S2	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	184
Samia ricini_PGRP-A	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	184
Trichoplusia ni_PGRP	CGVNRCHLSNHYVGHRCOLIATES. PGRKLYNEIRSPDN	182

Fig 2. Multiple sequence alignment of *GmPGRP-SC* with the homologs of other insects based on amino acid sequence (The PGRP and correspond GenBank accession numbers are as follows. *Bombyx mandarina* PGRP: XP\_028043866.1; *Bombyx mori* PGRP: NP\_001036836.1; *Drosophila melanogaster* PGRP-SC1A: CAD89163.1; *Galleria mellonella* PGRP-S2: XP\_026759339.1; *Helicoverpa armigera* PGRP-A: AHK59818.1; *Leguminivora glycinivorella* PGRP-SC1: AXS59124.1; *Manduca sexta* PGRP-1A: AAO21509.1; *Operophtera brumata* PGRP-SA: KOB63145.1; *Ostrinia furnacalis* PGRP: ABZ81267.1; *Papilio machaon* PGRP: KPJ06010.1; *Papilio xuthus* PGRP: XP\_013170473.1; *Papilio xuthus* PGRP-SA: BAM19609.1; *Plutella xylostella* PGRP-1R: QCS60952.1; *Plutella xylostella* PGRP-S2: AUI41055.1; *Samia ricini* PGRP-A: BAF03522.7; *Trichoplusia ni* PGRP: XP\_026737257.1, amino acids with 100%, 75%, 50% identity are in black, gray, and white box, respectively.)

between 35–177 amino acids (Fig. 1). Blast search results showed that the amino acid sequence of *GmPGRP-SC* was highly consistent with that of other insects. These features indicated *GmPGRP-SC* belong to the PGRP-S family.

The amino sequences of *GmPGRP-SC* protein and other 16 species PGRPs of insects, including *Bombyx mori* PGRP-S and *Plutella xylostella* PGRP-SC2 multilinked

by BLASTX search. The results showed that the amino acid sequence of *GmPGRP-SC* and that of *Leguminivora glycinivorella* PGRP-SC had the highest consistency more than 93 %, and with that of *Papilio machaon* PGRP, *Papilio xuthus* PGRP, *Papilio xuthus* PGRP-SA were more than 79 %. Furthermore the consistency with other 12 insects were more than 50 % (Fig. 2).

An evolutionary phylogenetic tree was constructed with the amino acid sequences of the remaining 16 insect species. The results showed that when it had closer the genetic relationship, the homology with the *GmPGRP-SC* amino acid sequence was higher. For example, the *Leguminivora glycinivorella* PGRP-SC forms a branch with highest homology, and the confidence coefficient is 100. Meanwhile the amino acid homology of *GmPGRP-SC* with insects such as *Gleria mellonella* PGRP-SC2 and *Drosophila melanogaster* PGRP-SC1A are very low, and the genetic

relationship is relatively distant, which forms to different branches (Fig. 3).

3.2. The developmental expression pattern of *GmPGRP-SC* gene in OFM. To characterize the function of *GmPGRP-SC*, we first analyzed its expression pattern. Samples of OFM at different developmental stages were taken, and *Ef-1α* was used as the housekeeping gene. The relative expression of *GmPGRP-SC* gene in different developmental stages of OFM was compared. The real-time PCR result showed that in different developmental stages of OFM *GmPGRP-SC* gene was all

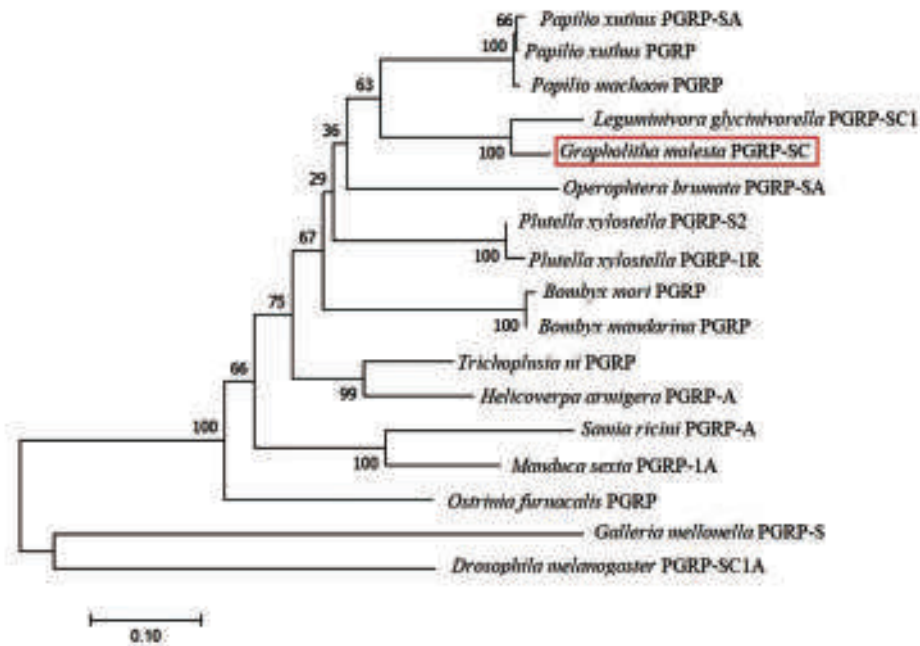


Fig. 3. Phylogenetic tree based on amino acid sequence of the PGRP from *Grapholitha molesta* and other insects (Scale bar indicates the genetic distance, the numbers on the branches means confidence coefficient)

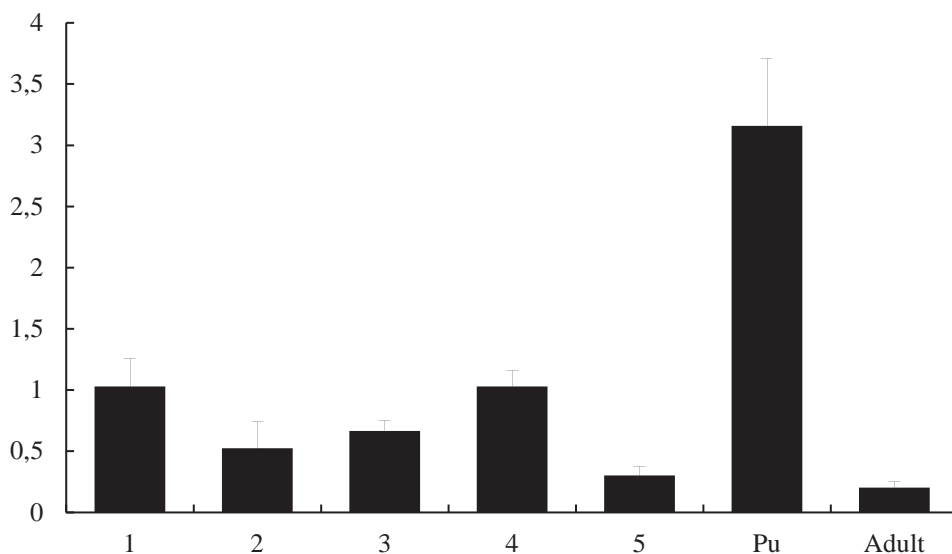


Fig. 4. The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene (Data in the figure are mean  $\pm$  SD)



The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene

Samples	GmPGRP-SC gene Ct	<i>Ef-1<math>\alpha</math></i> gene Ct	Relative expression level	Average	Standard deviation
first instar larvae	22.466	24.091	1.236111073	1.029029912	0.230511995
	22.578	24.129	1.143529957		
	23.271	24.118	0.707448706		
second instar larvae	21.192	22.732	0.77343976	0.525177734	0.218540028
	22.005	22.078	0.440215823		
	22.288	21.679	0.361877618		
third instar larvae	20.093	20.260	0.592918174	0.666356378	0.085862331
	19.971	20.856	0.645391319		
	19.734	20.926	0.760759642		
fourth instar larvae	21.364	22.583	0.94619112	1.028119914	0.135108167
	21.352	22.247	0.954106178		
	21.040	23.046	1.184062445		
fifth instar larvae	20.979	19.596	0.252950515	0.303104737	0.072546125
	20.884	20.150	0.27007543		
	20.368	21.266	0.386288266		
pupal	18.924	23.311	4.402813784	4.27639272	0.54896635
	18.976	21.806	4.246502504		
	19.158	22.093	3.742982119		
adult	18.787	20.788	4.839693538	0.203418039	0.053216785
	21.855	20.660	0.177533198		
	21.934	20.661	0.168095488		

Table 3

The relative expression level of *GmPGRP-SC* gene in different tissues of *Grapholitha molestae* larva

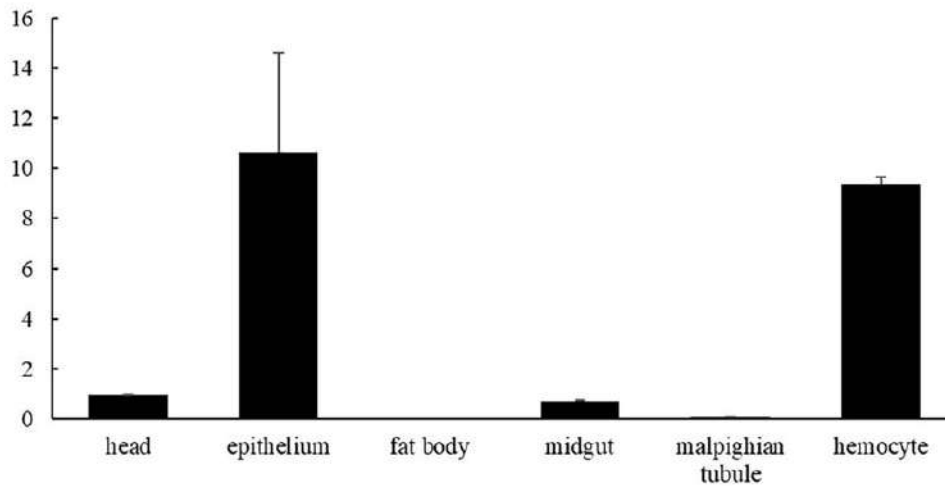
Samples	GmPGRP-SC gene Ct	<i>Ef-1<math>\alpha</math></i> gene Ct	Relative expression level	Average	Standard deviation
head	18.80292702	19.15328789	1.236111073	0.965881618	0.029836818
	18.88503456	19.19662666	1.143529957		
	18.87242699	19.35869598	0.707448706		
epidermis	19.99529457	23.17064857	0.77343976	10.6278559	3.975745188
	18.85653114	23.14433479	0.440215823		
	19.30094528	23.14778519	0.361877618		
fat body	29.18466949	21.02428055	0.592918174	0.003568288	0.000828351
	28.85754013	20.95024109	0.645391319		
	28.51244545	21.41017342	0.760759642		
midgut	18.54099274	18.56934738	0.94619112	0.711292984	0.062598954
	18.76748085	18.47967911	0.954106178		
	18.54175377	18.61497879	1.184062445		
malpighian tubule	25.99302483	22.90022278	0.252950515	0.090309401	0.004558024
	26.04649162	23.05208969	0.27007543		
	26.13798714	23.11437225	0.386288266		
hemocyte	18.08861351	21.76060867	4.402813784	9.340752789	0.326496862
	18.18934059	21.8168602	4.246502504		
	18.14170456	21.81087494	3.742982119		

expressed, but with different levels of expression. Its expression level was higher at pupa stage of OFM about 8 times than fifth instars larvae, then in the adult, the relative expression was low, nearly the same as the fifth instars larvae (Tab. 2, Fig. 4).

Different tissues from the larvae of the fifth instar at the second day were taken, and *Ef-1 $\alpha$*  was used as the housekeeping gene, the relative expression of *GmPGRP-SC* gene in different tissues of OFM was compared. The result showed

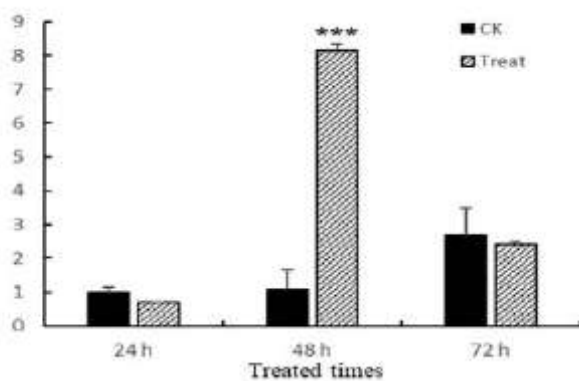
that the relative expression of *GmPGRP-SC* gene was significant difference between different tissues of larvae.

3.3. *The relative expression level of GmPGRP-SC gene in different tissues of the larva of OFM.* The highest expression level was in epidermis and hemocyte, and the level was as high as about 10 times in comparison with other tissues. While, it was barely expressed in fat body tissues, and the expression levels of *GmPGRP-SC* gene in other tissues were not the same. (Tab. 3, Fig. 5).



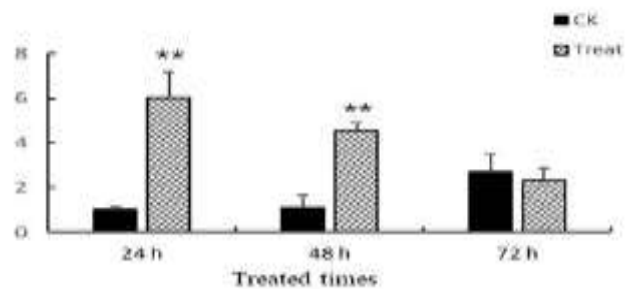
**Fig. 5. The relative expression level of *GmPGRP-SC* gene in different tissues of *Grapholitha molesta* larva (Data in the figure are mean  $\pm$  SD)**

3.4. The effect to the expression level of *GmPGRP-SC* in OFM after infected by *B. bassiana*. In order to analyses expression changes after immune stimulations, we performed real-time PCR to analyses the transcript level reduced by different treatment of *B. bassiana*. The result showed that the infection of *B. bassiana* can induced expression of the *GmPGRP-SC* gene, this was consistent with the results that PGRPs involved in the immune function. The effect on the expression of *GmPGRP-SC* gene was different when the spore concentration and infected times of *B. bassiana* were different. When *B. bassiana* was  $10^5$  conidia/ $\mu$ L, after 48 h of infection, the expression of *GmPGRP-SC* gene was significance between the CK group and Treatment group. But there was no significant difference of the *GmPGRP-SC* gene between 24 h and 96 h after infected with *B. bassiana* (shown in Tab. 4, Fig. 6).

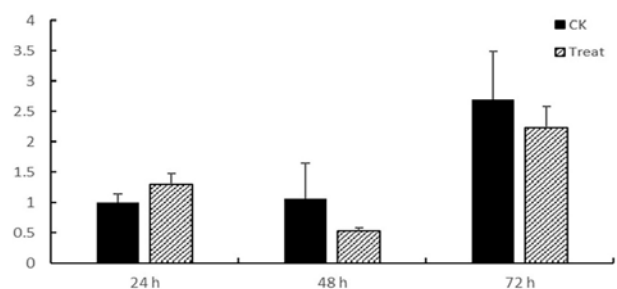


**Fig. 6. The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene of different time treated with  $10^5$  conidia/ $\mu$ L spore suspension of *B. bassiana* (Data in the figure are mean  $\pm$  SD. The asterisks above bars indicate significance between treatment and the CK determined by the student's t-test, respectively. The same for the following figures)**

The *B. bassiana* was  $10^7$  conidia/ $\mu$ L, after 24 h and 48 h, the expression of *GmPGRP-SC* gene was significance between the CK group and treated group. While *B. bassiana* was  $10^9$  conidia/ $\mu$ L, there was no significant difference between treated and control group, and the expression of *GmPGRP-SC* gene was slightly down-regulated (shown in Tab. 5–6, Fig. 7–8).



**Fig. 7. The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene of different treated with  $10^7$  conidia/ $\mu$ L spore suspension of *B. bassiana* (Data in the figure are mean  $\pm$  SD)**



**Fig. 8. The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene of different time treated with  $10^9$  conidia/ $\mu$ L spore suspension of *B. bassiana* (Data in the figure are mean  $\pm$  SD)**

**Discussion.** Members of the *PGRPs* family, including insects and mammals, are highly conserved. There is a *PGRP* domain composed of about 165 amino acids at the C-terminal,

Table 4

The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene of different time treated with 10<sup>5</sup> conidia/μL spore suspension of *B. bassiana*

Samples	GmPGRP-SC gene Ct	<i>Ef-1α</i> gene Ct	Relative expression level	average	Standard deviation	Student's t test (P) CK and treatment
Ck-24h	21.89202309	21.97925758	1	1	0.140738294	
	21.53461075	22.09150314	1.281125969			
	21.71774483	21.95654106	1.128399756			
Treatment-24h	23.12648392	22.68375015	0.693500568	0.680421291	0.026335	0.005268216
	23.21970367	22.86681175	0.650107053			
	23.11786461	22.59602928	0.697656253			
Ck-48h	22.63484001	20.65943527	1.060431412	1.439278827	0.591494525	
	21.63484001	21.57265854	2.120862824			
	22.53484001	22.10047913	1.136542246			
Treatment-48h	19.61118698	22.82375336	8.340906511	8.155285513	0.194446749	4.83226E-05
	19.64072418	23.00129509	8.171874155			
	19.67987823	22.54035759	7.953075873			
Ck-72h	23.95530319	24.68696785	1.799966838	2.693724964	2.693724964	
	23.07602501	25.15373421	3.31095754			
	23.2326889	25.24067116	2.970250515			
Treatment-72h	20.73429298	22.16456795	2.318965356	2.40994224	0.084880236	0.570824228
	20.63336372	22.13929558	2.48700693			
	20.67047119	21.89069176	2.423854435			

Table 5

The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene of different time treated with 10<sup>7</sup> conidia/μL spore suspension of *B. bassiana*

Samples	GmPGRP-SC gene Ct	<i>Ef-1α</i> gene Ct	Relative expression level	average	Standard deviation	Student's t test (P) CK and treatment
Ck-24h	21.89202309	21.97925758	1	1	0.140738294	
	21.53461075	22.09150314	1.281125969			
	21.71774483	21.95654106	1.128399756			
Treatment-24h	22.28517914	22.68375015	6.762721597	6.012059955	1.168196308	0.001996064
	22.31871605	22.86681175	6.607328401			
	22.82055664	22.59602928	4.666129867			
Ck-48h	22.63484001	20.65943527	1.060431412	1.439278827	0.591494525	
	21.63484001	21.57265854	2.120862824			
	22.53484001	22.10047913	1.136542246			
Treatment-48h	20.07825851	22.82375336	6.762721597	4.580062879	0.300287135	0.001204667
	19.88920212	23.00129509	6.607328401			
	19.98667145	22.54035759	4.666129867			
Ck-72h	23.95530319	24.68696785	1.799966838	2.693724964	2.693724964	
	23.07602501	25.15373421	3.31095754			
	23.2326889	25.24067116	2.970250515			
Treatment-72h	21.23572922	22.16456795	2.27191037	2.315191159	0.300287135	0.529663554
	21.56582069	22.13929558	1.80727299			
	20.90040016	21.89069176	2.866390119			

which plays a crucial role in the recognition of exogenous substances. Different PGRP domains may be the mechanism for distinguishing and identifying different kinds of microorganisms (Blanco et al., 2008). The results of *GmPGRP-SC* gene in our study are consistent with this. The amino acid sequence prediction results show that *GmPGRP-SC* has a conserved domain structure. This structure is also found in *Helicoverpa armigera*, *Manduca sexta* and *Tribolium castaneum* etc. (Gottar et al., 2002). We explored the evolution and conservation

of *GmPGRP-SC* with other insects. The phylogenetic tree shows that *GmPGRP-SC* has high homology and close genetic relationship with *Leguminivora glycinivorella*. Except when the data is missing, the PGRP sequences reasonably generalize the tree of hypothetical species in each gene family (Wiegmann et al., 2011).

The report about the *Musca domestica* and *Drosophila melanogaster* has the similar result with the gene *MdPGRP-SC*, it is speculated that this gene may play an important role in

The temporal expression level of *GmPGRP-SC* gene of different time treated with  $10^9$  conidia/ $\mu$ L spore suspension of *B. bassiana*

Samples	GmPGRP-SC gene Ct	Ef-1 $\alpha$ gene Ct	Relative expression level	average	Standard deviation	Student's t test (P) CK and treatment
Ck-24h	21.89202309	21.97925758	1	1	0.140738294	
	21.53461075	22.09150314	1.281125969			
	21.71774483	21.95654106	1.128399756			
Treatment-24h	21.59008408	22.68375015	1.311036896	1.301804097	0.167356775	0.260578719
	21.43052864	22.86681175	1.464353353			
	21.80444145	22.59602928	1.13002204			
Ck-48h	22.63484001	20.65943527	1.060431412	1.439278827	0.591494525	
	21.63484001	21.57265854	2.120862824			
	22.53484001	22.10047913	1.136542246			
Treatment-48h	23.84972191	22.82375336	0.465275442	0.521271989	0.065653954	0.055704075
	23.49849129	23.00129509	0.593527824			
	23.73148727	22.54035759	0.505012702			
Ck-72h	23.95530319	24.68696785	1.799966838	2.693724964	2.693724964	
	23.07602501	25.15373421	3.31095754			
	23.2326889	25.24067116	2.970250515			
Treatment-72h	20.19152832	22.16456795	1.990094957	2.228339352	0.357441546	0.406331633
	19.78418732	22.13929558	2.639341944			
	20.14481926	21.89069176	2.055581155			

the pupal stage (Werner, 2000; Gao, 2013). But *Bd PGRP-SB1* is highly expressed in 3rd larvae and adults of *Bactrocera dorsalis* (Zhang et al., 2020). All these three are belong to Diptera, and the developmental expression pattern of *PGRP* gene in Lepidoptera has been reported in *Antheraea pernyi*, but without significant change (Liu W., 2019). And in other insects of Lepidoptera, there is no more report, whether it is related to the developmental regulation and immunity, it needs to be further studied. The expression level of *GmPGRP-SC* is greatest in the pupal stage and in epidermis and hemocyte. But in *Antheraea pernyi* the ApPGRP-A, ApPGRP-B, ApPGRP-C have no significant change. Epidermis and hemocyte is related to its immune response, so in these tissues are highly expressed. The result is consisting with that of *Antheraea pernyi*, and the APPGRP-C gene is expressed in immune-related groups, such as hemolymph and epidermal (Liu W., 2019). In *Bombyx mori*, *Bm PGRP-S4* is highly expressed mainly in hemolymph, which may be involved in the systemic immune response of *Bombyx mori*, depending on hemolymph circulation (Yang et al., 2017).

