Видається з 1996 року
Засновник і видавець
Сумський національний аграрний університет
Реєстраційне свідоцтво
КВ № 23688-13528 Р від 21.11.2018 р.

Редакційна колегія серії

Коваленко І. М., д.б.н., професор, головний редактор, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Власенко В. А., д.с.-г.н, професор, заступник головного редактора, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Кирильчук К. С., к.б.н., доцент, відповідальний секретар, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Ліпса Флорин Деніел, к.с.-г.н., доцент, Університет сільського господарства та ветеринарної медицини (Румунія)

Русу Теодор, д.с.-г.н., професор, Університет сільського господарства та ветеринарної медицини (Румунія)

Тунгуз Весна, к.с.-г.н., доцент, Університет Східного Сараєво (Боснія і Герцеговина)

Мен Фаньхуа, к. с.-г.н., головний наковий співробітник, НДІ зернових культур Академії аграрних наук Китаю (КНР)

Сметанська І. М., к.с.-г.н., д.інж.наук, професор, Університет прикладних наук Вайнштефан-Трісдорф (Німеччина)

Кашпар Ян, к.б.н., доцент, Чеський університет природничих наук (Чеська республіка)

Сопотлієва Десіслава, к.б.н., головний науковий співробітник, Інститут досліджень біорізноманіття та екосистем, Болгарська академія наук (Болгарія)

Данилик І. М., д.б.н., ст.н.с., провідний науковий співробітник, Інститут екології Карпат НАН України (Україна)

Дегтярьов В. В., д.с.-г.н., професор, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва (Україна)

Дубина Д. В., д.б.н., професор, головний науковий співробітник, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (Україна)

Жатова Г. О., к.с.-г.н., професор**,** Сумський національний аграрний університет (Україна**)**

Захарченко Е. А., к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Злобін Ю. А., д.б.н., професор, Почесний професор кафедри екології та ботаніки Сумського національного агарного університету, (Україна)

Клименко Г. О., к.б.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Куземко А. А., д.б.н., професор, ст.н.с., Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, відділ геоботаніки і екології (Україна)

Лихолат О. А., д.б.н., ст.н.с., професор, Університет митної справи та фінансів (Україна)

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

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
Виходить 4 рази на рік

Серія "Агрономія і біологія"
Випуск 4 (42), 2020

Кандиба Н. М., Кривошеєва Л. М. Оцінка сортів льону-довгунця за стійкістю до вилягання на ранніх етапах онтогенезу 3

Лозінський М. В., Устинова Г. Л., Ображій С. В. Успадкування і формотворення за кількістю колосків від гібридизації різних за тривалістю вегетаційного періоду сортів пшениці 9

Шерстюк М. Ю. Стан рослин та популяцій *Trientalis europaea* L. у лісових фітоценозах Лівобережної України 17

Ярощук Р. М., Захарченко Е. А., Коваленко І. М., Ярощук С. І., Клименко Г. О. Структурно-агрегатний склад грунту під різними сидератми у міжряддях *Ginkgo biloba* L. 23

Han Yafeng, Wang Xinfa, Onychko Viktor, Zubko Vladislav, Li Guohou Recognition and location of crop seedlings based on image processing 33

Li Fang, Dubovyk Volodymyr, Liu Runqiang Research process of rapid pesticide residues determination in vegetables and fruits 40

Tao Ye, Vlasenko Volodymyr, Osmachko Olena, Bakumenko Olha Research status and prospect of genes related with resistance to powdery mildew of wheat 49

Zakharchenko Elina, Tunguz Vesna Effect of ammonium sulfate and phosphogypsum application on nutrients dynamics and acidity of black soil 61

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)
Подгаєцький 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» в галузі сільськогосподарських та біологічних наук (наказ МОН України від 24.09.2020 р. № 1188)

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

Матеріали журналу знаходяться у вільному доступі на сайті https://snau.edu.ua

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 № 7 від 25.12.2020 р.)

Адреса видавця та виготовлювача:
40021, м. Суми, вул. Г. Кондратьєва, 160
Телефон: (0542)70-10-42
E-mail: visnyk.snau@gmail.com
https://snau.edu.ua

Тираж 300 пр.
Зам. № 12.