The real time-PCR results showed that the expression of *GmPGRP-SC* gene was up-regulated in different times after infected with  $1 \times 10^5$  conidia/ $\mu$ L and  $1 \times 10^7$  conidia/ $\mu$ L of *B. bassiana*. And  $1 \times 10^9$  conidia/ $\mu$ L may inhibit the normal development of OFM. In *Ostrinia furnacalis*, member of *PGRP* genes was up-regulated when infected by *B. bassiana* with  $2 \times 10^5$  conidia/ $\mu$ L (Liu et al., 2014). The *MxPGRP-1* in *Manduca sexta* was up-regulate after infected by *Escherichia coli* (Sumathipala & Jiang, 2010). In *Drosophila*, the expression of *DmPGRP-LB*, *DmPGRP-SA*, *DmPGRP-SB1*, *DmPGRP-SC2* and *DmPGRP-SD* were strongly up-regulated by *Bacillus subtilis* and purified peptidoglycan (Werner et al., 2000). The mortality became higher as concentration increase when the OFM was infected with different concentration

of *B. bassiana* ARP14 (Sarker et al., 2020). These are consistent with the results of our study, but the function of *GmPGRP-SC* gene in the immune signaling pathway needs to be further studied. In this study, we also observed that when infected with  $1 \times 10^9$  conidia/ $\mu$ L, the growth and development of OFM were slow. But due to the small number of insects in our experiment, it does not constitute ecological statistics. So, we supposed that possible infection of *B. bassiana* with  $1 \times 10^9$  conidia/ $\mu$ L, affected the normal growth and development of the OFM, thus leading to the immune function of *PGRP* be restrained. We will further verify this in the following experiments.

**Conclusions.** As a major pattern recognition receptor, *PGRP* plays an important role in the innate immune regulation of OFM. In this study, for the first time we obtained and verified the full sequence of the short types of *PGRPs* gene named it *GmPGRP-SC*. Its GenBank accession number is MW773839. The transcriptional expression of *GmPGRP-SC* gene was analyzed in different developmental stages and different tissues of OFM. Results showed some difference with other reported *PGRPs* from other insects. Perhaps it relates with immunity functions either at specific times or at specific locations. It needs to be further studied, and we will use RNAi method to verify this in the future. Meanwhile we have identified the immune response reduced by *B. bassiana*, for the first time it was studied the interaction between this fungus and OFM on molecular aspect. All these results have provided a good support for better understand the function of *GmPGRP-SC* gene in OFM, and also made a foundation for finding target genes and further prevention and control by molecular biology method. This can be applied by interfering the expression of *GmPGRP-SC* gene. The immune ability of the body to resist fungus can be reduced, so to achieve an effective prevention and control role. It is difficult to control the OFM, therefore, it is one of the effective means to control the occurrence of it



and increase the economic benefits of orchard by strengthening the research on the molecular mechanism and regulation mechanism of the innate immunity of OFM.

#### Acknowledgments

We are very appreciate to Professor Zhang Huaijiang for gifting the insects. The research was supported by the Key

Scientific and Technological Research Project of Henan Province (NO. 202102110220), Henan engineering research center of biological pesticide and fertilizer development and synergistic application and Aid program for Science and Technology Innovative Research Team in higher Educational Institutions of Henan Province.

#### References:

1. Artimo, P., Jonnalagedda, M., Arnold, K., Baratin, D., Csardi, G., de Castro, E., Duvaud, S., Flegel, V., Fortier, A., Gasteiger, E., Grosdidier, A., Hernandez, C., Ioannidis, V., Kuznetsov, D., Liechti, R., Moretti, S., Mostaguir, K., Redaschi, N., Rossier, G., Xenarios, I. & Stockinger, H. (2012). ExPASy: SIB bioinformatics resource portal. *Nucleic Acids Research*, 40(1), 597–603. doi: 10.1093/nar/gks400
2. Armenteros, J. J. A., Tsirigos, K. D., Sonderby, C. K., Petersen, T. N., Winther, O., Brunak, S., Von Heijne, G. & Nielsen, H. (2019). SignalP 5.0 improves signal peptide predictions using deep neural networks. *Nature Biotechnology*, 37(4), 420. doi: 10.1038/s41587-019-0036-z
3. Blanco, G.A., Malchiodi, E.L. & De Marzi, M.C. (2008). Cellular clot formation in a sipunculan worm: entrapment of foreign particles, cell death and identification of a PGRP-related protein. *Journal of invertebrate pathology*, 99(2), 156–165.
4. Benelli, G., Lucchi, A., Thomson, D. & Loriatti, C. (2019). Sex pheromone aerosol devices for mating disruption: challenges for a brighter future. *Insects*, 10, 308.
5. Beutler, B. (2004). Innate immunity: an overview. *Molecular Immunology*, 40(12), 845–859. doi: 10.1016/j.molimm.2003.10.005
6. Bustin, S. A., Benes, V., Garson, J.A., Jan, H. Jim, H. Mikael, K. Reinhold, M. Tania, N. Pfaffl, M. W. & Shipley, G. L. (2009). The MIQE guidelines: minimum information for publication of quantitative real-time PCR experiments. *Clin Chem*, 55(4), 611–622.
7. Cao, J. J. (2015) The expression and functional study of ecdysone signal transduction pathway genes in *Grapholita molesta*. [Doctor thesis].
8. Dziarski, R. (2003). Recognition of bacterial peptidoglycan by the innate immune system. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 60, 1793–1804.
9. Dziarski, R. & Gupta, D. (2006) The peptidoglycan recognition proteins (PGRPs). *Genome Biology*, 7(8), 232. doi: 10.1186/gb-2006-7-8-232
10. Du, S.X., Wu, C., Sue, Y.H. Yang, M. & Nathalie, B. (2011). Effects on mass rearing on the olfactory of an invasive fruit moth species, *Grapholita molesta* (Busck). [Master thesis].
11. Du, J., Guo, J.T., Zhang, Y.S. & Wu, J.X. (2009). Effect of Temperature on Development and Reproduction of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 18(6), 314–318.
12. Fischer, B. & Siedler, F. (2004). Using the Agilent 2100 bioanalyzer for quality control of protein samples prior to MS-analysis. Agilent Technologies.
13. Gao, Y.F. (2013). Immune Function Analysis of PGRP-SC and Cathepsin L Genes in *Musca domestica*. [Master thesis].
14. Geer, L.Y., Marchler-Bauer, A., Geer, R.C., Han, L.Y., He, J., He, S.Q., Liu, C.L., Shi, W.Y. & Bryant, S.H. (2010). The NCBI BioSystems database. *Nucleic Acids Research*, 38, 492–496. doi: 10.1093/nar/gkp858
15. Gerardo, N.M., Altincicek, B. Anselme, C., Atamian, H.S., Barribeau, S.M., Martin de, V., Duncan, E.J., Evans, J., Gabaldón, T., Ghanim, M., Heddi, A., Kaloshian, I., Latorre, A., Moya, A., Nakabachi, A., Perez-Brocal, V., Pignatelli, M., Rahbe, Y., Ramsey, J.S. Spragg, C., Tamames, J., Tamarit, D., Tamborindeguy, C. & Vincent-Monegat, C. (2010). Immunity and other defenses in pea aphids, *Acyrtosiphon pisum*. *Genome Biology*, 11(2), R21. doi: 10.1186/gb-2010-11-2-r21
16. Gottar, M., Gobert, V., Michel, T. Belvin, M., Duyk, G., Hoffmann, J.A., Ferrandon, D. & Royet, J. (2002). The *Drosophila* immune response against Gram-negative bacteria is mediated by a peptidoglycan recognition protein. *Nature*, 416(6881), 640–643.
17. Hultmark, D. (2003). *Drosophila* immunity: paths and patterns. *Current Opinion in Immunology*, 15(1), 12–19. doi: 10.1016/S0952-7915(02)00005-5
18. Ivica, L. & Peer, B. (2017). 20 years of the SMART protein domain annotation resource. *Nucleic Acids Research*, 46(1), 493–496. doi: 10.1093/nar/gkx922
19. Kang, D., Liu, G., Lundström, A., Gelius, E. & Steiner, H. (1998). A peptidoglycan recognition protein in innate immunity conserved from insects to humans. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 95(17), 10078–10082. doi: 10.1073/pnas.95.17.10078
20. Kanga, L. H. B., Pree, D. J., van Lier, J. L. & Walker, G. M. (2003). Management of insecticide resistance in oriental fruit moth (*Grapholita molesta*; Lepidoptera: Tortricidae) populations from Ontario. *Pest Management Science*, 59, 921–927.
21. Kong, W. N., Wang, Y., Guo, Y. F., Chai, X. H., Li, J. & Ma, R. Y. (2020). Behavioral effects of different attractants on adult male and female oriental fruit moths, *Grapholita molesta*. *Pest Management Science*, 76(9), 3225–3235. doi: 10.1002/ps.5878
22. Leone, P., Bischoff, V., Kellenberger, C., Hetru, C., Royet, J. & Roussel, A. (2008). Crystal structure of *Drosophila* PGRP-SD suggests binding to DAP-type but not lysine-type peptidoglycan. *Molecular Immunology*, 45, 2521–2530. doi: 10.1016/j.molimm.2008.01.015
23. Lin, C. Q. & Yao, B. (2012). Recent Advance in Digital PCR. *Progress in Chemistry*, 24(12), 2415–2423
24. Livak, K. J. & Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2<sup>-ΔΔC(T)</sup> Method. *Methods*, 25, 402–408.

25. Liu, Y., Shen, D. X., Zhou, F., Wang, G. R. & An, C. J. (2014). Identification of Immunity-Related Genes in *Ostrinia furnacalis* against Entomopathogenic Fungi by RNA-Seq Analysis, *Plos One*, 9(1), e86436. doi: 10.1371/journal.pone.0086436
26. Liu W. (2019). Immune response of intestinal reactive oxygen species and peptidoglycan recognition protein genes in *Antheraea pernyi*. [Doctor thesis].
27. Lu, Y. Z., Su, F. H., Li, Q.L., Zhang, J., Li, Y. J., Tang, T., Hu, Q. H. & Yu, X. Q. (2020). Pattern recognition receptors in *Drosophila* immune responses. *Developmental and Comparative Immunology*, 102, 9. doi: 10.1016/j.dci.2019.103468
28. Myllymaki, H., Valanne, S. & Ramet, M., (2014). The *Drosophila* imd signaling pathway. *The Journal of Immunology*, 192, 3455–3462
29. Natale, D., Mattiacci, L., Hern, A., Pasqualini, E. & Dorn, S. (2003). Response of female *Cydia molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) to plant derived volatiles. *Bulletin of Entomological Research*, 93, 335–342. doi: 10.1079/BER2003250
30. Nolan, T., Hands, R.E. & Bustin, S.A. (2006). Quantification of mRNA using real-time RT-PCR. *Nature Protocol*, 1, 1559–1582.
31. Ochiai, M. & Ashida, M. (1999). A pattern recognition protein for peptidoglycan. Cloning the cDNA and the gene of the silkworm, *Bombyx mori*. *Journal of Biological Chemistry*, 274(17), 11854–11858. doi: <https://doi.org/10.1074/jbc.274.17.11854>
32. Pavsic, J., Zel, J. & Milavec, M (2016). Assessment of the real-time PCR and different digital PCR platforms for DNA quantification. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 408(1), 107–121.
33. Pattyn, F., Speleman, F., De Paepe, A. & Vandesompele, J. (2003). RTPPrimerDB: the real-time PCR primer and probe database. *Nucleic Acids Research*, 31(1), 122–123. doi: 10.1093/nar/gkg011
34. Rufer, A. (2010) Therapeutic protein analysis with the Agilent 2100 Bioanalyzer. *Biotechniques*, 49(3), 669–671.
35. Saranraj, P. & Jayaprakash, A. (2017). A grobeneficial entomopathogenic fungi–*Beauveria bassiana*: A Review. *Asian Journal of Multidisciplinary Research*, 3(2), 1051–1087. doi: 10.22192/ajmr.2017.3.2.4
36. Sarker, S., Woo, Y.H. & Lim, U.T. (2020). Laboratory Evaluation of *Beauveria bassiana* ARP14 Against *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), *Current Microbiology*, 77(9), 2365–2373. doi: 10.1007/s00284-020-02012-4
37. Soohyun, L., Hwa, S.C., Byungho, L., Yang, J.O., Jeongsu, O., Minjin, K., Sooncheol, L., Byungwook, L., Kang, C. & Sanghyuk, L. (2011). Accurate quantification of transcriptome from RNA-Seq data by effective length normalization. *Nucleic Acids Research*, 39(2), e9. doi: 10.1093/nar/gkq1015
38. Sudhir, K., Glen, S. & Koichiro, T. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Molecular Biology & Evolution*, 33(7), 54. doi: 10.1093/molbev/msw054
39. Sumathipala, N. & Jiang, H.B. (2010). Involvement of *Manduca sexta* peptidoglycan recognition protein-1 in the recognition of bacteria and activation of prophenoloxidase system. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40, 487–495. doi: 10.1016/j.ibmb.2010.04.008
40. Tanaka, H., Ishibashi, J. Fujita, K., Nakajima, Y., Sagisaka, A., Tomimoto, K., Suzuki, N., Yoshiyama, M., Kaneko, Iwasaki, T., Sunagawa, T., Yamaji, K., Asaoka, A., Mita, K. & Yamakawa, M. (2008). A genome-wide analysis of genes and gene families involved in innate immunity of *Bombyx mori*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 38, 1087–1110.
41. Telles, G. P., Araujo, G. S., Walter, M. E. M. T., Brigido, M. M. & Almeida, N. F. (2018). Live neighbor-joining. *BMC Bioinformatics*, 19, 172. doi: 10.1186/s12859-018-2162-x
42. Tzou, P., De Gregorio, E. & Lemaitre, B. (2002). How *Drosophila* combats microbial infection: a model to study innate immunity and host-pathogen interactions. *Current Opinion in Microbiology*, 5, 102–110.
43. Vandesompele, J.D.P.K., Pattyn, F., Poppe B, Roy, N.V., Paepe A.D. & Speleman, F. (2002). Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. *Genome Biology*, 3, 7. doi: 10.1186/gb-2002-3-7-research0034
44. Wang, L. & Wang, Q. (2011). Application of SPSS in Teaching of Variance Analysis. 2nd International Conference on Education and Sports Education, 1.
45. Werner, T., Liu, G., Kang, D.W., Ekengren, S., Steiner, H. & Hultmark, D. (2000). A family of peptidoglycan recognition proteins in the fruit fly *Drosophila melanogaster*. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 97(25), 13772–13777
46. Wiegmann, B.M., Trautwein, M.D., Winkler, I.S., Barr, N.B., Kim, J.W., Lambkin, C. Bertone, M.A., Cassel, B.K., Bayless, K.M. & Heimberg, A.M. (2011). Episodic radiations in the fly tree of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 5690–5695.
47. Yang, P.J., Zhan, M.Y., Ye, C., Yu, X.Q. & Rao, X.J. (2017). Molecular cloning and characterization of a short peptidoglycan recognition protein from silkworm *Bombyx mori*. *Insect Molecular Biology*, 1, 12–33. doi: 10.1111/imb.12330.
48. Zaidman-Remy, A., Poidevin, M., Herve, M., Welchman, D.P., Paredes, J.C., Fahlander, C., Steiner, H., Mengin-Lecreulx, D. & Lemaitre, B. (2011). *Drosophila* immunity: analysis of PGRP-SB1 expression, enzymatic activity and function. *PLoS ONE*, 6, e17231. doi: 10.1371/journal.pone.0017231
49. Zhao, P., Xia, F., Jiang, L., Guo, H. Z., Xu, G. W., Sun, Q., Wang, B. B., Wang, Y. M., Lu, Z. Y. & Xia, Q. Y. (2018). Enhanced antiviral immunity against *Bombyx mori* cytoplasmic polyhedrosis virus via overexpression of peptidoglycan recognition protein S2 in transgenic silkworms. *Developmental & Comparative Immunology*, 87, 84–89.
50. Zhang, F.M., Shan, S.J., Xu, X.Y., Wang, Y., Zhang, Y.H. Yin, M. & Yang, G.W. (2019). Molecular characterization and expression analysis of two peptidoglycan recognition proteins (CcPGRP5, CcPGRP6) in larvae ontogeny of common carp *Cyprinus carpio* L. and upon immune stimulation by bacteria. *BMC veterinary Research*, 15, 10. doi: 10.1186/s12917-018-1744-1.
51. Zhang, X.Y. Chen, D., Zhang, S.Y., Wei, D. & Wang, J.J. (2020). Cloning and functional characterization of the peptidoglycan recognition protein gene BdPGRP-SB1 in *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(9), 1070–1080. doi: 10.16380/j.kcxb.2020.09.004

**Цао Жішан**, аспірантка, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Школа ресурсів і довілля, Хенанський інститут науки і технологій, м. Ксінсян, КНР

**Цао Цзиньцзюнь**, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Школа ресурсів і довілля, Хенанський інститут науки і технологій, м. Ксінсян, КНР

**Чжу Хонесія**, аспірантка, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Школа ресурсів і довілля, Хенанський інститут науки і технологій, м. Ксінсян, КНР

**Власенко Володимир Анатолійович**, доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

#### **Молекулярна ідентифікація білка пептидоглікану короткого типу, GmPGRP-SC від *Grapholitha molesta***

Білок розпізнавання пептидогліканів (PGRP) є важливим рецептором розпізнавання паттернів, який міститься як у безхребетних, так і у хребетних. Він відіграє важливу роль в антибактеріальному імунитеті, завдяки своїй помітній здатності виявляти та усувати збудника інфекції. Однак PGRP, в основному ідентифіковано з *Drosophila melanogaster* та *Botrytis torii*, а щодо інших сільськогосподарських комах повідомлень мало про їхні функції та механізми. У цьому дослідженні короткотиповий ген PGRP під назвою GmPGRP-SC був ідентифікований у *Grapholitha molesta* – східної плодожерки (OFM) – на основі аналізу бази даних груп транскрипції OFM з нашої лабораторії та Національного центру інформації з біотехнологій (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). GmPGRP-SC містить домен PGRP і має найтісніший генетичний зв'язок з геном PGRP *Leguminivora glycinivorella*, відповідно до послідовності та філогенетичного аналізу. Метод ПЛР у реальному часі було використано для аналізу картини його експресії на стадіях розвитку OFM та в різних тканинах личинки OFM. Наразі, відносно рівні експресії гена GmPGRP-SC в OFM були проаналізовані після інфікування *Beauveria bassiana*. Результати показали, що загальна кДНК від GmPGRP-SC становила 3221 бр (базових, основних пар), а кодуєчі області – 2268 бр, що кодуєть 756 амінокислотних залишків. Рівень експресії GmPGRP-SC був найвищим у стадії лялечки OFM. Водночас, у різних тканинах OFM його відносна експресія була вищою в епітелії та гемоциті, тоді як іншим стадіям та тканинам притаманна порівняно нижча та з невеликою різницею. Рівень експресії GmPGRP-SC був істотно різним, коли суспензія спор *B. bassiana* становить 105 конідій/мкл, інфікованих через 48 годин. Тоді, коли суспензія спор *B. bassiana* становить 107 конідій/мкл, рівень експресії GmPGRP-SC також був різним. Усі ці результати закладуть основу для вивчення ролі та функцій GmPGRP-SC у вродженому імунитеті OFM, а також сприятимуть подальшому вивченню молекулярної взаємодії між OFM та *B. bassiana*. Результати досліджень можуть допомогти знайти потенційні молекули-мішені та забезпечити наукову основу для розробки нових біогенних пестицидів та реалізації Зеленої боротьби зі шкідниками (GPM).

**Ключові слова:** східна плодожерка, вроджений імунітет, *Beauveria bassiana*, біологічна боротьба зі шкідниками.

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SUNFLOWER SEEDLINGS UNDER THE INFLUENCE OF CADMIUM STRESS

**Fu Yuanzhi**

PhD Student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

lilac1210@126.com

**Trotsenko Volodymyr**

Doctor (Agricultural Sciences), Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0001-8101-084

vtrosenko@ukr.net

*Steady trend of recent decades is the rapid growth of soil pollution by heavy metals. Metals that do not play a significant role in plant life are particularly dangerous, but they can accumulate in plants and migrate along the food chain. Cadmium is one of such elements, its half-life from the human body is more than 50 years. For breeding programs aimed at creating varieties with low levels of cadmium accumulation, it is important to understand the role of genotype in the processes of metal intake to different parts of plants. An experiment was carried out to study the growth and absorption of trace metallic elements (TMEs) in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings under Cd stress. The research was done on selection samples of sunflower selected by the method of vegetation evaluation in Sumy NAU in 2018. According to the evaluation results, line 62\3 was characterized by low, and line JB231AC – high level of resistance to cadmium accumulation. In 2020, the seeds of the samples were reseeded at the Henan Institute of Science and Technology. Sunflower seedlings (20-day-old) grown in plastic containers with Hogland's solution were investigated. From uniformly and well-developed plants were formed 4 samples which were for 7 days in a solution of  $CdCl_2 \cdot 2.5 H_2O$  with a concentration of 0; 25; 50 and 100  $\mu M$ . Ashing of the samples was performed in nitric acid. Determination of metal content was performed on an atomic adsorption spectrophotometer. In all samples there was a steady trend to decrease plant height and total seedling weight with increasing cadmium concentration. In the case of dried parts of plants, statistically significant, leveling the difference between the samples, the effect of cadmium was detected at a concentration of 50  $\mu m$  or more for the dry matter of roots and at a concentration of 100  $\mu m$  for the mass of the aboveground part. It was found that the threshold concentration that provided a significant difference between the cadmium content in the roots and stems was 100  $\mu m$ . Compared to sample JB231AC, sample 64\2 had a higher cadmium content in the roots by 23 % and 12 % in the aboveground part. With respect to Li, Ni, and Sr, a significant difference between the samples was mostly observed at a concentration of 25 and 50  $\mu M$ . The accumulation concentration of lithium (Li) and nickel (Ni) in high Cd variety 62\3 was lower than that in low Cd variety JB231AC. The Li and strontium (Sr) concentration in the root were similar to that in the aboveground part under Cd stress, while Ni accumulated in root of JB231AC in slightly higher concentrations than that in aboveground part. The presence of an inverse relationship between the concentration of cadmium and the concentrations of lithium and nickel may indicate both the genotypic features of their transport and the presence of antagonism between the accumulation of these metals. However, this statement requires further research.*

**Key words:** sunflower, seedlings, Cd concentration, heavy metals, trace metallic elements, accumulation, growth.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.8>

**Introduction.** In recent years, with the rapid development of mining, industrial and agricultural production in the world, heavy metal soil pollution has become increasingly serious problem as a result of human activities, such as industrial wastewater, waste gas discharge, sewage irrigation and the abuse of chemical fertilizers and pesticides (Bashir et al., 2021; Singh & Prasad, 2014; Yan et al., 2021). Heavy metal cadmium (Cd) is a non-essential element for plants and animals, which inhibits the growth and development of plants (Li et al., 2019; Maria Celeste et al., 2013). Cd in plants interferes with normal metabolism, affecting photosynthesis and respiration, reducing root activity,

slowing seedling growth, making leaves small and yellow, and eventually leading to plant death (Ahmad et al., 2015; Fan et al., 2011; Khadija et al., 2018). Consumption of Cd-contaminated plant material is one of the main sources of Cd intake for people, posing a threat to human health, even at low concentrations (Jaouani et al., 2018; Reyes-Hinojosa et al., 2019; Templeton and Liu, 2010). Cd repair and accumulation have been studied in many plant species, such as soybean (Li et al., 2012), wheat (Chen et al., 2017), barley (Chen et al., 2010), rice (Prerna et al., 2020), maize (Dakak & Hassan, 2020), rapeseed (Wu et al., 2015) and millet (Han et al., 2018), etc.



Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is among the world's most important oilseed crops. As sunflower oil is one of the healthiest vegetable ones available for cooking, there is increasing demand due to a health-conscious diet (Bán et al., 2021). Studies have shown that sunflower has a high enrichment capacity to accumulate for heavy metals (Cornu et al., 2020; Zhou et al., 2020).

Trace metallic elements (TMEs) are indispensable elements in nature, which are lost to land through mining and production (Robert and Stengel, 1999). Compared to other pollutants, TMEs are non-biodegradable. Certain heavy metals are necessary or even essential for living beings, and this at reasonable concentrations in certain environmental matrices. On the other hand, at a high threshold, they (Cd, Pd, Hg) exhibit more or less strong toxicity which harms most living organisms (Aristide et al., 2021). At present, some TMEs, such as Cd (Cornu et al., 2016; Silveira et al., 2021), As (Wang et al., 2020), Hg, Cu (Mahardika et al., 2018) and Pb (Alaboudi et al., 2018) have been studied in some crops, however there are little researches about TMEs in sunflower. Issam et al. (2015) studied the role of selenium (Se) in regulating oxidative stress of sunflower seed roots induced by Cd, and the results strongly suggested that exogenous selenium may improve the tolerance of plants to oxidative stress induced by Cd. Shoot nutrients uptake of plants decreased as nickel (Ni) levels increased, and high level of Ni decreased root colonization in sunflower (Jarrah et al., 2019). Studies have shown that lithium (Li) and strontium (Sr) can be absorbed by body and affect human health (Zaichick&Zaichick,2014; Zaichick et al., 2009), but little researches have been done about Li or Sr in crops.

In this paper, the Cd gradient experiment was carried out on high and low Cd accumulation sunflower sample varieties. The growth characteristics of the two varieties under Cd stress at seedling stage and the accumulation of TMEs Li, Ni and Sr in the two sunflower samples under Cd stress were studied. This paper provides a theoretical basis for the safe production of sunflower on metal contaminated soil.

**Materials and methods.** *Material treatment and acquisition.* Two genotypes accessions of sunflower 62\3 (high Cd accumulation) and JB231AC (low Cd accumulation), which were identified with different Cd accumulation capability in our previous study, were carried out in this study. The two varieties were obtained from Sumy National Agrarian University (Sumy, Ukraine) where they were reproduced in October 2020.

The healthy seeds of each accession were sterilized by 15 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for half an hour, and rinsed by distilled water for at least three times, and soaked in deionized water at room temperature for four hours, then sown in germinated box (32 cm × 25.5 cm × 11 cm) containing vermiculite and moistened with deionized water. Seeds were incubated in the culture room with 16 h light (28°C, 5000 Lux) and 8 h dark (25°C) photoperiod for 6 days. Following germination, seedlings were transferred to plastic pots filled with 10 L of 1/4 strength modified Hoagland nutrient solutions for 7 days, then was increased to 1/2 strength for 7 days. After 20 days of Cd-free growth, seedlings with uniformed sizes were randomly assigned to four different Cd treatments:

0, 25, 50 and 100 μM CdCl<sub>2</sub> · 2.5H<sub>2</sub>O for 7 days. Finally, the seedling were harvested, one part was used to measure morphological indexes and Cd content, and the other part was quickly isolated and frozen in liquid nitrogen and stored at – 80 °C and was used to measure physiological indicators and transcriptome analysis. The 1/2 strength nutrient solution containing 2.5 mmol/L Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 1mmol/L MgSO<sub>4</sub>, 0.5 mmol/L NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2.5 μmol/L KCL, 2mmol/L NaCl, 0.2μmol/L CuSO<sub>4</sub>, 1μmol/L ZnSO<sub>4</sub>, 0.1mmol/L EDTA-FeNa, 0.02 mmol/LH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 5 nmol/L (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> and 1 μmol/L MnSO<sub>4</sub>. All the treatments were replicated three times.

*Identification of growth index and Cd content.* For showing and evaluating of Cd treatment results, the plants were photographed by a digital camera, plant height and fresh weight were measured. The root and aboveground parts of seedlings were oven-dried at 80°C until constant weight and then weighed for dry weight.

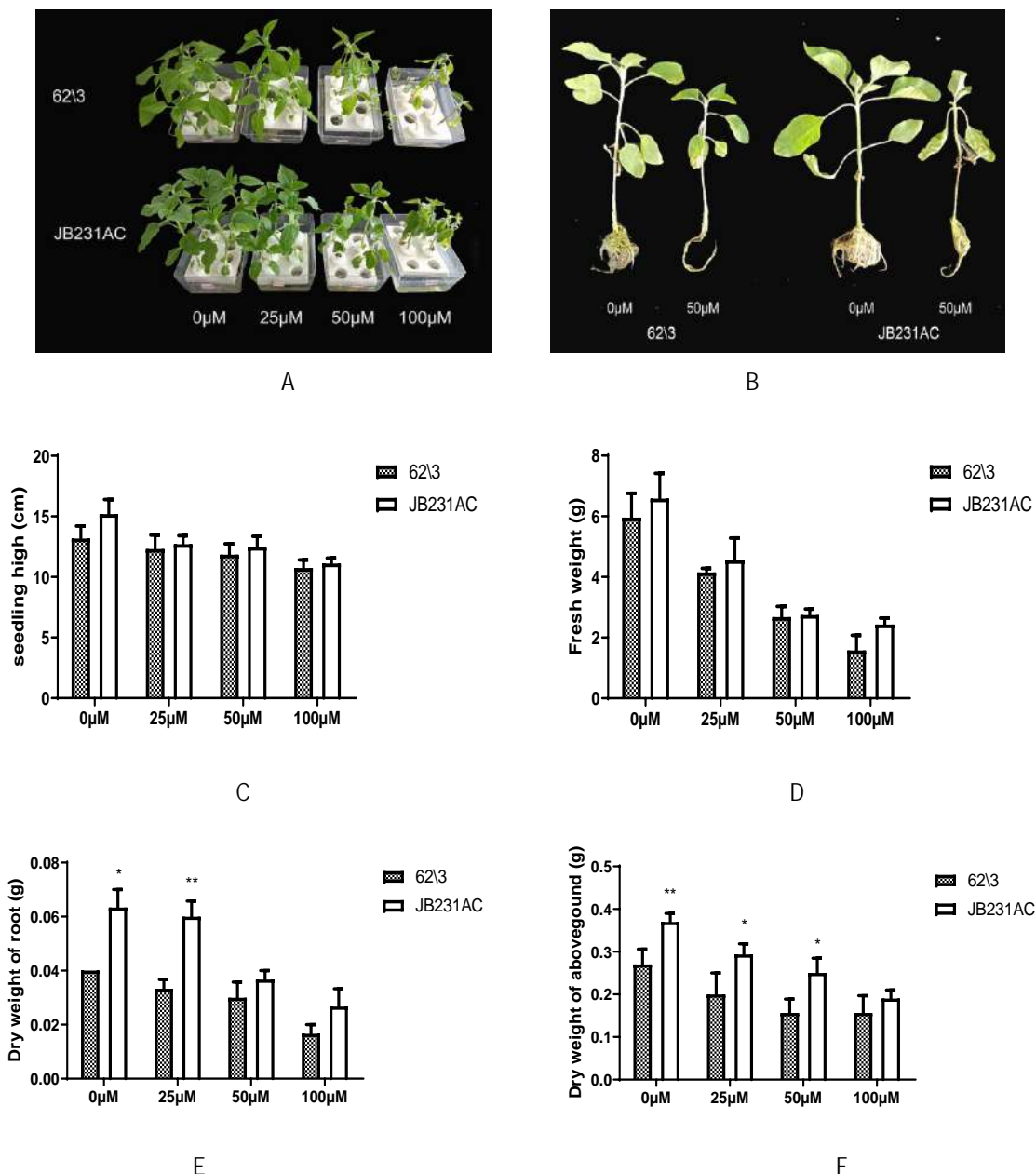
For measuring content of Cd and the TMEs, the root of seedlings were rinsed with deionized water for at least three times to remove surface ions, and then, root and aboveground parts were harvested separately. The samples were dried at 105°C for 30 min, and then at 80°C in an oven until they were completely dried, then the dry sample were ground to powders. Dry powder of each sample was digested in 5 ml HNO<sub>3</sub> overnight (at least for three 3 h) at room temperature, then adding 2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and continued digesting for approximately 3 h at 180°C. (Marguí et al., 2009) The digested solution volumetized to 25 mL, and then investigated by an atomic absorption spectrophotometer (ICP-OES, Optima 2100DV, Perkin Elmer).

*Statistical analysis.* All data were statistically analyzed using GraphPad Prism 8. Analysis of variance was performed on data sets, with the mean and SD of each treatment calculated. Multiple comparisons with Bonferroni t-test were mainly used to compare the mean values between treatments (p < 0.05).

**Results.** *1. Growth of two sunflower varieties under Cd stress.* In this experiment, the seedling height, fresh weight, aboveground and root dry weight of the two sunflower varieties decreased with the increase of Cd concentration, and the high Cd variety 62\3 grew weaker than the low Cd variety JB231AC under Cd stress (Fig. 1 A–B), and growth indexes of variety 62\3 were lower than variety JB231AC (Fig. 1 C–F).

Among them, the seedling height and fresh weight decreased with the increase of Cd concentration, but the change was not significant. The root dry weights of variety 62\3 and JB231AC were significantly difference when Cd concentration was 25μM, and the aboveground dry weight was significantly difference when Cd concentration was 25μM and 50μM.

*3. Accumulation of trace metallic elements in two sunflower varieties under Cd stress.* Fig. 2 (A–B) verifies that variety 62\3 is a high Cd variety and JB231AC is a low Cd variety, and the Cd concentration in the root is higher than that in the aboveground part. With the increase of Cd concentration, the Cd accumulation in root and aboveground part of the two cultivars increased, and higher Cd concentrations were accumulated in variety 62\3 under



**Fig. 1. Growth performance of variety 62\3 and JB231AC seedling.**

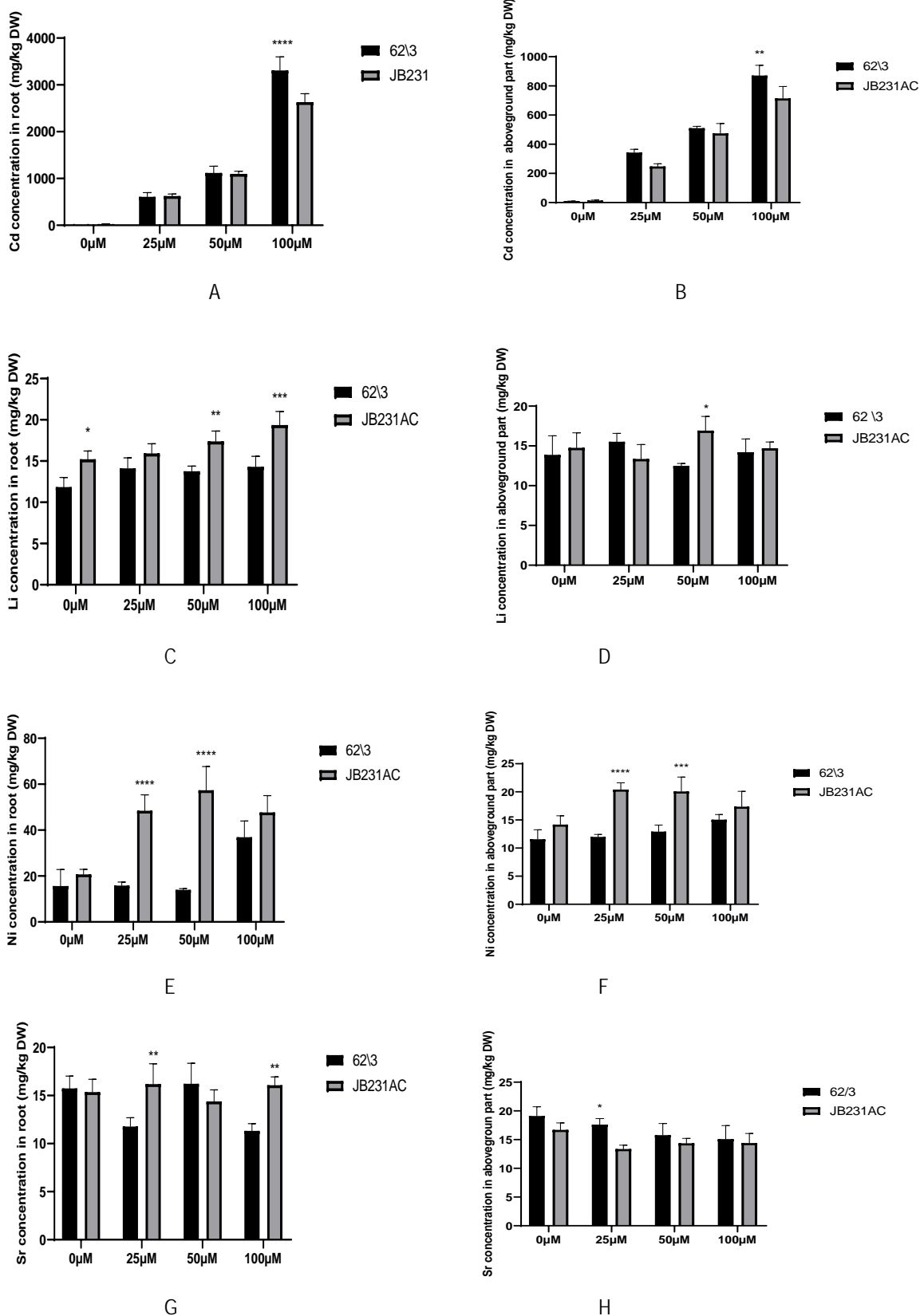
**A–B, Growth status under Cd conditions for 7 days. C–F, growth indices of the seedling. For C–F the statistical analyses were conducted using all the data of the two varieties under Cd conditions. Data presented are the means (n = 3), and error bars denote the standard deviations. The asterisk represents the significant difference between two varieties. \*: P value < 0.05, \*\*: P < 0.01**

different Cd gradients. When the Cd concentration was 100 μM, the Cd accumulation in root and aboveground part of variety 62\3 showed extremely significant differences.

The Li concentration in the root and aboveground part of the two varieties was approximately the same under Cd stress, and the high Cd variety 62\3 accumulated less Li than the low Cd variety JB231AC (Fig. 2 C–D). In root, Li accumulation was significantly differences when the Cd concentration was 50 μM and 100 μM. With the increase of Cd concentration, the Li concentration in root increased, the change in the aboveground part was not regular, and there might be experimental error.

The Ni accumulation in sunflower increased firstly and then decreased with the increase of Cd concentration, and the maximum value appeared at 50 μM in the root and 25 μM in the aboveground part (Fig. 2, E–F). The Li concentration in root was higher than that in aboveground part. The Ni concentration in the high Cd variety 62\3 was lower than that in the low Cd variety JB231AC, and there was a very significant difference in the Cd concentration at 25 μM and 50 μM in the root and aboveground part, respectively.

With the increase of Cd concentration, the Sr accumulation in root of the two sunflower varieties varied, but remained basically flat, which may be caused by experimental error,



**Fig. 2. Accumulation of trace metallic elements in the root and aboveground part of variety 62\3 and JB231AC seedling.**

A–B, Cd accumulation. C–D, Li accumulation. E–F, Ni accumulation. G–H, Sr accumulation. For A–H the statistical analyses were conducted using all the data of the two varieties under Cd conditions. Data presented are the means ( $n = 3$ ), and error bars denote the standard deviations. The asterisk represents the significant difference between two varieties \*:  $P$  value  $< 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*\*\*:  $P < 0.0001$

and basically showed a downward trend in aboveground part (Fig. 2G–H). Sr accumulates in roughly equal concentration in root and aboveground part. In aboveground part, the high Cd variety 62\3 accumulated relatively higher Sr concentration than the low Cd variety JB231AC.

**Discussion.** In hydroponics under controlled conditions, Cd stress (5  $\mu$ M Cd for 14 days) induced strong phytotoxic effects, as indicated by a decrease in all growth parameters (Hawrylak-Nowak et al., 2015). At Cd concentration of 50  $\mu$ M the seedling growth of sunflowers was affected significantly in a short period (< 7 days) in the experiment, and the growth indexes such as plant height, dry and fresh weight decreased obviously. Cd accumulation of both varieties was more in roots than in aboveground parts. Cd accumulation in sunflower was different in different genotypes. Varieties 62\3 with high Cd accumulation might accumulate more Cd, causing greater toxicity to themselves, so their plant height, dry and fresh weight were lower than varieties JB231AC with low Cd accumulation under different Cd gradient. The accumulation characteristics of different TMEs in the two sunflower species under Cd stress were different, and the accumulation of TMEs in the root and aboveground

part of the same variety might be different. The accumulation concentration of Li and Ni in high Cd variety 62\3 was low, so it is speculated whether they have antagonistic effect with Cd absorption. Accumulation was more in roots than shoots for most of the heavy metals (Belhaj et al., 2016). In the paper, the Li and Sr concentration in the root were similar to that in the aboveground part under Cd stress, while Ni accumulated in root of JB231AC in slightly higher concentrations than that in aboveground part.

**Conclusions.** The accumulation and distribution of cadmium in plants have a great relationship with species, varieties, parts and growing environment, and eventually lead to different accumulation and distribution in different parts of plants. An inverse relationship between cadmium concentration and lithium and nickel concentrations has been established, which may be due to genotypic features, but the presence of antagonism between the accumulation of these metals is not excluded. In general, studies have confirmed the sufficient level of efficiency of vegetative evaluation of sunflower initial material for resistance to cadmium accumulation and stability of this trait in subsequent generations.

#### References:

1. Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N. A., Wani, M. R., Kazi, A. G., & Tran, L. S. (2015). Alleviation of cadmium toxicity in Brassica juncea L. (Czern. & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. *PLoS One*, 28,10(1), e0114571.
2. Alaboudi, K. A., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1),123–127.
3. Aristide, Y. Y. H., Valery, A. D. P., Chantal, K. A. L., Brou, D., & Kouame, D. B. (2021). Assessment of the Health Risks Associated with the Ingestion of Heavy Metals (As, Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Hg) in Vegetable Crops in the City of Daloa (Ivory Coast). *American Journal of Applied Chemistry*, 9(4).
4. Bán, R., Kovács, A., Nisha, N., Pálkás, Z., Zalai, M., Yousif, A. I. A., & Körösi, K. (2021). New and High Virulent Pathotypes of Sunflower Downy Mildew (*Plasmopara halstedii*) in Seven Countries in Europe. *J Fungi (Basel)*, 7(7), 549–549. doi: 10.3390/jof7070549
5. Bashir, S., Qayyum, M. A., Husain, A., Bakhsh, A., Ahmed, N., Hussain, M. B., Elshikh, M. S., Alwahibi, M. S., Almunqedhi, B. M. A., Hussain, R., Wang, Y. F., Zhou, Y., & Diao, Z. H. (2021). Efficiency of different types of biochars to mitigate Cd stress and growth of sunflower (*Helianthus L.*) in wastewater irrigated agricultural soil. *Saudi J Biol Sci*, 28, 2453–2459.
6. Belhaj, D., Elloumi, N., Jerbi, B., Zouari, M., Abdallah, F. B., Ayadi, H., & Kallel, M. (2016). Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). *Environ Sci Pollut Res Int*, 23, 20168–20177. doi: 10.1007/s11356-016-7193-0
7. Chen, F., Wang, F., Wu, F., Mao, W., Zhang, G., & Zhou, M. (2010). Modulation of exogenous glutathione in antioxidant defense system against Cd stress in the two barley genotypes differing in Cd tolerance. *Plant Physiol Biochem*, 48, 663–672. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.05.001
8. Chen, Y. P., Chen, D., & Liu, Q. (2017). Exposure to a magnetic field or laser radiation ameliorates effects of Pb and Cd on physiology and growth of young wheat seedlings. *J Photochem Photobiol B* 169, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.03.012>.
9. Cornu, J. Y., Bakoto, R., Bonnard, O., Bussière, S., Coriou, C., Sirguy, C., Sterckeman, T., Thunot, S., Visse, M. I., & Nguyen, C. (2016). Cadmium uptake and partitioning during the vegetative growth of sunflower exposed to low Cd concentrations in hydroponics. *Plant and Soil*, 404(1–2), 263–275. Doi: 10.1007/s11104-016-2839-8
10. Cornu, J. Y., Bussière, S., Coriou, C., Robert, T., Maucourt, M., Deborde, C., Moing, A., & Nguyen, C. (2020). Changes in plant growth, Cd partitioning and xylem sap composition in two sunflower cultivars exposed to low Cd concentrations in hydroponics. *Ecotoxicol Environ Saf*, 205, 111145. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111145
11. Dakak, R. A. E., & Hassan, I. A. (2020). The Alleviative Effects of Salicylic Acid on Physiological Indices and Defense Mechanisms of Maize (*Zea Mays L. Giza 2*) Stressed with Cadmium. *Environmental Processes: An International Journal*, 7, (3),873–884. doi: 10.1007/s40710-020-00448-1
12. Fan, J. L., Wei, X. Z., Wan, L. C., Zhang, L. Y., Zhao, X. Q., Liu, W. Z., Hao, H. Q., & Zhang, H. Y. (2011). Disarrangement of actin filaments and  $Ca^{2+}$  gradient by  $CdCl_2$  alters cell wall construction in *Arabidopsis thaliana* root hairs by inhibiting vesicular trafficking. *J Plant Physiol*, 168, 1157–1167. doi: 10.1016/j.jplph.2011.01.031
13. Han, Y., Wu, M., Hao, L., & Yi, H. (2018). Sulfur dioxide derivatives alleviate cadmium toxicity by enhancing antioxidant defence and reducing Cd(2+) uptake and translocation in foxtail millet seedlings. *Ecotoxicol Environ Saf*, 157, 207–215. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.084



14. Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., & Matraszek, R. (2015). Exogenous malic and acetic acids reduce cadmium phytotoxicity and enhance cadmium accumulation in roots of sunflower plants. *Plant Physiol Biochem*, 94, 225–234. doi: 10.1016/j.plaphy.2015.06.012
15. Issam, S., Wahbi, D., & Yacine, C. (2015). Selenium Treatment Alleviated Oxidative Alteration Generated by Cadmium in Sunflower Roots. *British Biotechnology Journal*, 5(4). doi: 10.9734/BBJ/2015/14802
16. Jaouani, K., Karmous, I., Ostrowski, M., Ferjani, E. E., Jakubowska, A., & Chaoui, A. (2018). Cadmium effects on embryo growth of pea seeds during germination: Investigation of the mechanisms of interference of the heavy metal with protein mobilization-related factors. *J Plant Physiol*, 226, 64–76. doi: 10.1016/j.jplph.2018.02.009
17. Jarrah, M., Ghasemi-fasaei, R., Ronaghi, A., Zarei, M., & Mayel, S. (2019). Enhanced Ni phytoextraction by effectiveness of chemical and biological amendments in sunflower plant grown in Ni-polluted soils. *Chemistry and Ecology*, 35(8), 732–745.
18. Khadija, J., Inès, K., Maciej, O., Ezzedine El, F., Anna, J., & Abdelilah, C. (2018). Cadmium effects on embryo growth of pea seeds during germination: Investigation of the mechanisms of interference of the heavy metal with protein mobilization-related factors. *Journal of Plant Physiology*, 226, 64–76. doi: 10.1080/02757540.2019.1644325
19. Li, Q., Wang, G., Wang, Y., Dan, Y., Guan, C., & Ji, J. (2019). Foliar application of salicylic acid alleviate the cadmium toxicity by modulation the reactive oxygen species in potato. *Ecotoxicol Environ Saf*, 172, 317–325. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.078.
20. Li, X., Zhang, L., Li, Y., Ma, L., Ning, B., & Ma, C. (2012). Changes in photosynthesis, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in soybean seedlings exposed to UV-B radiation and/or Cd. *Plant and Soil*, 352, 377–387. doi: 10.1007/s11104-011-1003-8
21. Mahardika, G., Rinanti, A., & Fachrul, M. F. (2018). Phytoremediation of heavy metal copper (Cu<sup>2+</sup>) by sunflower (*Helianthus annuus* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 106. doi: 10.1088/1755-1315/106/1/012120
22. Maria Celeste, D., Cristina, M., José, M.-P., Carlos, C., Berta, G., & Conceição, S. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 1281–1289. doi: 10.1007/s11738-012-1167-8
23. Prerna, S., Indra, S. & Kavita, S. (2020). Alterations in antioxidative machinery and growth parameters upon application of nitric oxide donor that reduces detrimental effects of cadmium in rice seedlings with increasing days of growth. *South African Journal of Botany*, 131(C), 283–294. doi: 10.1016/j.sajb.2020.02.022
24. Reyes-Hinojosa, D., Lozada-Pérez, C. A., Zamudio Cuevas, Y., López-Reyes, A., Martínez-Nava, G., Fernández-Torres, J., Olivos-Meza, A., L&a-Solis, C., Gutiérrez-Ruiz, M. C., Rojas Del Castillo, E., & Martínez-Flores, K. (2019). Toxicity of cadmium in musculoskeletal diseases. *Environ Toxicol Pharmacol*, 72, 103219. doi: 10.1016/j.etap.2019.103219
25. Robert, M., & Stengel, P. (1999). Soils and agriculture: soil resource, quality and degradation processes. A world, European and French prospect. *Cahiers Detudes Et De Recherches Francophones Agricultures*, 8, 301–308.
26. Silveira, R. I. F. Í. H., Jos, L., Arajo, P. F. í., & Ferracci, A. L. S. R. (2021). Photosynthetic Parameters and Growth of Rice, Lettuce, Sunflower and Tomato in an Entisol as Affected by Soil Acidity and Bioaccumulation of Ba, Cd, Cu, Ni, and Zn. *Archives of environmental contamination and toxicology*. doi: 10.1007/s00244-021-00850-2
27. Singh, A., & Prasad, S. M. (2014). Effect of agro-industrial waste amendment on Cd uptake in *Amaranthus caudatus* grown under contaminated soil: an oxidative biomarker response. *Ecotoxicol Environ Saf*, 100, 105–113. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.09.005.
28. Templeton, D. M., & Liu, Y. (2010). Multiple roles of cadmium in cell death and survival. *Chem Biol Interact*, 188, 267–275. doi: 10.1016/j.cbi.2010.03.040
29. Zaichick, V. & Zaichick, S. (2014). Relations of the Al, B, Ba, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, S, Si, Sr, and Zn mass fractions to morphometric parameters in pediatric and nonhyperplastic young adult prostate glands. *Biometals: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, 27(2), 333–348. doi: 10.1007/s10534-014-9716-9
30. Wang, C., Zhang, Y., Liu, Y., Xu, H., Zhang, T., Hu, Z., Lou, L., & Cai, Q. (2020). Ectopic expression of wheat aquaglyceroporin TaNIP2;1 alters arsenic accumulation and tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111131. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111131
31. Wu, Z., Zhao, X., Sun, X., Tan, Q., Tang, Y., Nie, Z., Qu, C., Chen, Z., & Hu, C. (2015). Antioxidant enzyme systems and the ascorbate-glutathione cycle as contributing factors to cadmium accumulation and tolerance in two oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.) under moderate cadmium stress. *Chemosphere*, 138, 526–36. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.06.080
32. Yan, Y., Sun, Q., Yang, J., Zhang, X., & Guo, B. (2021). Source attributions of Cadmium contamination in rice grains by Cadmium isotope composition analysis: A field study. *Ecotoxicol Environ Saf*, 210, 111865. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111865.
33. Zaichick, V., Zaichick, S., Karandashev, V., & Nosenko, S. (2009). The Effect of Age and Gender on Al, B, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, S, Sr, V, and Zn Contents in Rib Bone of Healthy Humans. *Biological Trace Element Research*, 129(1–3), 107–115. doi: 10.1007/s12011-008-8302-9.
34. Zhou, J., Chen, L. H., Peng, L., Luo, S., & Zeng, Q. R. (2020). Phytoremediation of heavy metals under an oil crop rotation and treatment of biochar from contaminated biomass for safe use. *Chemosphere*, 247, 125856. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.125856
35. Marguá, E., Queralt, I. & Hidalgo, M (2009). Application of X-ray fluorescence spectrometry to determination and quantitation of metals in vegetal material. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(3), 362–372. doi: 0.1016/j.trac.2008.11.011

**Фу Юаньжі**, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Науково-Технологічний інститут, м. Хенань, КНР

**Троценко Володимир Іванович**, доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

### **Накопичення важких металів у проростках соняшнику під впливом кадмієвого стесу**

Стійкою тенденцією останніх десятиліть є стрімке зростання забруднення ґрунту важкими металами. Особливу небезпеку становлять метали, які не відіграють суттєвої ролі у житті рослин, але можуть накопичуватися у рослинах та мігрувати харчовим ланцюгом. Одним із таких елементів є кадмій, період напіввиведення якого з організму людини складає більше 50 років.

Для селекційних програм, спрямованих на створення сортів із низьким рівнем накопичення кадмію, важливим є розуміння ролі генотипу в процесах надходження металу до різних частин рослин. Дослідження проводились на селекційних зразках соняшнику, виділених за методикою вегетаційного оцінювання в Сумському НАУ в 2018 році. За результатами оцінювання лінія 62\3 характеризувалася низьким, а лінія JB231AC – високим рівнем стійкості до накопичення кадмію. У 2020 році насіння зразків було пересіяно в умовах Науково-технологічного інституту м. Хенань. Досліджували 20-денні проростки соняшнику, що вегетували у пластикових контейнерах з розчином Хогланда. Із рівномірно розвинених рослин було сформовано 4 вибірки, які протягом 7 днів знаходились у розчині  $CdCl_2 \cdot 2,5 H_2O$  з концентрацією 0; 25; 50 та 100 мкМ. Для аналізу зразки розчиняли у нітратній кислоті. Визначення вмісту металів проводили на атомно-адсорбційному спектрофотометрі (ICP-OES, Optima 2100DV, Perkin Elmer).

В обох зразках було відмічено стійкий тренд до зменшення висоти рослин та загальної маси проростків із збільшенням концентрації кадмію. Різниця між зразками за згаданими показниками нівелювалася при концентрації 50 і більше мкМ. У випадку із висушеними частинами рослин статистично суттєвий вплив кадмію виявлено при концентрації 50 і більше мкМ для показника маси сухої речовини коренів та при концентрації 100 мкМ для показника маси надземної частини.

Встановлено, що пороговою концентрацією, яка забезпечувала суттєву різницю між показниками вмісту кадмію в коренях та стеблах, було 100 мкМ. Порівняно із зразком JB231AC, зразок 64\2 мав вищий вміст кадмію у коренях на 23 % та на 12 % у надземній частині. Відносно Li, Ni, та Sr суттєва різниця між зразками здебільшого спостерігалася за концентрації 25 та 50 мкМ.

Накопичення і розподіл кадмію в рослинах мають значний зв'язок з видами, сортами, частинами та середовищем вирощування і в кінцевому підсумку призводять до різного накопичення та розподілу в різних частинах рослин. Встановлено зворотну залежність між концентрацією кадмію та концентраціями літію та нікелю, що може бути зумовлено генотипними особливостями, але не виключається наявність антагонізму між накопиченням цих металів. Однак таке твердження потребує додаткових досліджень.

Загалом дослідження підтвердили достатній рівень ефективності вегетативної оцінки вихідного матеріалу соняшнику на стійкість до накопичення кадмію та стабільність цієї ознаки в наступних поколіннях.

**Ключові слова:** соняшник, проростки, концентрація Cd, важкі метали, мікроелементи, накопичення, ріст.

**EFFECT OF DIFFERENT SOWING DATE, PLANTING DENSITY ON YIELD AND MAIN AGRONOMIC TRAITS  
IN WINTER WHEAT VARIETY BAINONG 207**

**Qiaoyan Chen**

PhD Student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Henan Institute of Science and Technology, Anyang, Henan, China

ORCID: 0000-0002-4918-7473

CQY20100216@163.com

**Xingqi Ou**

Master Degree, Professor

Henan Institute of Science and Technology, Zhoukou, Henan, China

ORCID: 0000-0003-4137-2276

ouyangxq@163.com

**Xinhua Li**

Bachelor Degree, Agronomist

Henan Institute of Science and Technology

Xuchang, Henan, China

ORCID: 0000-0003-2833-665X

249638897@qq.com

**Wenhui Wei**

PhD, Professor, Henan Institute of Science and Technology

Wuhan, Henan, China

ORCID: 0000-0003-2951-7700

whwei88@hotmail.com

**Kandyba Nataliya**

PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0001-6548-3670

natnik08@meta.ua

*Nowadays, the field is changed from «three parts planting, seven parts management» to «seven parts planting, three parts management», which requires good varieties with high adaptability and simplified and practical farming techniques to support modern agriculture. In our studies, we used the Bainong 207 winter wheat variety as the experimental material and had four sowing dates and four sowing density options for each sowing date. The influence of sowing dates and sowing density on yield, yield components and main agrotechnical features has been studied. According to the results of research, it was found that the influence of sowing dates and density on yield and the main components of yield differed significantly, with the influence of sowing time was greater than the influence of density. Yield, spike number and grain number per spike were highest in A2, and weight of thousands of grains - in A3; B2 and B3 had the highest yields, spike number and the grain number per spike increased and then decreased with increasing density, and the thousand grain weight gradually decreased. The setting percentage was higher at a certain date and density; there is no clear tendency of bulk weight with sowing date delay and increase density. The plant height gradually decreased with the sowing date delay, and increase with density. Spike length was a relatively stable feature with no significant changes with sowing dates and density. According to the results of research, the most appropriate terms of sowing of winter wheat of Bainong 207 variety have been established. Correlation analysis showed that high yields can be achieved by combining three yield factors with corresponding sowing dates and sowing densities.*

**Key words:** correlation analysis, winter wheat; sowing date; planting density; yield, variety, yield components, main agronomic traits, Bainong 207.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.9>

**Introduction.** Wheat is one of the most important food crops in the world, and China is a populous country that needs to increase its grain production to meet the demand of its population. Good and efficient cultivation techniques

are necessary for high and stable yields, among which, sowing date and density is one of the important cultivation techniques for wheat, because different sowing dates and planting densities determine different ecological

conditions and make the whole growth process of wheat show variability (Hai, 2002; Hao et al., 2011; Lin, 1996; Wu et al., 2004). A suitable sowing period can ensure maximum use of pre-winter light, heat and other resources to cultivate strong seedlings [5] (Hu, 1986); a reasonable population density is the basis for high yield, and different sowing densities cause corresponding changes in the synthesis and operation and accumulation of photosynthetic products, which in turn affect the yield and quality of wheat (Cao, 2011; Yang et al., 2010; Li et al., 2016). A great deal of research has been done on this subject, and the determination of sowing and density varies according to variety and region (Kong et al., 2004; Hu et al., 2008; Liu et al., 2017; Zhang et al., 2014; Chen et al., 2014; Jiang et al., 2014). It was shown that the effects of different sowing dates and densities on grain yield and its component factors reached the significant level, and the effect of density on yield component factors was greater than that of sowing date. Some researchers have shown that the high yield potential of this variety can be fully utilized with appropriate planting density, moderate sowing and appropriate late sowing (Liu et al., 2009). Both sowing date and density had significant effects on grain yield, and the effect of sowing date was greater than that of density. The grain number per spike and thousand grain weight decreased and the spike number per unit area grew with the increase of sowing density. This indicates that high yield can be achieved by sowing the optimal date and density (Li et al., 2010). The effect of sowing date on the grain number per spike and thousand grain weight was small, and the effect on the spike number per unit area and yield was large; density had a great effect on both yield and its components; it had an important effect on both yield and spike number per unit area between sowing date and density interaction (Su et al., 2015; Yang et al., 2015). Bainong 207 is an excellent variety selected by Henan Institute of Science and Technology. It needs corresponding high-yielding supporting cultivation techniques to further exploit the yield potential of the variety on the base of optimal sowing date and crop density to achieve stable and high yield of winter wheat.

**Materials and methods.** The experimental material – variety of Bainong 207 was provided by the Wheat Genetic Improvement Research Center of Henan Institute of Science and Technology.

**Experiment design.** The experiment was conducted in 2019–2020 in the experimental field of Hui Xian. The research field was flat, with good irrigation and drainage conditions and uniform fertility. Four sowing dates were set for this variety: October 1st (A1), October 8th (A2), October 15th (A3) and October 22d (A4), respectively; four densities for basic seedlings were  $300 \times 10^4$  plant·hm<sup>-2</sup> (B1),  $375 \times 10^4$  plant·hm<sup>-2</sup> (B2),  $450 \times 10^4$  plant·hm<sup>-2</sup> (B3) and  $525 \times 10^4$  plant·hm<sup>-2</sup> (B4). There were 3 repetitions for each variant the row length of the plot was 4m, the width was 1.5 m, and the field management was common.

**Measurement items and methods.** After the emergence, select a representative 1-meter double-row sample for each plot to investigate population tiller number before winter and the highest population tiller number after winter; counting the spike number, grain number per spike, plant

height and spike length at maturity phase. After winter maturing it was harvested according to the plot, threshing, drying, recording the yield separately, and measuring the thousand-grain weight (g).

Using volumetric HGT1000 to determine the volumetric weight (volume weight is the weight of the grain in the unit volume, the unit is g/l).

$$\text{Seed – setting rate} = \frac{\text{Single spike summary real number}}{\text{Total flowering per spike}} \times 100\%$$

For data analysis were used such program as Microsoft Excel and SPASS statistical software.

**Results.** *Effect of sowing date and density on yield and yield components of Bainong 207.* The effects of sowing date and density on yield and yield components reached significant levels (Table 1). The results of multiple comparisons showed that the average yield was A2>A3>A4>A1, and it increased by 10.25%, 3.8%, and 3.16%, respectively, compared with A1. The spike number and grain number per spike was more in A2 and A3 than in A1 and A4, indicating that both early sowing (A1) and late sowing (A4) were unfavorable for the growth of spike number and grain number per spike. Thousand grain weight decreased with delayed sowing, indicating that late sowing delayed the growth and development process and shortened the filling period, resulting in insufficient grain filling. From the effect of planting density on yield and yield components, the order of yield among different densities was B2>B3>B1>B4, in which B2 increased yield by 2.48% and 4.47% compared with B1 and B4, respectively, and the difference between B2 and B3 was not significant. With increasing density, the spike number and grain number per spike increased and then decreased, and the thousand grain weight gradually decreased, indicating that planting density was too high (B1) or too low (B4), which was not conducive to high yield. Only under the proper sowing date and planting density, high yield could be obtained.

**Effect on the yield and yield components of Bainong 207 between sowing date and density interaction.**

The significance of the difference between sowing date and density interactions on yield and yield components is shown in Table 2, indicating that there were large differences between various densities at the same sowing date or between different sowing dates at the same density. Under A1 sowing date, the yield decreased with the increase of planting density, with B1 yielding the highest (10281.52 Kg·hm<sup>-2</sup>). The spike number of B2 was the highest, followed by B3; the grain number per spike exhibited a trend of decreasing and then increasing with the growth of density, with B4 spike number, grain number per spike being the highest. The thousand grain weight of B2 was the highest, and the above results indicated that the coordination of yield components was affected by either too high or too low density under the same sowing date. Under A2 sowing, B3 had the highest yield (11,891.74 Kg·hm<sup>-2</sup>), which was 6.86%, 4.02% and 9.02% higher than B1, B2 and B4, respectively. In A3 and A4 sowing, B2 had the highest yield and spike number. The yields were 10743.84 Kg·hm<sup>-2</sup> and 10895.5 Kg·hm<sup>-2</sup>, respectively. With increasing density, the grain number per



spike gradually increased and the thousand grain weight gradually decreased under A3 sowing, and both the grain number per spike and thousand grain weight decreased under A4 sowing. Data of Table 2 also shows that A2B2 yield is the highest, A1B4 yield is the lowest, the spike number, the grain number per spike, thousand grain weight are the lowest in A4B4. The combined results show that the best sowing date is A2, the suitable density range is B2~B3, and the best planting density is B2.

**Effect of sowing date and density on agronomic traits of Bainong 207.** The differences of agronomic traits between different sowing periods and densities of Bainong 207 were significant as shown in Table 3. Setting percentage was highest in A3 at sowing date, and reached significant differences with A1, A2 and A4, but they were not large with A1, A2 and A4. Plant weight increased gradually with sowing date, and was highest in A4 ( $781.25\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), and reached significant differences with other variants. Plant height decreased gradually with sowing date, indicating that it could be adjusted by sowing date. Spike length was the highest at A1, followed by A3, which did not differ significantly from each other, but reached significant differences with A2 and A4. With increasing density, seed-setting rate gradually decreased: they were the highest with

B1 and B2, B3 but it was not significantly different for B4; plant weight was the highest under A1, followed by A4. Plant height and spike length did not differ significantly among different densities: plant height gradually increasing with density increasing, and spike length was the longest under A2, followed by A3, indicating that density should not be too large or too small.

**Agronomic traits of Bainong 207 depend and in of sowing date and planting density.** Seed-setting rate, plant weight, plant height and spike length were significantly difference between sowing date and density interaction (Fig. 1). Under A1, A3 and A4 sowing dates, the seed-setting rate decreased gradually with increasing density; under A2 sowing date, the setting percentage increased and then decreased. With the same density, the seed-setting rate was higher in A2 and A3 with delayed sowing date, among which A3B1 was the highest. The order of plant weight between different sowing dates was  $A4>A2>A1>A3$ , and the plant weight between different densities was  $B1>B4>B2>B3$ ; A4B3 had the highest volume weight ( $783.67\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), followed by A4B1 and A4B4, indicating that late sowing and high density had a greater effect on plant weight. Under the same density, plant height gradually decreased with delayed sowing and under the same sowing date,

Table 1

**Result of grain yield and its components depending sowing dates and planting densities**

Variant	Grain yield (Kg·hm <sup>-2</sup> )	Spikes (10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	Grain number per spike	Thousand-grain weight(g)	
Sowing date	A1	10141.69c ±144	567.21bc ±27.04	43.48b ±1.89	42.07b ±0.59
	A2	11300.12a ±426	580.38a ±22.11	43.62b ±2.68	43.99a ±1.61
	A3	10542.45b ±174	576.55ab ± 29.08	44.52a ±1.31	41.83b ±1.41
	A4	10472.82b ±299.8	556.78c ±30.08	42.05c ±1.62	39.53c ±2.04
Density	B1	10545.45b ±333.6	560.16c ±21.08	42.83c ±1.59	43.13a ±1.92
	B2	10813.73a ±463.1	587.09a ±25.49	43.44b ±2.58	42.42b ±2.22
	B3	10767.58a ±709.8	572.43b ±29.18	44.43a ±1.63	41.56c ±1.15
	B4	10330.33c ±338.9	561.25c ±29.58	42.97bc ±2.25	40.31d ±2.2

Note: Values followed by different small and capital letters are significantly different at 0.05 levels. The same below.

Table 2

**Grain yield and its components of Bainong 207 at different sowing dates and planting densities**

Variant	Grain yield (Kg·hm <sup>-2</sup> )	Spikes (10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	Grain number per spike	Thousand-grain weight(g)
A1×B1	10281.52ghij ±31.3	550.34def ±3.03	43.87e ±0.76	42.13cdef ±0.25
A1×B2	10201.73hij ±146.7	606.67a±2.32	40.73hi ±0.81	42.87cde ±0.42
A1×B3	10087.54ij ±73.4	571.37cde ±8.67	43.87e ±0.83	41.7defg ±0.26
A1×B4	9995.96j ±123.3	540.46f ±8.27	45.47bcd ±0.31	41.57efg ±0.31
A2×B1	11075.71bc±55.1	582.73abc ±4.81	40.52hi ±0.84	46.07a±0.57
A2×B2	11413.84b±107.9	548.94ef ±2.24	45.57abc ±0.35	44.63b±0.61
A2×B3	11891.74a±90	597.12ab ±6.62	46.6a±0.2	43.07c±0.35
A2×B4	10819.19cde ±90.8	592.73abc ±5.68	41.8fg ±0.4	42.2cdef ±0.44
A3×B1	10431.96fghi ±152.6	535.3f ±6.17	42.8f ±0.4	42.93cd ±0.76
A3×B2	10743.84cdef ±131.2	601.06ab ±9.43	46.13ab ±0.5	42.93cd ±0.65
A3×B3	10601.29defg ±67.6	588.03abc ±3.81	44.67cde ±0.7	40.8g ±0.85
A3×B4	10392.71fghi ±59.6	581.82bc ±4.17	44.47de ±0.31	40.63g ±0.51
A4×B1	10392.62fghi±65.1	572.28cd±10.41	44.13e ±0.51	41.37fg ±0.35
A4×B2	10895.5cd ±99.8	591.67abc ±4.82	41.33gh±0.41	39.27h ±0.32
A4×B3	10489.72efgh±77.9	533.19f±9.46	42.6f ±0.87	40.67g ±0.93
A4×B4	10113.44hij ±47.8	530f ±6.36	40.13i±0.83	36.83i ±0.40

plant height decreased and then increased with increasing density, but under A4 sowing date, plant height gradually increased with increasing density. A1B4 plant height was the highest (86.85 cm) and A1B1 plant height was the lowest (76.67 cm), indicating that plant height could be improved by adjusting sowing date and density. Spike length was the highest in A1B4, followed by A1B2, they did not differ significantly. With delayed sowing, spike length did not differ considerably among densities, indicating that sowing date had a little effect on spike length.

**Correlation analysis of the yield and main agronomic traits.** The correlation coefficients of yield traits for each variants were calculated as shown in Table 4. The index traits were positively correlated with yield, seed-setting rate were ( $r = 0.092$ ), plant weight ( $r=0.079$ ), spike number ( $r=0.37$ ), grain number per spike ( $r=0.292$ ), and thousand grain weight ( $r=0.464$ ). The correlation coefficients of seed-setting rate, plant weight and yield were not significantly different, and the correlation coefficients of spike number and thousand grain weight were highly large. The correlation coefficients between plant height ( $r=0.18$ ), spike length ( $r=0.572$ ) and yield were negatively correlated, with no significant difference in plant height and a highly significant difference in spike length.