© Сумський національний аграрний університет, 2020

УДК: 631.52:677.1:633.521

ОЦІНКА СОРТІВ ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ ЗА СТІЙКІСТЮ ДО ВИЛЯГАННЯ НА РАННІХ ЕТАПАХ ОНТОГЕНЕЗУ

Кандиба Наталія Миколаївна
кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-6548-3670
natnik08@meta.ua

Кривошеєва Лариса Михайлівна
кандидат сільськогосподарських наук., старший науковий співробітник
Інститут луб'яних культур НААН України, м. Глухів, Україна
ORCID: 0000-0001-6688-6930
krivosheeva_l_m@ukr.net

В статті проведено аналіз літературних джерел та наведені результати трирічних досліджень щодо проблеми схильності сортів льону-довгунця до їх вилягання, яке спостерігається на різних етапах онтогенезу. Показано, що вилягання рослин негативно впливає на формування морфологічних ознак льону і що невилягаючі сорти відрізняються більш низьким вмістом лігніну в стеблі у період інтенсивного росту та бутонізації, що призводить до суттєвого зменшення насіннєвої продуктивності рослин та посівних кондицій насіння. Показано, що підвищення стійкості до вилягання стебла льону має самостійне значення у селекції, але поряд із цим відчувається вплив не тільки ґрунтово-кліматичних умов вирощування, але і внесок у мінливість ознаки генетичних особливостей сорту. При аналізі корелятивних взаємозв'язків між господарсько-цінними ознаками льону-довгунця встановлено, що стійкі до вилягання форми з підвищеним діаметром стебла схильні до пізньостиглості, а з погляду збільшення вмісту волокна для селекції більш придатні тонкостеблові форми, які мають знижену стійкість до вилягання. Визначено високі коефіцієнти позитивної кореляції (r = 0,74–0,91) між стійкістю до вилягання і кількістю листків на стеблі. Але ці кореляції не є загальними і їх рівень залежить лише від специфіки експериментальних вибірок. Проаналізовано патентний пошук методів оцінки стійкості до вилягання на ранніх етапах селекції, які було умовно поділено на чотири групи. Описано погодні умови, матеріали та методи проведення досліджень. У ході лабораторних дослідів проведено аналіз групи морфологічних ознак рослин: загальну висоту рослини; довжину кореневої системи, першого міжвузля і підсімядольного коліна; масу підсімядольного коліна і кореневої системи. Проведені дослідження щодо визначення стійкості до вилягання сортів льону-довгунця з різним рівнем прояву даної ознаки льону-довгунця проведені на 20-ту добу після повних сходів. Використано шість сортів льону-довгунця різного еколого-географічного походження та різних груп стійкості до вилягання.

Встановлено, що у сортів льону-довгунця з різним ступенем стійкості до вилягання на ранніх етапах онтогенезу змінюється прояв морфологічних ознак у напрямку збільшення показників довжини першого міжвузля і підсім'ядольного коліна та зменшується загальна висота рослин, порівняно з нестійкими сортами у результаті реакції на зменшення освітлення. Визначено відсутність жодної чіткої закономірності між ступенем стійкості сортів льону-довгунця та зменшенням маси підсім'ядольного коліна при затіненні. Показано, що затінення рослин льону-довгунця при проведені досліджень негативно впливає на довжину кореневої системи на ранніх стадіях онтогенезу.

Ключові слова: *сорти льону-довгунця,стійкість до вилягання, методи стійкості до вилягання, морфологічні ознаки, затінення, освітлення, онтогенез.*

DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.1

Вступ. Стебло льону-довгунця є основною продуктивною частиною рослини, яка містить волокно. Стебло льону-довгунця представляє собою складний комплекс просторово, структурно та функціонально диференційованих тканин, а формування волокнистого пучка є результатом життєдіяльності листкового апарату (Aleksandrova, & Marchenkov, 1994; Maggit, 1932; Maggit, 1948; Aleksandrov & Abesadze, 1932; Avirom, 1932; Aleksandrov, 1966; Afonin & Prygun, 1978).