The correlations among the other agronomic traits were as follows: plant weight, spike number and thousand grain weight were negatively correlated. Seed-setting rate, plant height, spike number, grain number per spike and thousand grain weight were positively correlated, but not significantly for grain number per spike. The traits that were positively correlated were seed-setting rate, plant height, spike length, spike number, seed-setting rate, spike length at a significant level, the other two were not significantly different. But there was a highly significant negative correlation between plant weight and the grain number per spike. Seed-setting rate, plant height and spike length were positively but not significantly correlated with the spike number, while volume weight was highly significantly and negatively correlated with the spike number. Plant height, setting percentage and spike length were positively correlated, plant height was significantly and positively correlated with spike length, and volume weight was highly significantly and negatively correlated with spike length. Seed-setting rate, plant weight and plant height were negatively correlated, and plant weight was significantly different. The seed-setting rate was significantly and negatively correlated with the plant weight. The analyses showed that the plant weight was

Table 3

**Agronomic traits of winter wheat depending on sowing dates and planting densities**

Variant	Seed-setting rate (%)	Plant weight (g·L <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Spike length (cm)	
Sowing date	A1	83.71b ±0.011	772.83c ±3.04	85.44a ±1.42	10.16a ±0.47
	A2	85.32b ±0.03	776.08b ±2.5	81.7b ±4.61	9.21c ±0.47
	A3	88.70a ±0.02	765.08d ±2.84	81.64b ±2.11	10.08a ±0.41
	A4	83.36b ±0.02	781.25a ±3.11	77.78c ±2	9.5b ±0.54
Density	B1	85.81a ±0.037	774.75a ±6.59	80.88a ±4.03	9.72a ±0.28
	B2	84.99a ±0.038	773.17ab ±6.51	80.86a ±3.78	9.77a ±0.18
	B3	85.09a ±0.025	772.67b ±8.12	82.17a ±3.48	9.79a ±0.16
	B4	85.19a ±0.02	774.67a ±5.3	82.64a ±4.28	9.68a ±0.28

Table 4

**Correlation analysis of the yield and main agronomic traits**

Correlation Coefficient	Seed-setting percentage (%)	Plant weight (g)	Plant height (cm)	Spike length (cm)	Spikes (10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup> )	Grain number per spike	Thousand-grain weight (g)	Grain yield (Kg hm <sup>-2</sup> )
Setting percentage (%)	1	-0.462**	-0.014	0.271	0.06	0.302*	0.24	0.092
Plant weight (g)		1	-0.310*	-0.547**	-0.334*	-0.373**	-0.185	0.079
Plant height (cm)			1	0.294*	0.071	0.146	0.238	-0.18
Spike length (cm)				1	0.021	0.312*	-0.05	-0.572**
Spikes (10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup> )					1	0.064	0.259	0.370**
Grain number per spike						1	0.229	0.292*
Thousand-grain Weight (g)							1	0.464**
Grain yield (Kg·hm <sup>-2</sup> )								1

Note: \* and \*\* indicate correlations significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

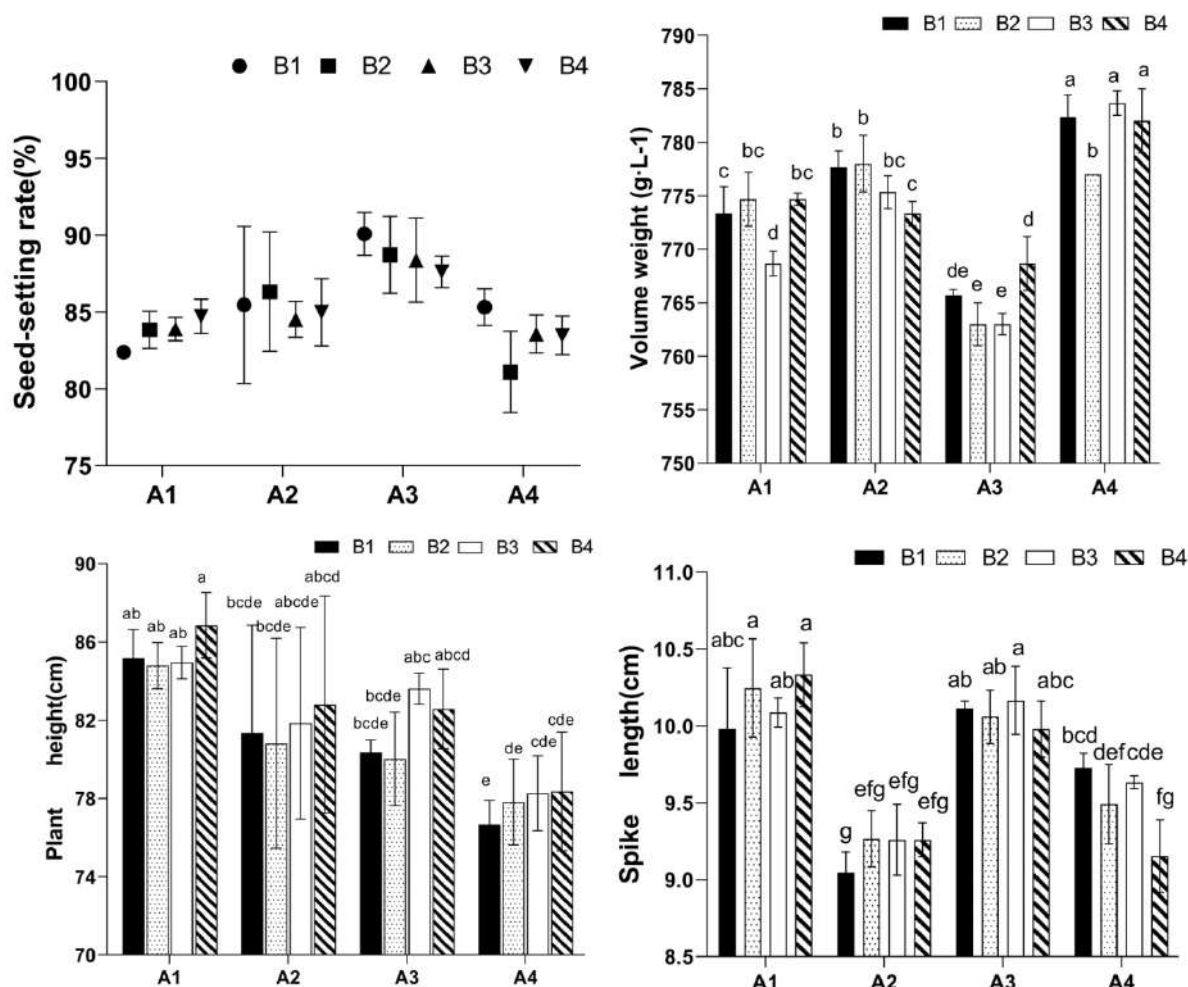


Fig. 1. Influence of sowing date and planting density on agronomic traits

negatively correlated with plant height, spike length, spike number, grain number per spike and thousand grain weight.

**Discussion.** Sowing date and density are two important factors affecting yield, the results of which are controlled by variety, cultivation techniques, environmental and management conditions (Liu et al., 2014; Zhang et al., 2009; Guo et al., 2004; Yang et al., 2007). The results of this study showed that yield, spike number, and grain number per spike were higher at sowing dates A2, A3, and densities B2 and B3, and the thousand grain weight decreased gradually with delayed sowing dates and increasing densities. It can be seen that the appropriate sowing date for Bainong 207 is October 8~15, and the appropriate density is  $375\sim 450 \times 10^4$  plant·hm<sup>-2</sup>. The interaction effect of sowing date and density A2B3 has the highest yield of 11,891.74 Kg·hm<sup>-2</sup>, followed by A2B2, indicating that the best sowing date is October 8, and the best density is  $450 \times 10^4$  plant·hm<sup>-2</sup>. The spike number and grain number per spike increased and then decreased with increasing density at the same sowing date, and the thousand grain weight gradually decreased. In conclusion, both early and late sowing dates are not good for high yield, which is consistent with the results of previous studies (Xi et al., 2012; Han et al., 2011; Wang et al., 2009; Yan

et al., 2008; Guo et al., 2009; Qu et al., 2013). The effect of sowing date and density on agronomic traits showed that the effect of sowing date was greater than that of density. The differences between sowing dates were significant in seed-setting rate, plant weight, plant height and spike length, but no significant differences were found in density on setting percentage, plant height and spike length. Setting percentage A3 was the highest, followed by A2, which gradually decreased with increasing density; the volume weight fluctuated more with delayed sowing, and changed less with increasing density, which might be related to the climatic conditions during the filling period. Plant height gradually decreased with delayed sowing, so plant height could be adjusted by changing sowing period. This is consistent with the findings of other scholar (Wang et al., 2007); and the trend of plant height changed less with increasing density, which might be the result of growth competition within the population. Spike length varied with different sowing periods. The difference between the maximum and minimum values is only 0.95 cm, and the difference between the maximum and minimum values is only 0.11 cm, which shows that the spike length is relatively stable trait and does not change significantly with sowing date and sowing density, which is consistent with the result other scholar study (He et al., 2018).

The results of correlation analysis showed that the spike number, the grain number per spike and thousand grain weight were positively correlated with yield, the plant height and the spike length were negatively correlated with yield, and the seed-setting rate and the plant weight were not significantly correlated with yield. The results showed that the three components of yield can be harmonized and high yield can be achieved with proper sowing at the optimal date and the proper density.

**Conclusions.** This experiment is only a preliminary study to compare the sowing date and density of Bainong 207. There are many factors affecting yield: variety, geographical environment, temperature, light and climatic conditions, so further research of field management measures, pest and weed control is needed to facilitate the formation of good variety and method of cultivation technology to provide guarantee for high quality and yield of wheat.

#### References:

1. Cao, Weixing (2011). General Introduction to Crop Cultivation [M]. Science Press.
2. Chen, A. D., Cai, J. H., Wen, M. X., Li, D. L., & Qu, C. X. (2014). Effects of sowing dates and planting densities on grain yield and quality of wheat cultivar Zhenmai 168 [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 30(1), 9–13.
3. Chen-Yang, W, Feng, H, Yu-Hong, Z, Zi-jing, N, & Tian-cai, G. (2009). Effect of Sowing Date on Photosynthetic Characteristics of Flag Leaf and Grain Yield in Winter Wheat Cultivars with Different Ear-types [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 7, 35–37.
4. Guo Tiancai, Zhu Yunji, Wang Chenyang, Cui Jinmei, & Kang Guozhang. (2004). Study on Yield Formation of Two Kinds of Spike of Winter Wheat Cultivars and Their Key Cultivation Techniques for Super-high Yield [J]. *Review of China agricultural science and technology*, 4(6), 46–50. doi: 10.3969/j.issn.1008-0864.2004.04.009
5. Guo, J. (2009). Effects of Warm-winter on Some Indexes of Center Later Period Wheat in Huaibei Area. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 24(37), 11475–11477.
6. Hao, Y. M., Li, Y.H., & Huo, C. B. (2011). Effect of Sowing Date and Seeding Rate on Yield and Yield Components in Winter Wheat [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 39(5), 422–424. doi: 10.3969/j.issn.1002-2481.2011.05.11
7. Hu, T. (1986). Ecology and production technology of Wheat [M]. Henan Science and Technology Press.
8. Huan-Huan, Hu, Li-Ping, Liu, Rui-Qi, Li, & Yan-Ming, Li (2008). Effect of Sowing Date and Planting Density on the Yield Formation of a Winter Wheat Cultivar Henong 822 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 28(3), 490–495. doi: 10.3901/JME.2008.09.177
9. Jiang, P., Yang, X. M., Zhang, P., Yang, D., Zhang, p. p., Yao, J.B., & Ma, H. X. (2014). Effects of Sowing Date and Density on Yield and Quality of Wheat Variety Shengxuan 6 [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 7(26), 5–9
10. Jinfei, X., Zhenping, Y., Dingyu, Z., & Zhiqiang, G. (2012). Effects of Nitrogen Fertilizer and Population Density on Grain Yield and Quality of Later-sowing Wheat in Jinzhong Region [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2(32), 112–117.
11. Jinshang, He, Weijun Zhang, Xiaoliang Wang, Ling Kang, Dongsheng Chen, Hanming Yuan & Genyou Dang (2018). Effects of Different Sowing Date and Planting Density on Growth and Yield of Early-maturing Winter Wheat in Ningxia Yellow River Irrigation Area [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 12(46), 38–43.
12. Hai, J. B., You, H. X., & Zhang, B. J. (2002). Effects of Different Sowing Rates on the Growth and Development, Yield and Quality of Winter Wheat Variety Xiaoyan 503 for Noodles [J]. *Acta Triticeae Crops*, 22(3), 92–94.
13. Han, J. L., Yang, Q., Wang, W. P., Li Y. S., & Zhou, Y. F. (2011). Effects of Sowing Date on the Caulis and Tillers Differentiation of Young Spike and Yield in Winter Wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2, 303–307.
14. Li, J., Wang, L., Ren, L. K., Liu, Y. H., & Dai, T. B. (2010). Effect of Sowing Date, Density and Nitrogen Management on Grain Yield and Quality of Winter Wheat Lianmai 2 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2, 303–308. doi: 10.1080/00949651003724790
15. Kong, L. C., Wang, J. L., Cao, C.F., Zhao, B., & Zhao, Z. (2004). Effect of Main Cultivation Measures on Grain Yield and Quality of Wanmai 44 [J]. *Acta Triticeae Crops*, 24(4), 84–87.
16. Lin, E. (1996). Agricultural vulnerability and adaptation to global warming in China. *Water Air & Soil Pollution*, 92(1–2), 63–73. doi: 10.1007/BF00175553
17. Bao-hua, Liu, Yu-Huan, Su, Xue-xiang, Wang, Gui-zhen, Zhang, Dong-mei, Chen, Yong-an, Ma & Yan-min, LI. (2014). Effects of Planting Density on the Main Agronomic Traits and Yield of Winter Wheat Hanmai. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2, 13–17.
18. Liu, F. L., Ren, Y. F., Wang, W. D., Dang, Z., & Zhang, B, J. (2017). Effects of Sowing Date and Planting Density on Grain-Filling Characteristics and Yield of Winter Wheat Cultivar Pubing 151 [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 6(49), 41–47.
19. Liu, W. D., Chen, X. Y., Yin, J, & Du, P. X. (2009). Effect of Sowing Date and Planting Density on Population Trait and Grain Yield of Winter Wheat Cultivar Yumai 49–198 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 29(3), 464–469.
20. Shanshan, Qu, Songjian, Li, Xiyong, Sun, & Fengling, Zhang. (2013). The Effects of Planting Dates and Seeding Rates on the Yield and Yield components in Winter Wheat [J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 1, 22–25.
21. Wenhong, Li., Yonghui, Ding, Dan, Cao & Zhaoxian, Zhang. (2016). Effects of Different Sowing Patterns on Dry Matter Accumulation and Yield of Wheat [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 45(2), 11–16. doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2016.02.003
22. Wu, D. B., Cao, G. C., Li, R. Q., & Zhang, Z. Q. (2004). Effects of Yield and Analysis under Conditions of Precision Seeding of Small Sowing Amount for the Winter Wheat DS No.1 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 3, 1–5. doi: 10.1300/J064v24n01\_09
23. Yan, C. P., Zhang, Y. Q., Zhang, D. Y., & Dang, J. Y. (2008). Effects of sowing date and planting density on the grain's protein component and quality of strong and medium gluten winter wheat cultivars [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(8), 1733–1740.



24. Yang, C.L., Guan, L., Hou, J.H., Wang, K., Song, Z. J., Han, Y. & Li, X.L. (2007). Study on the yield components of wheat in Huang-huai Region [J]. Shandong Agricultural Sciences, 4, 19–23.
25. Yang, G. X., Zhao, G. C., Xu, K., Chang, X.H., Yang, Y.S., Ma, S.K., Feng, M., & Xu, F. J. (2010). Effect of Sowing Date and Density on Grain Yield and Nutrition Quality and Physiological Index of Winter Wheat. Journal of Triticeae Crops, 30(4), 687–692. doi: 10.1080/00949651003724790
26. Yang, H., Hu Hai., Wang, C., Wang, T., Hu, D., Li, H. X., Ruan, R. W., Yuan, X. H., & Yi, Z. L. (2015). Effects of Sowing Date, Fertilization Rate and Planting Density on the Quality, Yield and Yield-Contributing Factors of Waxy Wheat Cultivar '1718WX' [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2, 12–17.
27. Su Y. H., Liu, B. H., Ma, Y. A., Chen, D. M., Zhang, G. Z., Zhao, Z. P., Wang, X. X., & Zhang, J. Y. (2015). Effect of Sowing Date and Seeding Density on Yield Formation of New Wheat Cultivar Hanmai No.14. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 19(5), 14–18.
28. Zhang, X. Q., Du, S. Z., Cao, C.F., Qiao, R. Q., Zhao, Z. & Zhang, Y. L. (2014). Effect of Sowing Date and Planting Density on Population Quality, Chlorophyll Fluorescence and Yield of Wanmai 52 in Huaibei Area. Journal of Triticeae Crops, 3, 395–402.
29. Zhenhu, W., Xiying, Z., Suying, C., Dong, P., Hongyong, S. & Xianglan, L. (2007). Analysis of yield components, physiological and agronomic characters of different cultivars of winter wheat bread during different ages. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 15(3), 75–79.
30. Zhang, D. Y., Zhang, Y. Q., Yan, C. P. & Pei, X. X. (2009). Effects of Genotype, Sowing Date and Planting Density on Grain Filling and Yield of Wheat Varieties with Different Ears Forming Characteristics. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 15(1), 28–34. doi: 10.3724/SP.J.1145.2009.00028

**Цзянь Чень**, аспірантка, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Хенанський інститут науки і технологій, м. Аньян, Хенань, КНР

**Сінці Оу**, магістр, професор, Хенанський інститут науки і технологій, м. Чжоукоу, Хенань, КНР

**Синьхуа Лі**, бакалавр, агроном, Хенанський інститут науки і технологій, м. Хучан, Хенань, КНР

**Веньхуей Вей**, професор, Хенанський інститут науки і технологій, м. Ухань, Хенань, КНР

**Кандиба Наталія Миколаївна**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**Вплив різних строків і густоти посіву на урожайність та основні агрономічні ознаки озимої пшениці сорту Vainong 207**

Нині є актуальні вимоги щодо сортів із підвищеною адаптованістю та спрощеною і практичною агротехнікою для підтримки сучасного сільського господарства. У наших дослідженнях ми використовували сорт озимої пшениці Vainong 207 як експериментальний матеріал і мали чотири строки посіву та чотири варіанти густоти посіву для кожного терміну. Було досліджено вплив строків та густоти посіву на врожайність, компоненти врожайності та основні агрономічні ознаки. За результатами досліджень було встановлено, що вплив строку посіву виявився сильнішим, ніж вплив густоти. Урожайність, кількість колосків та кількість зерна на колосі були найвищими у А2, а маса тисячі зерен – у А3; найбільшу врожайність мали В2 та В3. Кількість колосків та кількість зерна на колосі зростали, а потім зменшувалися зі збільшенням густоти, а маса тисячі зерен поступово зменшувалася. При цьому не спостерігалася тенденції до збільшення маси рослин з урахуванням строків та густоти посіву. Висота рослин пшениці поступово зменшувалася зі строком посіву та збільшувалася з густотою посіву. Довжина колоса була відносно стабільною ознакою без істотних змін із терміном та густотою посіву. За результатами досліджень встановлено найбільш придатні строки посіву для сорту озимої пшениці Vainong 207. Кореляційний аналіз показав, що високий урожай можливо досягнути шляхом поєднання трьох факторів врожайності при відповідних строках та густоті посіву.

**Ключові слова:** кореляційний аналіз, озима пшениця, строки посіву, густота посіву, урожайність, сорт, компоненти врожайності, основні агрономічні ознаки, Vainong 207.

## STUDY OF COMMUNITY STRUCTURE AND DISTRIBUTION OF MIXED FOREST NEAR NANWAN LAKE

**Yan Tengfei**

PhD Student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
 Henan institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan  
 Xinyang agriculture and forest university, Xinyang, Henan  
 ORCID: 0000-0002-8360-3776  
 yantengfei@xyafu.edu.cn

**Kremenetska Yevheniia**

PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor  
 Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
 ORCID: 0000-0001-5581-7868  
 e.kremenetska@gmail.com

**Wan Shibin**

Bachelor, Deputy Senior Engineer  
 Nanwan national forest farm, Xinyang, Henan  
 ORCID: 0000-0003-1513-9876  
 wanshibin@163.com

**Hu Qiang**

Master degree, Teaching-Assistant  
 Xinyang agriculture and forest university, Xinyang, Henan  
 ORCID: 0000-0001-9842-866X  
 371164191@qq.com

**He Songlin**

Doctorial tutor, Professor  
 Henan institute of science and technology, Xinxiang, Henan  
 ORCID: 0000-0001-6196-3626  
 hsl213@yeah.net

*The community structure distribution of a forest that grows in the coastal zone is an important index for the diversity and sustainable development of riparian ecosystem and is also an important basis for the production of forest land management. In order to understand the ecological function of the riparian zone of Nanwan Lake (Xinyang City, Henan Province, China), the growth status of the forest in the downstream of the reservoir was investigated. The results of the study indicate that *Pinus massoniana* Lamb and *Pistacia chinensis* Bunge are the predominant species in the coastal zone. There is a gradual decrease in the representation of *Pinus massoniana* Lamb in this community. Lower story of *Quercus dentata* Thunb. and *Pistacia chinensis* Bunge demonstrates significant potential to replace the upper story. The tree structure characteristics (DBH - diameter of a tree trunk at breast high (1,3 m), tree height and crown width) were recorded at each experimental plot. The tree structure characteristics conform the inverted "J" distribution and the linear relationship between the DBH and tree height in the foreststand (can be well described by using Richard model equation), the model equation is  $H=1.3+20.095(1-e^{-0.090D})^{1.765}$ . In the absence of anthropogenic accidents or natural extremes, the forest lands near Nanwan Lake could effectively use environmental benefits for a long time. In order to improve the level of forest management in mixed forests in these areas, it is suggested to closely monitor the growth status of trees, cut dead or poor growing *Pinus massoniana* Lamb, and prevent the occurrence of forest fires.*

**Key words:** Nanwan Lake riparian zone; mixed forest; community structure characteristics.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.10>

**Introduction.** Forestland growing in the riparian zone has an important ecological value and functional benefits in water conservation, non-point source pollution interception, litter decomposition, carbon storage, nitrogen deposition and other aspects. It is a momentous ecological buffer area for water area and terrestrial ecosystems (González et al., 2016; Dybala et al., 2019; Ran et al., 2020). Riparian forest land provides a substrate of litter and other organic matter

for aquatic organisms, which control water temperature and light through shade, maintain riparian vegetation stability, and reduce soil erosion (Naiman & Decamps, 1997).

The main driving force of vegetation community structure characteristics in riparian zone is the adjacent hydrologic condition. The riparian forest adjacent to the water area is disturbed by the unpredictable and rhythmless reservoir stream which often leads to the decrease of soil dissolved

oxygen, the decrease of hydraulic conductivity, the restricted respiration of trees and other factors, which greatly affect the community structure of riparian forest (Kuglerová et al., 2014; Myster, 2018). Besides being directly affected by the flow of the reservoir, riparian forests are also indirectly affected by the microclimate brought by the river (González et al., 2016).

In the riparian zone (typical small climate habitat) the growth strategies of plants and animals, propagation of propagules, migration of groundwater and flow of material and energy have their own unique modes of operation (Naiman & Decamps, 1997).

Compared with the riparian zones formed by large river basins and alluvial plains, reservoir riparian zone shows more obvious ecological vulnerability in spatial heterogeneity, landscape pattern, plant community structure and other aspects, and has more frequent groundwater activities and stronger dependence on stable habitat. However, in practice, the ecological importance of such a small watershed is often ignored by experts and forestry managers (Hagan et al., 2006).

It has been agreed that riparian forests play an important role in buffer. In many European countries, buffer zones are left to protect the ecological environment of rivers when conducting forest management (Oldén et al., 2019). Many researchers have discussed the relationship between the width of buffer zone and the ecological benefit (Ali, 2019; Kuglerová et al., 2014; Ring et al., 2017).

In the management activities of riparian forest, we generally try not to disturb its ecological cycle as much as possible, in order to obtain the maximum ecological benefits (Tolkinen et al., 2015). Such conservative management measures often lead to problems such as overmaturing of forest land, unreasonable structure of forest canopy and gradually unbalance of tree species in the management of riparian forestland.

Studies have shown that moderate disturbance can improve the functional heterogeneity of forest communities, promote the succession of ecological communities, and improve biodiversity (Kreutzweiser et al., 2012; Kuglerová et al., 2014; Sibley et al., 2012). Proper management measures can promote the ecological benefits of riparian forestland.

Tree species diversity, diameter class diversity and height of tree diversity all affect the attribute of forestland, and further affect the ecological benefit. Thus, stand structural complexity is defined as differences in the diameter and height of individual trees, as well as the heterogeneity of tree size (diameter and/or height) within the stand. In summary, stand structural diversity, complexity, and other related variables (such as average tree size, stand density, and stand basal area) are characterized as stand structural attributes.

The DBH diversity describes the degree of difference in tree size within the stand. The greater the difference, the stronger the spatial heterogeneity of the stand is, and the more species it can accommodate. Changes in the size (diameter and/or height) of individual trees, for example, between and within species, are critical to species diversity and the maintenance of forest function (Clark, 2010; Yuan et al., 2018).

The greater capacity to provide ecological niches or food diversity for a variety of animals, plants, and microorganisms in the forest is improved if the variation of stand diameter class and stand structure became more complex (Rolstad et al., 2001). The relationship between tree species structure, species diversity and aboveground productivity in 300,000 sample plots were studied and found that tree structure characteristics were the main driving force of aboveground productivity (Bohn & Huth, 2017). According to the research in the African tropical rain forest region (Poulsen et al., 2017), the availability of forest structure and the availability of large trees, compared with environmental variables and disturbances, are important predictors of abundance and distribution of large liana plants.

Canopy structure is also an important structural feature affecting forest land in riparian zone. Canopy intercepts rainfall to change surface runoff, thus affecting decomposition rate of litter and soil structure, and improving water circulation characteristics of riparian zone (Livesley et al., 2014; Sun et al., 2018).

It was found that the correlation between stand structure and forest species diversity was positive, negative and insignificant, and the determinants of these three relationships mainly lie in the competitive relationship between individual trees, light conditions and selection effect, while the relationship between stand structure characteristics and forest function is more directly determined by the environmental effect in which the stand is located (Ali, 2019).

In recent years, the implementation of China's ecological civilization strategy has played a positive role in the promotion of forestry development. In this context it should be noted that China's forest coverage rate has been continuously increased and the area of artificial forests has been continuously expanded. Undesirable consequences for maintaining the ecological benefits of forests in the coastal zone are observed in the case of abandonment of felling and no other measures for the well-being of all riparian ecosystems.

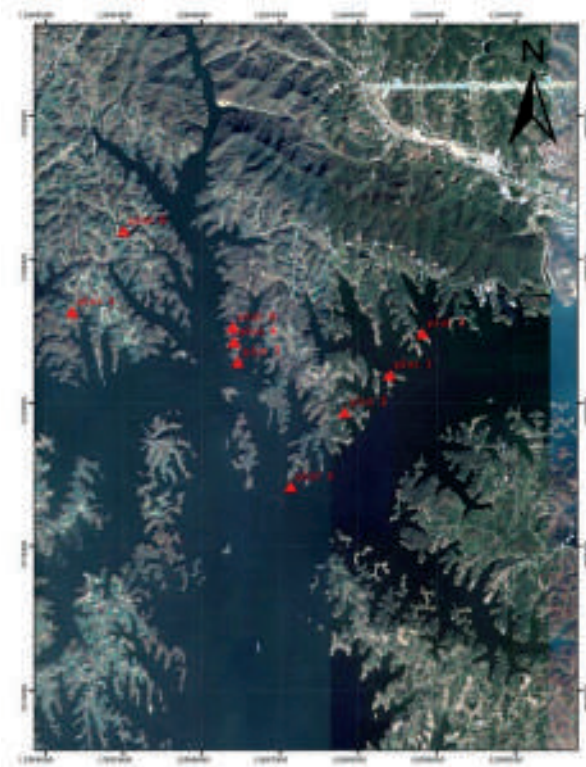
Nanwan Lake Reservoir is a 4A tourist attraction in Xinyang City, Henan Province, China. It has provided important ecological benefits for the local community in tourism, domestic water, irrigation, regional climate characteristics and other aspects. With the adjustment of forest management measures in recent years, the forest land around the reservoir has obviously degraded in landscape pattern and ecological benefit. In order to find out the growth and development status of the forest land near Nanwan Lake reservoir, the community distribution structure of the forest land in Nanwan Lake reservoir was investigated, so as to provide the production basis for the rational management of the forestland.

**Materials and Methods.** *Overview of test site.* The test site is located around Nanwan Lake Reservoir in Xinyang City, Henan Province, China (E 114° 08', N 32° 13'). Xinyang city, situated in the south of Henan Province, located at the Qinlingmountain and Huai River boundary, is a transitional region from subtropical zone to warm temperate zone. The terrain is high in the south and low



in the north, with an altitude of 75–300 m. Xinyang has plenty of solar radiation, the average annual sunshine hours are 1900–2100 ones. The average annual temperature is 15.3–15.8°C, and the average annual rainfall is 993–1294 mm. The relative humidity averages is 74–78 %. The average annual rainfall is 177–255 mm. There are many rivers in this region, which are part of Yangtze River and Huai River basins. Huai River basin occupies 98.2 % of the city's area and is located in the upper reaches of the Huai River, which traverses the whole city from west to east. Under the influence of special geographical location and climate, the spatial and temporal distribution of rainfall is uneven, and the annual and inter-annual precipitation greatly varies. The precipitation is mainly concentrated in June to August in the main flood season, and the annual difference between high and low rainfall can be up to 2–3 times. The main forest trees species in this area are *Pinus massoniana* Lamb, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook, *Quercus acutissima* Carruth., *Quercus dentate* Thunb. and *Pistacia chinensis* Bunge etc. These tree species are distributed in pure forest or Mosaic and form the main forest community.

**Experiment design.** In the downstream of the reservoir, 9 forest land samples close to the water area were selected (Fig. 1), with an area of 20 m × 15 m. We carried out each wood gauging in the samples. The main records included the tree species and growth status of each tree, DBH ( $\geq 5$ cm), tree height (H), height under the branches of alive trees, canopy width and other factors.



**Fig. 1. Test site location**

**Data analysis.** Tree species composition. The composition coefficient of tree species was used to represent the proportion of each tree species in mixed forest,

and the proportion of different tree species' basal area in total basal area was used to calculate the composition coefficient of tree species.

**Importance value.** Importance Value (IV) is an important indicator in the calculation and evaluation of species diversity, which represents the relative importance of plant species in the community with comprehensive values. The more the IV, the more important they are in the stand. The calculation formula as follows (Curtis & McIntosh, 1951):

$IV (\%) = (\text{relative density} + \text{relative frequency} + \text{relative significance}) \times 100/3$ , where:

- relative density = the number of individuals of a certain species/the number of individuals of all species  $\times 100$  %;
- relative frequency = the frequency value of a certain species/the frequency value of all species  $\times 100$  %;
- relative significance = basal area of a certain species/basal area of all species  $\times 100$  %.

**Diameter distribution.** The DBH of trees was taken as the index to measure the size of trees, the trees were graded according to the DBH, and the DBH of trees was statistically analyzed with 2cm as the diameter step length, and the starting DBH was 5 cm.

**Forest story division.** According to the International Union of Forest Research Organization standard, the vertical stratification of the stand is divided into three vertical stratifications based on the average dominant tree height of the stand. In the upper canopy, the height of the tree is more than or equal to 2/3 of the average height of the dominant tree. In the middle canopy, the height of the trees is more than 1/3 and less than 2/3 of the average height of the dominant tree. Lower canopy, tree height is less or equal to 1/3 of the average height of the dominant trees.

**Tree height distribution.** The tree height structure was analyzed with 1 m as the height step size.

**Tree size diversity index.** In order to quantify the distribution characteristics of individual diameter class of trees in a stand, the species diversity evaluation index applied to the ecosystem has been widely used for tree diameter class diversity evaluation, and thus the distance-independent diversity index and the distance-related diversity index have been proposed. The diversity index is independent of the distance, it can be applied easily. DBH data are needed to effectively characterize the diameter class distribution characteristics in the stand (Peder & Ljusk, 2000; Pommerening, 2002; Schulte & Buongiorno, 1998).

Four size diversity indexes independent of distance were selected, Simpson size diversity index ( $D_N$ ) and Shannon index ( $H_N$ ) were used to evaluate the diameter class distribution richness of forest land along the riparian zone of Nanwan Lake reservoir. Gini coefficient of basal area (GC) and diameter variation coefficient ( $CV_d$ ) were used to evaluate the DBH size variation degree of forest land along the riparian zone of Nanwan Lake reservoir, with the diameter class of 2 cm. The specific expression is as follows:

Simpson size diversity index (Valbuena et al., 2012)

$$D_N = 1 - \sum_{j=1}^s P_j^2$$



Shannon size diversity index [3] (Buongiorno, 2001)

$$H_N = -\sum_{j=1}^s P_j \ln(P_j)$$

Gini coefficient index of basal area [6] (Duduman, 2011):

$$GC = \frac{\sum_{i=1}^n (2i - n - 1) BA_i}{\sum_{i=1}^n BA_i (n - 1)}$$

Diameter coefficient of variation index is:

$$CV_d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}}{n - 1} \cdot \frac{1}{\bar{d}}$$

S represents number of diameter classes,  $P_j$  - proportion of tree numbers in size class  $j$ ,  $BA_i$  - basal area for tree with rank  $i$  ( $m^2$ ),  $n$  - total number of trees,  $\bar{d}$  - mean diameter (cm).

Relationship between tree height and DBH

Richard model, Weibull model, logistic model, Korf model and compertz model were used to simulate the relationship between tree height and diameter at breast height (DBH) and calculate the parameter values of the equations.

To ensure a tree height of 1.3 m at DBH 0; constant 1.3 was added to all models (Tab. 1), where:  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - parameters,

$a$  - total height limit (means upper bound of total height),  $b$  - related to growing speed,  $c$  - shape parameter.

SPSS19.0 software was used to simulate each expression parameter.

Table 1  
Commonly used tree height, DBH relation expression

No.	model	Expression
1	Richard	$H=1.3 + a(1 - e^{-bD})^c$
2	Weibull	$H=1.3 + a(1 - e^{-bD^c})$
3	Logistic	$H=1.3 + \frac{a}{1 + be^{-cD}}$
4	Korf	$H=1.3 + a(e^{-\frac{b}{D^c}})$
5	Compertz	$H=1.3 + a(e^{-be^{-cD}})$

**Results.** 1. *Composition of tree species.* By surveying each samples, the stand density is 1220 plants /  $hm^2$ , and there are 12 arbor species (Tab. 2).

The top four species in terms of important value are *Q. dentata*, *P. massoniana*, *Q. acutissima*, *P. chinensis*. The coniferous forest species mainly is *P. massoniana*,

Table 2

General situation of tree species in the sample plots

species	Number		Basal area( $m^2$ )			DBH/cm			H/m			IV
	No.	%	Sum	Average	%	Max	Min	Average	Max	Min	Average	
<i>Quercus dentata</i> Thunb.	156	54.6	1.639	0.008	25.5	31.0	4.6	9.10	21.6	2.1	7.33	33.66
<i>Quercus dentata</i> Thunb.(dead)	4					13.2	5.3		10.2	2.8		
<i>Pinus massoniana</i> Lamb	31	14.4	1.648	0.034	25.6	37.0	13.1	19.96	22.4	10.8	14.41	18.74
<i>Pinus massoniana</i> Lamb(dead)	11					21.0	11.7		15.4	6.5		
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	32	10.9	2.570	0.080	39.9	44.2	6.2	30.66	23.4	4.2	18.28	22.37
<i>Pistacia chinensis</i> Bunge	31	10.6	0.252	0.008	3.9	20.2	5.4	9.32	17.8	3.6	8.64	10.26
<i>Platycarya strobilacea</i> Sieb. et Zucc.	11	3.8	0.095	0.009	1.5	23.0	5.9	9.45	17.8	5.9	8.37	4.84
<i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	5	1.7	0.034	0.007	0.5	13.1	5.4	8.86	14.7	3.2	9.34	2.30
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	4	1.4	0.022	0.006	0.3	9	7.8	8.35	8.4	5.7	7.48	2.12
<i>Broussonetia papyrifera</i>	3	1.0	0.023	0.008	0.4	14.3	6.0	9.23	16.8	7.4	10.80	1.24
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	2	0.7	0.141	0.071	2.2	42.0	5.9	23.95	19.3	10.2	14.75	1.73
<i>Cerasus dielsiana</i> (Schneid.) Yu et Li	1	0.3	0.007	0.007	0.1	9.3	9.3	9.30	8.3	8.3	8.3	0.92
<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	1	0.3	0.003	0.003	0.05	6.4	6.4	6.40	3.8	3.8	3.8	0.91
<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	1	0.3	0.004	0.004	0.05	7.0	7.0	7.00	4.6	4.6	4.6	0.91
Total	293	100	6.439	0.022	100							

the relative density of it is 14.4 %, the conifer-broad leaf mixed ratio is 1:6, and the breast-height basal area ratio is 1 : 4. *Q. dentata* accounted for 54.6 % of the total number of plants, followed by *P. massoniana* and *Q. acutissima*.

As for average DBH and tree height, the average DBH of *Q. acutissima* is 30.66 cm, and the average tree height is 18.28 m. Followed by *Ulmus parvifolia* Jacq., which the average DBH was 23.95 cm, the average tree height was 14.75 m, but the number of *U. parvifolia*. The average DBH of *P. massoniana* is 19.96 cm and the average tree height is 14.41 m. Although there were many *Q. dentata*, the average DBH was 9.10 cm and the average tree height was only 7.33 m. The number of *P. chinensis* was close to *Q. acutissima*: with the average DBH of 9.32 cm and average tree height of 8.64 m.

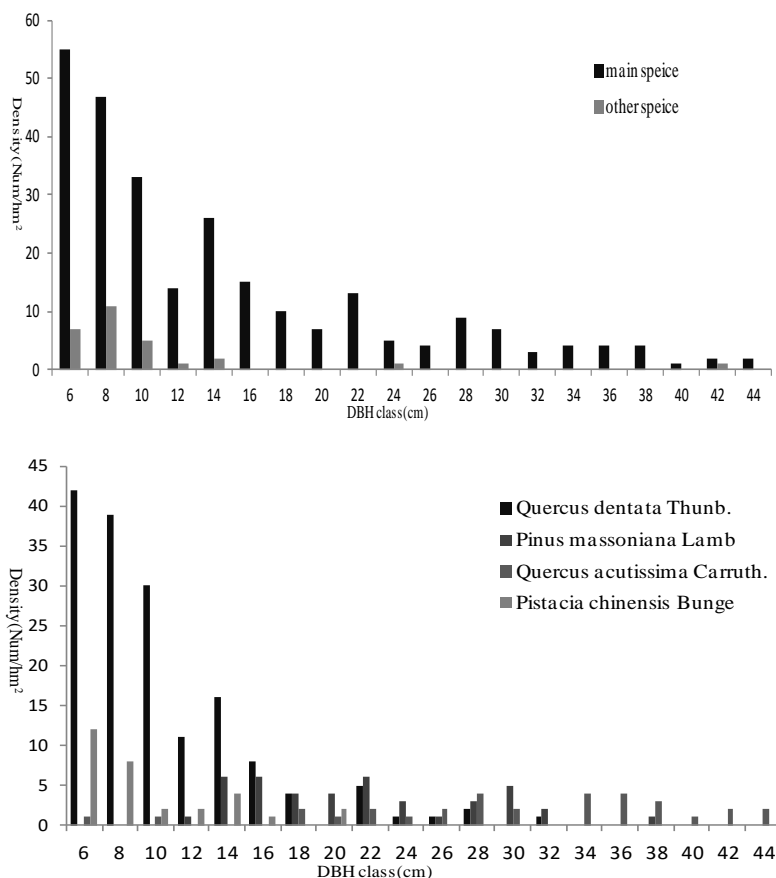
Based on comprehensive analysis, *P. massoniana* and *Q. acutissima* had obvious advantages in the community, which are the constructive species of the arbor community. *P. massoniana* had partial death phenomenon and showed the decline trend, while *Q. dentata* and *P. chinensis* have great potential as regeneration species.

**Diameter class distribution.** The individual diameter class distribution of all arbor trees in the riparian zone of Nanwan Lake reservoir showed an inverse "J" distribution, among which the number of trees 5 cm  $\geq$  DBH  $\leq$  14cm accounted for 68.6 % of the total, indicating that the diameter class

structure of the forest stand is mainly medium-small diameter class (Fig. 2).

The size of *Q. dentata* was mainly distributed between 5 cm to 29.9 cm. The smaller the size the number of plants was more. The diameter class distribution of *P. massoniana* was mainly from 14 cm to 33.9 cm, and the number of plants in each diameter class distribution was more uniform. The diameter class distribution of *Q. acutissima* was commonly from 18 cm to 45.9 cm, among which the number of plants  $\geq$  34 cm was more distributed, chiefly with large diameter class. The diameter class distribution of *P. chinensis* mainly ranged from 5 cm to 15.9 cm, and it is dominated by small size. In general, the main tree species in the forest land of Nanwan Lake reservoir are *P. massoniana* and *Q. acutissima*, which are mainly distributed in the large-diameter class, while *Q. dentata* and *P. chinensis* are mostly distributed in the small-medium diameter class in large area. It can be predicted that *P. massoniana* and *Q. acutissima* will be gradually replaced with the growth of *Q. dentata* and *P. chinensis*.

**Forest story division.** According to the height of dominant trees (Tab. 3), the forest story was divided into three vertical structures: upper, middle and lower. The average height of dominant trees in the forest story was 22.78 m, with 15.19 and 7.59 m as the boundaries of each forest story. The number of trees in the middle canopy was the largest; accounting for 42.4 %.The number of plants in the upper



**Fig. 2. Size-class distribution of main tree species in the plot**  
Vertically distribution of the stand

Table 3  
Nanwan Lake reservoir forest story stratification

Dominant average height	Forest story	Range	Number
22.78 m	Lower canopy	$H \geq 15.19$	100
	Middle canopy	$7.59 < H < 15.19$	124
	Upper canopy	$H \leq 7.59$	68

Table 4  
Vertical distribution table of Forestland in Nanwan Lake reservoir

Species	Lower canopy	Middle canopy	Upper canopy
Q. dentata	68	78	10
<b>Q. dentate (dead)</b>	3	1	
P. massoniana	0	6	25
<b>P. massoniana (dead)</b>	3	7	1
Q. acutissima	1	4	27
P. chinensis	15	14	2
P. strobilacea	4	6	1
S. paniculata	2	3	-
A. ginnala	2	2	-
B. papyrifera	1	1	1
U. parvifolia	-	1	1
C. coggygria	1	-	-
C. dielsiana	-	1	-
A. vulgaris	1	-	-

canopy was less, accounting for 23.2 %. This indicates that in the whole forest story, the trees in the middle and lower layers occupy the main distribution.

The main tree species in the upper story of forest near Nanwan Lake are *P. massoniana* and *Q. acutissima*, among them a small amount of *Q. dentata* and *P. chinensis* distributed (Tab. 3). The middle story is mainly dominated by *Q. dentata*, and a small amount of *P. massoniana* and *P. chinensis* distributed, about a half among them (*P. massoniana*) are dead and their growth condition is limited. The lower story is dominated by *Q. dentate* with a small amount of *P. chinensis* and *P. strobilacea*.

Tree height distribution. The distribution curve of tree height is asymmetrical shape of mountain and continuous (Fig. 3).

Tree height ranges from 6 m to 8 m has a large distribution. Maximum tree height is 23 m. The height distribution of *Q. dentata* is mainly concentrated in the range of 3 m to 14 m. The height of *P. massoniana* is mainly distributed in the range of 12 m to 21 m, the height of *Q. acutissima* – in the range of 16 m to 22 m, the height of *P. chinensis* – in the range of 4 m to 8 m. From the perspective of tree height distribution, the tree height distribution of different tree species is clearly stratified. *Q. acutissima* and *P. massoniana* are growing in the middle and upper canopies, while *Q. dentate* and *P. chinensis* are concentrated in the lower and middle canopies. From the perspective of DBH distribution, the tree height distribution and diameter class distribution of each tree species have the same trend.

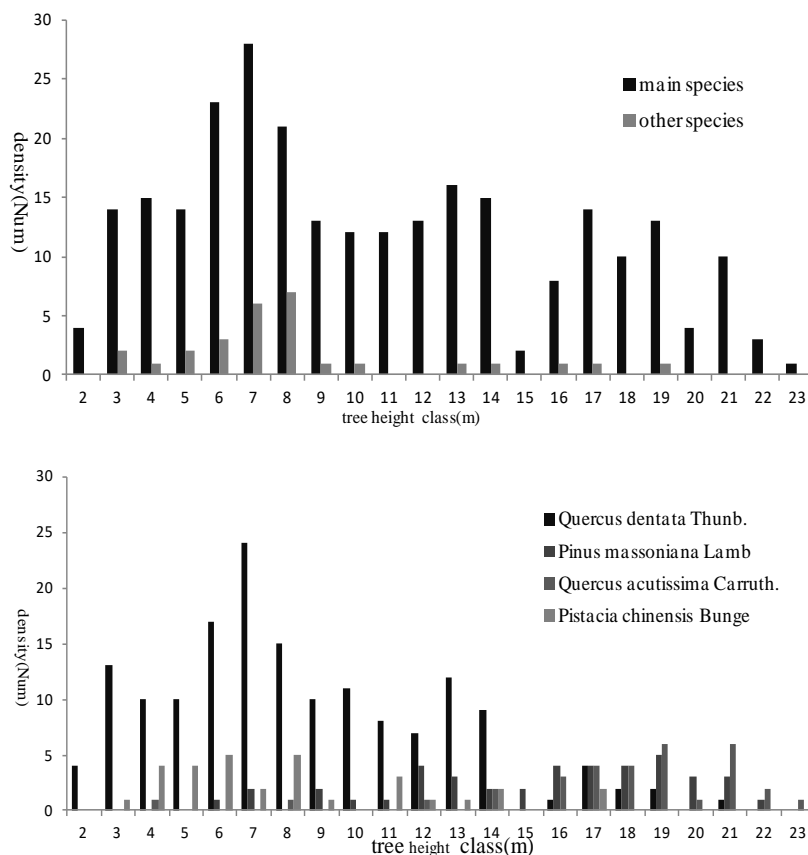


Fig. 3. The height distribution of main tree species in the plot  
Diversity index of tree diameter class distribution

Table 5  
Index table of diameter class distribution diversity of arbor forest in Nanwan Lake reservoir riparian zone

Index	Value	Theoretical index value range
Simpson size diversity index	0.878	[0,1]
Shannon size diversity index	2.441	[0,ln(S)]
Gini coefficient index of basal area	0.600	[0,1]
diameter coefficient of variation index	0.656	[0,1]

The Simpson size diversity index of diameter class distribution of arbor forest in Nanwan Lake reservoir riparian zone is 0.878. Shannon size diversity index is 2.441. Gini coefficient index of basal area is 0.600. Diameter coefficient of variation index is 0.656 (Tab. 5). This indicates that the distribution richness of diameter class structure in Nanwan Lake reservoir riparian zone is more abundant, the difference of tree diameter class is obvious, and the forest stand diameter class structure is in a relatively good condition.