Одним із недоліків багатьох сортів льону-довгунця є схильність їх до вилягання, яке найчастіше проявляється у період цвітіння–дозрівання рослин. Вилягання негативно впливає на формування морфологічних і господарських ознак льону. Встановлено, що невилягаючі сорти відрізняються більш низьким вмістом лігніну в стеблі у період інтенсивного росту та бутонізації. В подальшому кількість лігніну досягає рівня вилягаючого сорту або навіть перевищує його. Сорти, стійкі до вилягання, відрізняються також більш високим середньодобовим приростом вмісту целюлози у період від цвітіння до повної стиглості й здатні синтезувати значно більше речовин, що гальмують ріст (Tihvinskij, 1968). Темпи формування волокна у різних сортів протягом вегетації неоднакові. У більш скоростиглих сортів збільшення кількості елементарних волокон на поперечному зрізі стебел від фази бутонізації до фази цвітіння виражено більшою мірою (Kuznecova, 1976).

Крім зменшення кількості та зниження якості волокна, вилягання рослин льону-довгунця призводить до суттєвого зменшення насіннєвої продуктивності рослин і посівних кондицій насіння (Dynnyk, 2004). Безумовно, що підвищення стійкості до вилягання стебла льону має самостійне значення у селекції, але поряд із цим може відчуватися вплив ґрунтово-кліматичних умов вирощування (Zhuchenko & Rozhmina, 2000). Однак вирішальний внесок у мінливість ознаки вносять генетичні особливості сорту (Menoux, 1982).

Аналіз корелятивних взаємозв'язків між господарсько-цінними ознаками льону-довгунця є необхідною умовою

вирішення двох проблем селекції – сполучення кількох ознак у межах одного генотипу та розкладення складних ознак на елементи, які більшою мірою піддаються ефективній дії добору. Встановлено суттєві позитивні кореляції між висотою рослини та довжиною і масою технічної частини стебла, а також між діаметром та масою стебла (Singh. & Singh, 1979; Baker et al., 1972; Saharan & Singh, 1987; Rosenberg, 1980). Однак, стійкі до вилягання форми із підвищеним діаметром стебла схильні до пізньостиглості (Singh et al., 1981; Rogash, 1963), а з погляду збільшення вмісту волокна для селекції більш придатні тонкостеблові форми, які мають знижену стійкість до вилягання. Визначено високі коефіцієнти позитивної кореляції (r = 0,74–0,91) між стійкістю до вилягання і кількістю листків на стеблі. Однак, ці кореляції не є загальними і їх рівень залежить від специфіки експериментальних вибірок (Deucet.,1978; Murty et al., 1967).

Найбільш ефективним заходом у боротьбі з виляганням льону є створення і впровадження у виробництво високопродуктивних сортів, стійких до вилягання (Solin, 1996; Frankel, 1977; Franken, 1993; Green & Dribnenki, 1995; Harlan, 1970; Pavelek, 1997, 1998, 2001; Rosenberg, 1993; Rutkowska-Krause et al., 2001). Але, незважаючи на значну кількість досліджень льону-довгунця у цьому напрямку, отримані результати розрізнені й часто суперечливі (Allard & Hansche, 1964; Chandra, 1977; Dehmer & Frense, 2001).

Відомо, що за проведеним патентним пошуком методів оцінки стійкості до вилягання на ранніх етапах селекції було знайдено близько 20-ти методів, які умовно було поділено на чотири групи: методи стійкості до вилягання у 20-ту добу розвитку; методи стійкості до вилягання у фазу цвітіння; методи стійкості до вилягання перед збиранням тощо.