Tree height – DBH relationship

Table 6  
The tree height – DBH curve was used to fit the parameters

Model	Fitting results			
	a	b	c	R <sup>2</sup>
Richard	20.095	0.090	1.765	0.818
Weibull	19.537	0.020	1.406	0.817
Logistic	18.527	8.621	0.179	0.810
Korf	28.488	9.195	0.867	0.818
Comperz	19.243	3.058	0.122	0.816

Using the main tree species as samples, the parameters *a*, *b* and *c* of several commonly used tree height-DBH model equations were fitted to obtain the parameters of each model. Among them, Richard equation and Korf equation have the best fitting effect, with the determination coefficient (*R*<sup>2</sup>) both reaching 0.818. Comparing the residual results obtained by the two methods, Richard's equation is better, which is applicable to describe the relationship between tree height and DBH in the forestland of the Nanwan Lake reservoir riparian zone. The model equation is  $H = 1.3 + 20.095 (1 - e^{-0.090D})^{1.765}$ .

**Discussion.** The forest land along the riverbank of the reservoir plays an important role in the change and formation of the reservoir microclimate, and is also an important habitat for various vegetation, birds and microorganisms. The health status and management measures of riparian forest land play a positive role in the maintenance of the whole reservoir environment as well as the development of biodiversity and forest land productivity (Naiman & Decamps, 1997; Zhang et al., 2012).

In this study, the growth status of forestland in the downstream of the Nanwan Lake reservoir riparian zone was investigated. We found that *P. massoniana* and *Q. acutissima* are the constructive species of the riparian zone, among which *P. massoniana* is gradually declining in the whole community, and *Q. dentata* and *P. chinensis*

mainly distributed in the lower canopy showed strong replacement potential, which is consistent with the planting history of the riparian forest of the Nanwan Lake reservoir.

In the 1960s, after the reservoir was built, the local management developed a large area of plantation using *P. massoniana* and *Q. acutissima*. For a long time, this kind of mixed model has achieved good results. With the succession of forest community structure, local suitable species *Q. dentata* and *P. chinensis* showed strong competitive advantage.

In the investigation process, we also found that many large-diameter *P. massoniana* appeared dry death phenomenon, which may be due to the rapid growth of newer species in the lower canopy; *P. massoniana* gradually weakened in the whole niche competition, the root system could not get enough nutrients, and gradually died.

The condition of *Q. acutissima* is better than *P. massoniana* in the large size class. The main competitive pressure on *P. massoniana* is likely to come from *Q. acutissima*. The update status of *Q. acutissima* in small size class is not ideal, and the distribution range is small. It can be predicted that with the growth of the lower canopy species, *P. massoniana* and *Q. acutissima* will be gradually replaced. In the future, the stand will be dominated by the *Q. dentata*, among which the main accompanying species is *P. chinensis*. This is also consistent with the characteristics of the transition region from subtropical zone to warm temperate zone in Xinyang region.

The hierarchical structure of different canopy story in mixed forests affects the primary productivity of forestlands through the distribution of light energy inner forest canopy and the distribution of species communities under the canopy, further affecting the structural characteristics of ecosystem communities (Marks et al., 2020). The relationship between ecosystem diversity and ecosystem function usually has two mechanisms, niche complementary effect and selection effect. The diversity of ecosystem also directly affects the diversity of stand diameter class structure (Naeem, 2002; Tinya et al., 2018). Therefore, the distribution characteristics of individual diameter class structure in stand are also important parameters to evaluate the stability and diversity of the system. From the current status, the forest structure characteristics in the riparian forest land of Nanwan Lake reservoir accord with the inverted "J" pattern distribution, Richard equation can well describe the linear relationship between DBH and tree height in the stand. Indexes such as the diameter class richness and tree size diversity indicate that the DBH distribution of each diameter class is appropriate and within a reasonable range.

In the absence of anthropogenic accidents or natural extremes, the forest lands near Nanwan Lake could effectively use environmental benefits for a long time.

**Conclusions.** Forestland is an important part of riparian ecosystem and the stability of forest land structure is also a prerequisite for the maintenance of biodiversity (Gregory et al., 1991). It is almost impossible to restore the ecological function of riparian zone communities once they are destroyed. Riparian forests play a disproportionate role in maintaining ecosystem diversity and climate stability



considered its area (González et al., 2016; Tolkkinen et al., 2020). The restoration and reconstruction of riparian forest can effectively improve the efficiency of carbon storage and is an important measure for ecological restoration (Dybala et al., 2019). By investigating the spatial structure characteristics and species in the riparian zone of Nanwan Lake Reservoir forest land, this study evaluated the functional structure characteristics and ecosystem stability, and predicted the management measures of the forest land in the future. From a global perspective, conifer species are gradually declining due to drought, fire, invasion of pests and diseases

caused by climate change, and the trend towards broadleaf forest is similar to the results of this research (Kominoski et al., 2013; Mantgem et al., 2009). In order to improve the level of forest management in mixed forests near Nanwan Lake reservoir, it is suggested to closely monitor the growth status of trees, cut dead or poor growing *P. massoniana*, and prevent the occurrence of forest fires.

#### Acknowledgments

Funding has been provided by Xinyang Agricultural and Forestry University Science and Technology Innovation Team project.

#### References:

1. Ali, A. (2019). Forest stand structure and functioning: Current knowledge and future challenges. *Ecological Indicators*, 98, 665–677. doi:10.1016/j.ecolind.2018.11.017
2. Bohn, F. J. & Huth, A. (2017). The importance of forest structure to biodiversity–productivity relationships. *Royal Society Open Science*, 4(1), 160521. doi: 10.1098/rsos.160521
3. Buongiorno, J. (2001). Quantifying the implications of transformation from even to uneven-aged forest stands. *Forest Ecology and Management*, 151(1–3), 121–132. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00702-7
4. Clark, J. S. (2010). Individuals and the Variation Needed for High Species Diversity in Forest Trees. *Science*, 327(29), 1129–1132. doi: 10.1126/science.1183506
5. Curtis, J. T. & McIntosh, R. P. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476–496. doi: 10.2307/1931725
6. Duduman, G. (2011). A forest management planning tool to create highly diverse uneven-aged stands. *Forestry*, 84(3), 301–314. doi:10.1093/forestry/cpr014
7. Dybala, K. E., Matzek, V., Gardali T. & Seavy, N. E. (2019). Carbon sequestration in riparian forests: A global synthesis and meta-analysis. *Global Change Biology*, 25, 57–67. doi:10.1111/gcb.14475
8. González, E., Felipe-Lucia, M. R., Bourgeois, B., Boz, B., Nilsson, C., Palmer, G. & Sher, A. A. (2016). Integrative conservation of riparian zones. *Biological Conservation*, S0006320716306887. doi: 10.1016/j.biocon.2016.10.035
9. Gregory, S. V., Swanson, F. J., Arthur, M. K. W. & Cummins, K. W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41(8), 540–551.
10. Hagan, J. M., Pealer, S. & Whitman, A. A. (2006). Do small headwater streams have a riparian zone defined by plant communities? *Canadian Journal of Forest Research*, 36(36), 2131–2140. doi: 10.1139/X06-114
11. Kominoski, J. S., Shah, J. J. F., Canhoto, C., Fischer, D. G., Giling, D. P., González, E., Griffiths N. A., Larrañaga A., LeRoy, C. J., Mineau, M. M., McElarney, Y. R., Shirley, S. M., Swan, C. M. & Tiegs, S. D. (2013). Forecasting functional implications of global changes in riparian plant communities. *Frontiers in Ecology & the Environment*, 11(8), 423–432. doi: 10.1890/120056
12. Kreuzweiser, D. P., Sibley, P. K., Richardson, J. S. & Gordon, A. M. (2012). Introduction and a theoretical basis for using disturbance by forest management activities to sustain aquatic ecosystems. *Freshwater Science*, 31(1), 224–231. doi: 10.1899/11-114.1
13. Kuglerová, L., Jansson, R., Ågren, A., Laudon, H. & Malm-Renöfält, B. (2014a). Groundwater discharge creates hotspots of riparian plant species richness in a boreal forest stream network. *Ecology*, 95(3), 715–725. doi: 10.1890/13-0363.1
14. Kuglerová, L., Ågren, A., Jansson, R. & Laudon, H. (2014b). Towards optimizing riparian buffer zones: Ecological and biogeochemical implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 334, 74–84. doi: 10.1016/j.foreco.2014.08.033
15. Livesley, S. J., Baudinette, B. & Glover, D. (2014). Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees – the impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(1), 192–197. doi: 10.1016/j.ufug.2013.09.001
16. Mantgem, P. J. V., Stephenson, N. L., Byrne, J. C., Daniels, L. D., Franklin, J. F., Fulé, P. Z., Harmon, M. E., Larson, A. J., Smith J. M., Taylor A. H. & Veblen, T. T. (2009). Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science (New York, N.Y.)*, 323, 521–524. doi: 10.1126/science.1165000
17. Marks, C. O., Yellen, B. C., Wood, S. A., Martin, E. H. & Nislow, K. H. (2020). Variation in tree growth along soil formation and microtopographic gradients in riparian forests. *Wetlands*, 08, 1–14. doi: 10.1007/s13157-020-01363-9
18. Myster, R. W. (2018). What we know about the composition and structure of igapó forests in the Amazon basin. *Botanical Review*, (84), 394–410. doi: 10.1007/s12229-018-9204-y
19. Naeem, S. (2002). Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm. *Ecology*, 83(6), 1537–1552. doi: 10.2307/3071972
20. Naiman, R. J. & Decamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian zone. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 28, 621–658. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621
21. Oldén, A., Peura, M., Saine, S., Kotiaho, J. S. (2019). The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate. *Forest Ecology and Management*, 453, 117623. doi: 10.1016/j.foreco.2019.117623
22. Peder, W., & Ljusk, O. E. (2000). Solving the stand management problem under biodiversity-related considerations. *Forest Ecology & Management*, 126, 361–376. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00107-3
23. Pommerening, A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75(3), 305–324. doi: 10.1093/forestry/75.3.305

24. Poulsen, J. R., Koerner, S. E., Miao, Z., Medjibe, V. P., Banak, L. N. & White, L. J. T. (2017). Forest structure determines the abundance and distribution of large lianas in Gabon. *Global Ecology & Biogeography*, 26(4), 472–485. doi: 10.1111/geb.12554
25. Ran, Y., Ma, M., Liu, Y., Zhou, Y., Sun X., Wu S. & Huang, P. (2020). Hydrological stress regimes regulate effects of binding agents on soil aggregate stability in the riparian zones. *Catena*, 196, 104815. doi: 10.1016/j.catena.2020.104815
26. Ring, E., Widenfalk, O., Jansson, G. Holmström, H., Högbom, L. & Sonesson, J. (2017). Riparian forests along small streams on managed forest land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(2), 133–146. doi: 10.1080/02827581.2017.1338750
27. Rolstad, J., Gjerde, I., Storaunet, K., O. & Rolstad, E. (2001). Epiphytic lichens in Norwegian coastal spruce forest: Historic logging and present forest structure. *Ecological Applications*, 11(2), 421–436. doi: 10.2307/3060899
28. Schulte, B. J. & Buongiorno, J. (1998). Effects of uneven-aged silviculture on the stand structure, species composition, and economic returns of loblolly pine stands. *Forest Ecology & Management*, 111(1), 83–101. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00312-0
29. Sibley, P. K., Kreutzweiser, D. P., Naylor, B. J., Richardson, J. S. & Gordon, A. M. (2012). Emulation of natural disturbance (END) for riparian forest management: synthesis and recommendations. *Freshwater Science*, 31(1), 258–264. doi: 10.1899/11-094.1
30. Sun, J., Yu, X., Wang, H., Jia, G., Zhao, Y. Tu, Z., Deng, W., Jia, J. & Chen, J. (2018). Effects of forest structure on hydrological processes in China. *Journal of Hydrology*, 561, 187–199. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.04.003
31. Tinya, F., Márialiget, S., Bidló, A., & Ódor, P. (2018). Environmental drivers of the forest regeneration in temperate mixed forests. *Forest Ecology and Management*, 433, 720–728. doi: 10.1016/j.foreco.2018.11.051
32. Tolkkinen, M., Mykrä, H., Annala, M., Markkola, A. M., Vuori, K. M. & Muotka, T. (2015). Multi-stressor impacts on fungal diversity and ecosystem functions in streams: natural vs. anthropogenic stress. *Ecology*, 96(3), 672–683. doi: 10.1890/14-0743.1
33. Tolkkinen, M. J., Heino, J., Ahonen, S. H. K., Lehosmaa, K. & Mykra, H. (2020). Streams and riparian forests depend on each other: A review with a special focus on microbes. *Forest Ecology and Management*, 462, 117962. doi: 10.1016/j.foreco.2020.117962
34. Valbuena, R., Packalén, P., Martin-Fernández, S. & Matti, M. (2012). Diversity and equitability ordering profiles applied to study forest structure. *Forest Ecology and Management*, 276, 185–195. doi: 10.1016/j.foreco.2012.03.036
35. Yuan, Z., Wang, S., Ali, A., Gazol, A., Ruiz-Benito, P., Wang, X., Lin, F., Ye, J., Hao Z. & Loreau M. (2018). Aboveground carbon storage is driven by functional trait composition and stand structural attributes rather than biodiversity in temperate mixed forests recovering from disturbances. *Annals of Forest Science*, 75(3), 67. doi: 10.1007/s13595-018-0745-3
36. Zhang, Y., Chen, H. Y. H. & Reich, P. B. (2012). Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology*, 100(3), 742–749. doi: 10.1111/j.1365-2745.2011.01944.

**Янь Тенфей**, аспірант, Хенанський інститут науки та техніки, м. Сіньсян, Хенань, КНР; Сіньянський університет сільськогосподарства та лісу, м. Сіньян, Хенань, КНР; Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
**Кременецька Євгенія Олексіївна**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**Ван Шибін**, заступник старшого інженера, Національна лісова ферма Наньван, м. Сіньян, Хенань, КНР

**Ху Цян**, асистент, Сіньянський університет сільськогосподарства та лісу, м. Сіньян, Хенань, КНР

**Він Сонглін**, викладач докторантури, професор, Хенанський інститут науки та техніки, м. Сіньсян, Хенань, КНР

#### **Дослідження структури угруповань та поширення змішаних лісів поруч із озером Наньван**

Розподіл структури угруповання у лісі, що зростає у зоні узбережжя, є важливим показником різноманітності та сталого розвитку прибережної екосистеми, а також важливою основою для управління лісовими землями. Для того, щоб зрозуміти екологічну функцію прибережної зони озера Наньван (місто Сіньян, провінція Хенань, Китай), досліджено стан зростання лісу у нижній течії водойми. Результати дослідження свідчать про те, що *Pinus massoniana* Lamb і *Pistacia chinensis* Bunge є переважаючими видами у складі насаджень прибережної зони. Відбувається поступове зменшення представництва *Pinus massoniana* Lamb у даному угрупованні. Нижній ярус із *Quercus dentate* Thunb. і *Pistacia chinensis* Bunge демонструє значний потенціал для заміни верхнього ярусу. Характеристики структури дерев (діаметр стовбура дерева на висоті грудей (1,3 м), висота дерева та ширина крони) були встановлені на кожній експериментальній ділянці. Характеристики структури дерев підтверджують перевернутий розподіл «J» і лінійний зв'язок між діаметром на висоті грудей і висотою дерев у насажденні (можна добре описати за допомогою рівняння моделі Річарда), рівняння моделі  $H=1.3+20.095(1-e^{-0.090D})^{1.765}$ . За умови відсутності антропогенних аварій або природних екстремальних явищ, лісові землі навколо озера Наньван ще довго могли б ефективно використовувати екологічні переваги. З метою покращення рівня ведення лісового господарства у мішаних лісах на дані території, пропонується уважно стежити за станом росту дерев, видаляти загиблі або погано зростаючі дерева *Pinus massoniana* Lamb, а також запобігати виникненню лісових пожеж.

**Key words:** прибережна зона озера Наньван; мішаний ліс; характеристики структури дерев.

## STUDY ON ANTIFUNGAL ACTIVITY OF HYPHAE EXTRACT OF A *STREPTOMYCES* STRAIN HU2014 AGAINST FOUR PHYTOPATHOGENIC FUNGI

**Zhu Hongxia**

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0003-0113-779X

zhxhg105@163.com

**Cao Zhishan**

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0003-3127-4592

caozhishan123@163.com

**Rozhkova Tetiana**

PhD (Biological Sciences), Associate Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-0791-9736

rozhkova8@gmail.com

**Linfeng Hu**

PhD, Associate Professor

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0001-6332-2283

wood9818@sina.com

The application of chemical pesticides emerges many disadvantages, so new natural resources of suppressing plant diseases are needed. Actinobacteria are gaining interest in agriculture as biological control agents (BCAs). *Streptomyces* spp. are part of actinobacteria and are known for producing a large number of active metabolites. In this paper, the antifungal effect of the hyphae methanol extract (HME) of a *Streptomyces* strain HU2014 on four phytopathogenic fungi was investigated by the growth rate method. A pretest study on different concentrations of the HME was conducted to determine a suitable range of antifungal activity. The result showed that the inhibited effect of the HME against *Rhizoctonia solani* was better than the other three fungi, reached 100 % with the concentration of 0.5 mg/ml. Based on the above test, the Log concentration-probit regression lines were obtained according to the inhibition rate with different concentrations. The  $EC_{50}$  value of the HME against *R. solani* at 48 h, 72 h, and 96 h were lowest in other fungi respectively. The toxicity regression equations of HME on *R. solani* was  $y = 6.9826 + 1.4028x$  (Correlation Coefficient  $r = 0.9783$ ), and the  $EC_{50}$  value was 0.0386 mg/ml at 72 h. The toxicity regression equations of HME on *Botrytis cinerea* was  $y = 5.6627 + 1.2386x$  (Correlation Coefficient  $r = 0.9614$ ), and the  $EC_{50}$  value was 0.2917 mg/ml at 72h. The toxicity regression equations of HME on *Colletotrichum gloeosporioides* was  $y = 5.3143 + 1.0873x$  (Correlation Coefficient  $r = 0.9996$ ), and the  $EC_{50}$  value was 0.5140 mg/ml at 72 h. The toxicity regression equations of HME on *Fusarium graminearum* was  $y = 5.7011 + 2.3280x$  (Correlation Coefficient  $r = 0.9869$ ), and the  $EC_{50}$  value was 0.5024 mg/ml at 72 h. The *Streptomyces* HU2014 strain has a significant antifungal effect and may become a new biocontrol agent in agricultural production.

**Key words:** *Streptomyces*, phytopathogenic fungi, antifungal effect,  $EC_{50}$ .

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.11>

**Introduction.** Fungal disease is one of the main causes of serious falling yields in modern agriculture (Adesina et al., 2007; Cha et al., 2016; McCulloch et al., 2020). Such as *Rhizoctonia solani* JG Kühn and *Fusarium graminearum* Schwabe are perhaps best known for causing diseases in Gramineae (Breunig et al., 2021; Cubeta et al., 1997), *Botrytis cinerea* Persoon and *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Saccardo are two of the most important postharvest fungal pathogens causing significant losses in fresh fruits, vegetables and ornamentals

(Chaouachi et al., 2021; Wang et al., 2021). Chemical treatment is the usual method to control fungal disease (Peng et al., 2014). But the long-term use of chemical pesticides has also posed a serious threat to human safety and natural environment protection (Macaulay et al., 2021; Rani et al., 2021).

Biopesticides (in China) refer to the living organisms with pesticide activity or the active substances produced by them, which are used to control diseases, pests and weeds (Deacon et al., 1993; Wei et al., 2008). Biopesticides



have the following advantages (Tian et al., 2007): ① low toxicity and high efficiency; ② strong selectivity (they only have good control effect on target organisms and closely related organisms, but are safe and harmless to non-target organisms such as human and animals); ③ low residue; ④ greatly reduce the use of traditional pesticides without affecting modern agricultural production. Microbial pesticide is a kind of substance with pesticide physiological activity, which is made from microorganism and/or its metabolites. *Streptomyces* can produce a variety of bioactive substances, which play an important role in improving the plant disease resistance (Katz et al., 2016; Tarkka et al., 2008). *Streptomyces* are promising in agriculture as plant-growth-promoting (PGP) bacteria and/or biological control agents (BCAs) (Dias et al., 2017; Viaene et al., 2016). Several *Streptomyces* species have been researched and/or used to control plant diseases (Lu et al., 2016; Patel et al., 2018; Wan et al., 2008; Wu et al., 2019).

In this study, we determined the antifungal activity of the hyphae methanol extract (HME) of the strain HU2014 by growth rate method on *R. solani*, *C. gloeosporioides*, *B. cinerea* and *F. graminearum*. In order to provide scientific basis for finding the antifungal active components and microbial fungicides suitable for crop disease control.

**Materials and methods.** *Materials.* The plant pathogenic fungi including *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium graminearum* and the strain HU2014 were afforded by Henan Institute of Science and Technology (HIST).

*Methods.* Fungi culture and hyphae of the strain HU2014 preparation. The fungi were pre-cultured on potato dextrose agar (PDA) plate at 25°C for about 6 days. The strain HU2014 was pre-cultured on PDA medium at 4°C until required. The hyphae discs were transferred to PDA plate at 25°C for about 8 days. The activated discs were put into sterile GPY broth in 250 ml flasks, incubated at 28°C with shaking at 150 r. min<sup>-1</sup> for 15 days. The fermentation broth was centrifuged (8000 r.min<sup>-1</sup>, 4°C) for 15 minutes to separate the supernatants. The hyphae were filtrated through nylon filter, washed with sterile water, and made more drier with filter paper. The filtrated hyphae were lyophilized (Christ ALPHA 1-4 LSC, Germany) to dry using following settings: 72 h, -10°C, 0.5 mbar (primary drying); 24 h, 20°C, 0.01 mbar (final drying) (Grossmann et al., 2018), and stored at 4 °C for experiment.

*Extraction of the effective components.* The methanol dipping method was employed to extract effective components (Jiao, R. H. et al., 2013; Thabard et al., 2011). After weighting 73.8 g of dried hyphae accurately, it was dissolved with proper methanol and crushed with ultrasonic wave. Methanol was added to 600 ml and the hyphae were soaked for 24h. The fractions of the hyphae were evaporated and then lyophilized (Christ ALPHA 1-4 LSC, Germany) after a Buchner funnel to remove the residue. Then the extract was obtained and stored at 4 °C for experiment.

*Determination of the antifungal activity.* The antifungal activities of the extracts were determined by growth rate method (Hadacek et al., 2000; Xu, G.-F. et al., 2007). Firstly, we conducted a pretest. The gradient concentration of the extract

was 20.0 mg mL<sup>-1</sup>, 10.0 mg mL<sup>-1</sup>, 5.0 mg mL<sup>-1</sup> with sterile water. The above reagents were mixed at ratios of 1:9 (v/v) with melted PDA medium, respectively. That is to say, the tested concentration of the extract was diluted 10 times. Immediately, 10 ml mixed medium was aseptically poured into a sterile 9 cm Petri dish and allowed to solidify. The plug (4 mm in diameter) of each phytopathogenic fungi was separately placed on the center of the plate. Fungal plug was inoculated on pure PDA plate as control. The experiments were conducted three times. And the plates were incubated at 25°C. The treated colony diameter (TCD) and control colony diameter (CCD) was measured at 48 h, 72 h and 96 h, respectively. The formula for the calculation of inhibition rate (I) is as follow:  $I(\%) = [(CCD-4) - (TCD-4)] / (CCD-4) \times 100\%$ , Where 4: Diameter of the cut fungus (measurement unit: mm).

According to the pretest, we set a series of concentrations of the extracts: 30.0 mg mL<sup>-1</sup>, 20.0 mg mL<sup>-1</sup>, 15.0 mg mL<sup>-1</sup>, 10.0 mg mL<sup>-1</sup>, 5.0 mg mL<sup>-1</sup>, 2.5 mg mL<sup>-1</sup> and 1.25 mg mL<sup>-1</sup>. The above reagents were mixed at ratios of 1:9 (v/v) with melted PDA medium, respectively. The next test was followed the above. After measuring the inhibition rate, the toxicity regression equations and the EC<sub>50</sub> value were calculated.

*Statistical methods.* Statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) were evaluated by an analysis of variance (ANOVA) using SPSS version 16.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, United States). All data shown are the average value of three biological replicates  $\pm$  SD.

**Results.** *The pre-screening of antifungal activities.* It can be drawn from Fig. 1 and Table 1 that different concentrations of the HME had different antifungal effects on the four pathogenic fungi. Three different concentrations of the HME completely inhibited the growth of *R. solani* at 48 h, 72 h and 96 h. the highest inhibition rate was 92.41 % against *B. cinerea* with the concentration of 2 mg/mL at 96 h. Followed by 75 % against *C. gloeosporioides* with the concentration of 2 mg/mL at 72 h, and 88.70 % against *F. graminearum* with the concentration of 2 mg/mL at 72 h. According to the above result, the inhibition rate of the HME against *R. solani* was the best in all that of fungi with the same concentration, and the concentrations of the HME should be decreased against *R. solani* for its completely inhibition at three different concentrations. A series of concentrations of the HME were reset to determine the toxicity curve and the EC<sub>50</sub> value of the strain HU2014.

*3.2 The EC<sub>50</sub> curve analysis.* The 50 % effective concentration (EC<sub>50</sub>) values were deduced from log probit analysis at 48 h, 72 h and 96 h (Jiang et al., 2004). From Table 2, the results showed that there was a high correlation between the concentration of the HME and the inhibition rate of fungal growth. The EC<sub>50</sub> value of the HME against *R. solani* always was the lowest in all that of fungi at three sampling times, for 48 h, 72 h and 96 h showed 0.0284 mg/mL, 0.0386 mg/mL and 0.1040 mg/mL respectively. and that against *B. cinerea* were 0.3000 mg/mL, 0.2917 mg/mL and 0.3560 mg/mL respectively. Interestingly, that of the HME against *C. gloeosporioides* did not change significantly with concentration, varied from 0.5140 mg/ mL to 0.5520 mg/ mL. The EC<sub>50</sub> value of the HME against *F. graminearum* were 0.3200 mg/mL, 0.5024 mg/mL and 0.5311 mg/mL respectively.





Fig. 1. The antifungal activities of the HME at three concentrations against four pathogenic fungi. Where XC: *F. graminearum*; FH: *B. cinerea*; SW: *R. solani*; PT: *C. gloeosporioides*

Table 1

The antifungal activities of the HME against four pathogenic fungi

Tested fungi	Inhibition rate (%)								
	48 h			72 h			96 h		
	2 mg/mL	1 mg/mL	0.5 mg/mL	2 mg/mL	1 mg/mL	0.5 mg/mL	2 mg/mL	1 mg/mL	0.5 mg/mL
<i>R. solani</i>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>	100±0 <sup>a</sup>
<i>B. cinerea</i>	86.49±4.68 <sup>b</sup>	66.27±4.17 <sup>b</sup>	43.66±4.88 <sup>c</sup>	92.09±4.27 <sup>b</sup>	67.33±2.57 <sup>b</sup>	69.90±9.35 <sup>b</sup>	92.41±1.58 <sup>b</sup>	69.58±1.04 <sup>b</sup>	69.91±6.91 <sup>b</sup>
<i>C. gloeosporioides</i>	71.74±3.77 <sup>c</sup>	63.24±2.55 <sup>b</sup>	62.71±2.94 <sup>b</sup>	75.00±3.57 <sup>c</sup>	65.42±4.28 <sup>b</sup>	66.33±3.06 <sup>b</sup>	68.29±0 <sup>c</sup>	58.50±5.14 <sup>b</sup>	56.94±2.41 <sup>c</sup>
<i>F. graminearum</i>	71.43±3.53 <sup>c</sup>	57.14±8.57 <sup>b</sup>	42.11±4.56 <sup>c</sup>	88.70±1.51 <sup>b</sup>	59.57±3.69 <sup>c</sup>	53.00±3.46 <sup>c</sup>	86.49±1.87 <sup>d</sup>	68.39±3.59 <sup>b</sup>	60.45±5.18 <sup>c</sup>

Where C: concentration; The experiment was in 3 replicates. \* mean values followed by different letters in each column are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Table 2

The toxicity regression line of the HME against four fungi

Time	Fungi	Equation	EC <sub>50</sub> (mg/ mL)	SD	F value	R	P value
48h	<i>R. solani</i>	$y=6.9613+1.2686x$	0.0284	0.1853	46.8677	0.9695	0.0039
	<i>B. cinerea</i>	$y=5.7989+1.5281x$	0.3000	0.1347	128.6081	0.9848	0.0003
	<i>C. gloeosporioides</i>	$y=5.327+1.2635x$	0.5511	0.1185	113.7514	0.9871	0.0018
	<i>F. graminearum</i>	$y=5.8095+1.6403x$	0.3210	0.2749	35.5939	0.9603	0.0094
72h	<i>R. solani</i>	$y=6.9826+1.4028x$	0.0386	0.2235	39.3903	0.9783	0.0033
	<i>B. cinerea</i>	$y=5.6627+1.2386x$	0.2917	0.1772	48.8687	0.9614	0.0022
	<i>C. gloeosporioides</i>	$y=5.3143+1.0873x$	0.5140	0.0573	360.1898	0.9959	0.0003
	<i>F. graminearum</i>	$y=5.7011+2.3280x$	0.5024	0.1083	639.0019	0.9996	0.0096
96h	<i>R. solani</i>	$y=6.8632+1.8956x$	0.1040	0.1552	149.1955	0.9869	0.0003
	<i>B. cinerea</i>	$y=5.3193+0.7135x$	0.3560	0.0254	788.2814	0.9981	0.0001
	<i>C. gloeosporioides</i>	$y=5.2563+0.9941x$	0.5520	0.1039	91.4727	0.9840	0.0024
	<i>F. graminearum</i>	$y=5.6953+2.5297x$	0.5311	0.0913	767.8400	0.9993	0.0230

Where SD: Standard deviation; R: r coefficient

We can draw a conclusion that the HME had the highest antifungal activity on *R. solani* and its EC<sub>50</sub> value at 48 h and 72 h just were closed to one percent of that against other tested fungi. This was an exciting finding for further research.

**Discussion.** It is a well-known fact that *Streptomyces* sp. produces active metabolites that can inhibit the growth of phytopathogens (Adesina et al., 2007; Katz et al., 2016; Patel et al., 2018; Wu et al., 2019). The EC<sub>50</sub> value is commonly used to evaluate drug potency and sensitivity of plant pathogens (Li, J. L. et al., 2015; Li, M. et al., 2015; Liang et al., 2015). Some reports about the compounds had excellent inhibition activities through the comparison with the EC<sub>50</sub> value of commercialized fungicides (Hu, H. R. et al., 2020; Hu, M. J. et al., 2013; Xu, S. Q. et al., 2019; Yang et al., 2020). In this study, bioassay results in vitro indicated that the HME exhibited strong activity against *R. solani*, *B. cinerea* and *F. graminearum*. The anti- *R. solani* EC<sub>50</sub> values were 0.0284 mg/ mL at 48 h, followed by the EC<sub>50</sub> values of anti- *B. cinerea* indicating 0.3000 mg/ mL at 48 h and 0.2917 mg/mL at 72 h respectively. The values had a certain gap between the HME and the commonly used fungicides, such as carbendazim (EC<sub>50</sub>=0.43 μg/ mL) (Jiao, J. et al., 2021) and fluopyram (EC<sub>50</sub>=0.244 mg/L) (Yan et al., 2020). We know, the HME in this study was not the pure compound. Although the antifungal activity of the HME of the strain HU2014 was determined in this study, it is not sure which substance had antifungal effect on the four tested fungi, and it

needs to further purify and verify the antifungal activity. This study is only a preliminary exploration and the mechanism of action needs further study.

**Conclusions.** We found a streptomyces strain HU2014 and study the antifungal activity of the HME of the strain with different concentrations against *R. solani*, *B. cinerea*, *C. gloeosporioides* and *F. graminearum*. The results showed that in a certain concentration range, the antifungal effect of the HME on the hyphae growth of four pathogenic fungi was highly significant correlations with concentration. According to the inhibition rate, EC<sub>50</sub> and related parameters, the order of antifungal effect of the HME against four pathogenic fungi was as follows: *R. solani* > *B. cinerea* > *F. graminearum* > *C. gloeosporioides*. Especially, the EC<sub>50</sub> value of the HME against *R. solani* was significantly lower than that of other three fungi. The results showed that the HME of the strain HU2014 had outstanding antifungal activity on *R. solani*, and would be a choice for biocontrol agents.

With the improvement of people's quality of life and the gradual strengthening of environmental awareness, this kind of microbial pesticide would attract attention of the researchers and planters. Therefore, it is necessary to further purify the components and strengthen the pharmacological research on the antifungal effect of the HME of the strain HU2014, increase its value in agricultural production, and create greater economic benefits for human society.

#### References:

1. Adesina, M. F., Lembke, A., Costa, R., Speksnijder, A., & Smalla, K. (2007). Screening of bacterial isolates from various European soils for in vitro antagonistic activity towards *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum*: Site-dependent composition and diversity revealed. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(11), 2818–2828. doi: 10.1016/j.soilbio.2007.06.004
2. Breunig, M., & Chilvers, M. I. (2021). Baseline sensitivity of *Fusarium graminearum* from wheat, corn, dry bean and soybean to pydiflumetofen in Michigan, USA. *Crop Protection*, 140, 6. doi: 10.1016/j.cropro.2020.105419
3. Cha, J. Y., Han, S., Hong, H. J., Cho, H., Kim, D., Kwon, Y., Kwon, S. K., Crusemann, M., Lee, Y. B., Kim, J. F., Giaeveer, G., Nislow, C., Moore, B. S., Thomashow, L. S., Weller, D. M., & Kwak, Y. S. (2016). Microbial and biochemical basis of a *Fusarium* wilt-suppressive soil. *Isme Journal*, 10(1), 119–129. doi: 10.1038/ismej.2015.95
4. Chaouachi, M., Marzouk, T., Jallouli, S., Elkahoui, S., Gentzbittel, L., Ben, C., & Djebali, N. (2021). Activity assessment of tomato endophytic bacteria bioactive compounds for the postharvest biocontrol of *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 172, 18. doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111389
5. Cubeta, M. A., & Vilgalys, R. (1997). Population Biology of the *Rhizoctonia solani* Complex. *Phytopathology*, 87(4), 480–484. doi:10.1094/PHYTO.1997.87.4.480
6. Deacon, J. W., & Berry, L. A. (1993). Biocontrol of soil borne plant pathogens: Concepts and their application. *Pesticide Science*, 37(4), 417–426.
7. Dias, M. P., Bastos, M. S., Xavier, V. B., Cassel, E., Astarita, L. V., & Santarém, E. R. (2017). Plant growth and resistance promoted by *Streptomyces* spp. in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 479–493. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.07.017
8. Grossmann, L., Ebert, S., Hinrichs, J., & Weiss, J. (2018). Effect of precipitation, lyophilization, and organic solvent extraction on preparation of protein-rich powders from the microalgae *Chlorella protothecoides*. *Algal research*, 29, 266–276. doi: 10.1016/j.algal.2017.11.019
9. Hadacek, F., & Greger, H. (2000). Testing of antifungal natural products: methodologies, comparability of results and assay choice. *Phytochemical Analysis*, 11(3), 137–147. doi: 10.1002/(SICI)1099-1565(200005/06)11:3<137::AID-PCA514>3.0.CO;2-I
10. Hu, H. R., Wang, A., Qiu, L. L., Wang, X. B., Chen, M., Lu, A. M., & Yang, C. L. (2020). Novel pyrrolidine-2,4-dione derivatives containing pharmacophores of both hydrazine and diphenyl ether as potential antifungal agents: design, synthesis, biological evaluation, and 3D-QSAR study. *New Journal of Chemistry*, 44(46), 20071–20082. doi: 10.1039/d0nj04551a
11. Hu, M. J., Gao, Z. Y., Zhang, Z. K., Yang, F. Z., & Lia, M. (2013). Resistance of *Botryodiplodia theobromae* to Carbendazim and the Fungicides Screening for Mango Stem End Rot Control. In P. Lu (Ed.), *Ix International Mango Symposium*, 992, 407–414. Leuven 1: Int Soc Horticultural Science.
12. Jiao, J., Chen, M., Sun, S. X., Si, W. J., Wang, X. B., Ding, W. J., Fu, X. C., Wang, A., & Yang, C. L. (2021). Synthesis, Bioactivity Evaluation, 3D-QSAR, and Molecular Docking of Novel Pyrazole-4-carbohydrazides as Potential Fungicides Targeting Succinate Dehydrogenase. *Chinese Journal of Chemistry*, 39(2), 323–329. doi: 10.1002/cjoc.202000438
13. Jiao, R. H., Xu, H., Cui, J. T., Ge, H. M., & Tan, R. X. (2013). Neuraminidase Inhibitors from marine-derived actinomycete *Streptomyces seoulensis*. *Journal of Applied Microbiology*, 114(4), 1046–1053. doi: 10.1111/jam.12136

14. Katz, L., & Baltz, R. H. (2016). Natural product discovery: past, present, and future. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 43(2–3), 155–176. doi: 10.1007/s10295-015-1723-5
15. Li, J. L., Liu, X. Y., Xie, J. T., Di, Y. L., & Zhu, F. X. (2015). A Comparison of Different Estimation Methods for Fungicide EC50 and EC95 Values. *Journal of Phytopathology*, 163(4), 239–244. doi: 10.1111/jph.12312
16. Li, M., Chou, J., King, K. W., Jing, J., Wei, D., & Yang, L. Y. (2015). ICECAP: An Integrated, General-Purpose, Automation-Assisted IC50/EC50 Assay Platform. *Jala*, 20(1), 32–45. doi: 10.1177/2211068214562449
17. Liang, H. J., Li, J. L., Di, Y. L., Zhang, A. S., & Zhu, F. X. (2015). Logarithmic Transformation is Essential for Statistical Analysis of Fungicide EC50 Values. *Journal of Phytopathology*, 163(6), 456–464. doi:10.1111/jph.12342
18. Lu, D., Ma, Z., Xu, X., & Yu, X. (2016). Isolation and identification of biocontrol agent *Streptomyces rimosus* M527 against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *J Basic Microbiol*, 56(8), 929–933. doi: 10.1002/jobm.201500666
19. Macaulay, S. J., Hageman, K. J., Piggott, J. J., & Matthaedi, C. D. (2021). Imidacloprid dominates the combined toxicities of neonicotinoid mixtures to stream mayfly nymphs. *Science of the Total Environment*, 761, 8. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143263
20. McCulloch, M. J., Gauthier, N. W., & Vaillancourt, L. J. (2020). First Report of Bitter Rot of Apple Caused by a *Colletotrichum* sp. in the C. kahawae Clade in Kentucky. *Plant Disease*, 104(1), 289–290. doi: 10.1094/pdis-06-19-1247-pdn
21. Patel, J. K., Madaan, S., & Archana, G. (2018). Antibiotic producing endophytic *Streptomyces* spp. colonize above-ground plant parts and promote shoot growth in multiple healthy and pathogen-challenged cereal crops. *Microbiological Research*, 215, 36–45. doi: 10.1016/j.micres.2018.06.003
22. Peng, D., Li, S. D., Chen, C. J., & Zhou, M. G. (2014). Combined application of *Bacillus subtilis* NJ-18 with fungicides for control of sharp eyespot of wheat. *Biological Control*, 70, 28–34. doi: 10.1016/j.biocontrol.2013.11.013
23. Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., Srivastav, A. L., & Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283, 33. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124657
24. Tarkka, M., & Hampp, R. (2008). Secondary Metabolites of Soil Streptomycetes in Biotic Interactions. In P. Karlovsky (Ed.), *Secondary Metabolites in Soil Ecology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 107–126.
25. Thabard, M., Gros, O., Hellio, C., & Maréchal, J.-P. (2011). Sargassum polyceratium (Phaeophyceae, Fucaceae) surface molecule activity towards fouling organisms and embryonic development of benthic species. 54(2), 147–157. doi: 10.1515/bot.2011.014
26. Tian, Z. K., & Kong, H. F. (2007). Current situation and development trend of biopesticides in China. *Shanxi science and technology*(3), 6–7. doi: 10.3969/j.issn.1004-6429.2007.03.003
27. Viaene, T., Langendries, S., Beirinckx, S., Maes, M., & Goormachtig, S. (2016). *Streptomyces* as a plant's best friend? *FEMS microbiology ecology*, 92(8). doi: 10.1093/femsec/fiw119
28. Wan, M., Li, G., Zhang, J., Jiang, D., & Huang, H.-C. (2008). Effect of volatile substances of *Streptomyces platensis* F-1 on control of plant fungal diseases. *Biological Control*, 46(3), 552–559. doi: 10.1016/j.biocontrol.2008.05.015
29. Wang, F., Yang, S., Wang, Y. S., Zhang, B., Zhang, F., Xue, H., Jiang, Q., & Ma, Y. (2021). Overexpression of Chitinase gene enhances resistance to *Colletotrichum gloeosporioides* and *Alternaria alternata* in apple (*Malus x domestica*). *Scientia Horticulturae*, 277(3), 8. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109779
30. Wei, H. Y., Cai, L. M., Zhao, Y. Y., Zhou, M. C., & Tan, T. Y. (2008). Current Situation of the Microbial Pesticide in China. *Arid Environmental Monitoring*.
31. Wu, Z. M., Yang, Y., & Li, K. T. (2019). Antagonistic activity of a novel antifungalmycin N2 from *Streptomyces* sp. N2 and its biocontrol efficacy against *Rhizoctonia solani*. *Fems Microbiology Letters*, 366(3), 1–8. doi: 10.1093/femsle/fnz018
32. Xu, G.-F., Song, B.-A., Bhadury, P. S., Yang, S., Zhang, P.-Q., Jin, L.-H., Xue, W., Hu, D.-Y., & Lu, P. (2007). Synthesis and antifungal activity of novel s-substituted 6-fluoro-4-alkyl(aryl)thioquinazoline derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 15(11), 3768–3774. doi: 10.1016/j.bmc.2007.03.037
33. Xu, S. Q., Wang, J. H., Wang, H. X., Bao, Y. X., Li, Y. S., Govindaraju, M., Yao, W., Chen, B. S., & Zhang, M. Q. (2019). Molecular characterization of carbendazim resistance of *Fusarium* species complex that causes sugarcane pokkah boeng disease. *Bmc Genomics*, 20, 14. doi: 10.1186/s12864-019-5479-6
34. Yan, Y. K., Cheng, W., Xiao, T. T., Zhang, G. L., Zhang, T. T., Lu, T., & Tang, X. R. (2020). Discovery of Novel 2,4,6-Trisubstituted Pyrimidine Derivatives as Succinate Dehydrogenase Inhibitors. *Chinese Journal of Organic Chemistry*, 40(12), 4237–4248. doi: 10.6023/cjoc202005057
35. Yang, C. J., Gao, Y., Du, K. Y., & Luo, X. Y. (2020). Screening of 17 Chinese medicine plants against phytopathogenic fungi and active component in *Syzygium aromaticum*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(2), 237–244. doi: 10.1007/s41348-019-00285-x

**Чжу Хонксау**, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Хенанський науково-технічний інститут, м. Сінсян, КНР

**Цао Чжишань**, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Хенанський науково-технічний інститут, м. Сінсян, КНР

**Рожкова Тетяна Олександрівна**, кандидат біологічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**Лінфен Ху**, доктор філософії, доцент, Хенанський науково-технічний інститут, м. Сінсян, КНР

**Дослідження протигрибної активності екстракту гіф штаму *Streptomyces HU2014* щодо чотирьох фітопатогенних грибів**

Застосування хімічних пестицидів має багато недоліків, тому необхідні нові природні ресурси для регулювання розвитку хвороб рослин. Актинобактерії набувають інтересу для сільськогосподарства як агенти біологічної боротьби. *Streptomyces* spp. є частиною актинобактерій і відомі продукуванням великої кількості активних метаболітів. У цій роботі методом вимірювання швидкості росту досліджено протигрибну дію метанолового екстракту гіф (МЕГ) штаму *Streptomyces HU2014* на чотири фітопатогенні гриби. Для визначення відповідного



діапазону протигрибної активності було проведено попереднє тестування з різними концентраціями МEG. Результати показали, що ефект інгібування *Rhizoctonia solani* був кращим, ніж трьох інших грибів, і склав 100 % з концентрацією 0,5 мг/мл. На основі вищезазначеного тесту були отримані лінії регресії концентрації Log-пробіту відповідно до швидкості інгібування з різними концентраціями. Значення (50 % -відсоткової ефективної концентрації)  $EC_{50}$  МEG до *R. solani* через 48 годин, 72 години та 96 годин було найнижчим порівняно з іншими грибами. Рівняння регресії токсичності МEG на *R. solani* склало  $y = 6,9826 + 1,4028x$  (коефіцієнт кореляції  $r = 0,9783$ ), а значення  $EC_{50}$  становило 0,0386 мг/мл через 72 години. Рівняння регресії токсичності МEG на *Botrytis cinerea* становило  $y = 5,6627 + 1,2386x$  (коефіцієнт кореляції  $r = 0,9614$ ), а значення  $EC_{50}$  становило 0,2917 мг/мл через 72 години. Рівняння регресії токсичності МEG на *Colletotrichum gloeosporioides* склало  $y = 5,3143 + 1,0873x$  (коефіцієнт кореляції  $r = 0,9996$ ), а значення  $EC_{50}$  становило 0,5140 мг/мл через 72 години. Рівняння регресії токсичності МEG на *Fusarium graminearum* склало  $y = 5,7011 + 2,3280x$  (коефіцієнт кореляції  $r = 0,9869$ ), а значення  $EC_{50}$  становило 0,5024 мг/мл через 72 години. Штам *Streptomyces* HU2014 має значний протигрибний ефект і може стати новим агентом біоконтролю у сільськогосподарському виробництві.

**Ключові слова:** стрептоміцети, фітопатогенні гриби, протигрибна дія,  $EC_{50}$