Серед вищевказаних методів розроблено способи добору стійких до вилягання форм льону-довгунця шляхом визначення маси 10-сантиметрового відрізка стебла вище сім'ядоль у період ранньої жовтої стиглості та добору стійких до вилягання рослин льону-довгунця за коефіцієнтом кореляції між загальною висотою рослини і її діаметром. Внаслідок цього було визначено, що чим більша маса 10-сантиметрового відрізка, тим рослина більш стійка до вилягання, а також, чим вищий коефіцієнт кореляції між ознаками, тим вища її стійкість до вилягання (Mironova,1982). Добір стійких до вилягання зразків льону-довгунця базується на анатомічній будові ксилеми стебла: чим більший шар, тим вища стійкість рослини до вилягання (Aleksandrova, 1979). Було запропоновано методику оцінки селекційного матеріалу за стійкістю до вилягання за ступенем зігнутості прикореневої частини стебла у період цвітіння–дозрівання (Mironova & Afonin, 1984), а також добір стійких до вилягання сортів за співвідношенням довжини і діаметра елементарного волокна – чим менше співвідношення, тим рослина є більш стійкою до вилягання (Rogash, 1966).

Підвищення стійкості до вилягання стебла льону має самостійне значення у селекції, що пов'язане не тільки із впливом ґрунтово-кліматичних умов вирощування (Menoux, 1982), а й з генетичними особливостями сорту. Невирішеність цієї проблеми суттєво позначається на результативності створення нових сортів льону-довгунця та їх використання у селекції. Отже, дослідження морфологічних ознак рослин, у тому числі на ранніх етапах онтогенезу, з метою виявлення особливостей стійкості до вилягання, є актуальним у селекції льону-довгунця, що стало метою наших досліджень.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили протягом 2017–2019 рр. на експериментальній базі Інституту луб'яних культур НААН України, що знаходиться у 6 км. від м. Глухова Сумської області. Заливні ділянки та водні об'єкти поблизу дослідних полів відсутні, ґрунтові води залягають на глибині 15–18 м. Ґрунти темно-сірі опідзолені легкосуглинкові. За даними Глухівської агрометеостанції період проведення досліджень відрізнявся контрастними режимами вегетації льону-довгунця (табл. 1).

Погодні умови проведення досліджень у цілому були сприятливими для вирощування культури. Температура повітря за всі роки вивчення переважала середньобагаторічні показники на протязі всього вегетаційного періоду на 0,2–2,3 ºС, кількість опадів була різною за роками та за розподілом вологи упродовж періоду травень–серпень. З 2017 по 2019 рр. за весняно-літній період кількість опадів була меншою на 20,2–60,7 %, порівняно з багаторічними показниками. Але це не завадило отримати своєчасні повноцінні сходи рослин льону. Сприятливими виявилися погодні умови у період швидкого росту та цвітіння льону, що дало змогу сформувати високий урожай соломи, волокна і насіння.

Таблиця 1

Метеорологічні умови проведення досліджень (2017–2019 рр.)

Рік	Місяць				За вегетаційний період
	травень	червень	липень	серпень	
Температура повітря (^{0}C)					
2017	13,4	17,2	18,6	20,6	17,4
2018	17,3	18,6	20,3	20,2	19,1
2019	21,5	17,8	18,4	13,5	17,8
Середня багаторічна	14,2	17,2	18,3	17,5	16,8
Опади (мм)					
2017	43,9	49,6	64,5	19,5	177,0
2018	22,4	35,1	50,3	0,8	108,6
2019	56,3	102,2	52,5	9,9	220,9
Середня багаторічна	58,0	75,0	88,0	56,0	277,0
Відносна вологість повітря (%)					
2017	60,7	66,3	72,7	69,3	67,2
2018	59,2	60,3	74,3	61,7	63,9
2019	66,3	72,0	68,0	69,0	68,8
Середня багаторічна	82	63	74	72	72,7

Температура повітря за вегетаційний період 2017 р. у середньому була вищою, порівняно з середньобагаторічними даними на 0,8 °С. Кількість опадів при цьому становила 187,5 мм, що на 32,3 % менше норми. Середня місячна температура у травні становила + 13,4 °С, що на 0,8 °С нижче за норму і на 3,2 °С нижче аналогічного періоду минулого року. Сума ефективних температур вище + 5 °С накопичених до кінця місяця складала 382,5°С, що на 2,5 °С нижче за норму і на 68,1 °С менше відповідного показника минулого року. Мінімальна температура на початку другої декади знижувалася до – 0,5 °С морозу. За місяць зареєстровано три випадки із заморозками у повітрі та на поверхні ґрунту. Опадів за місяць випало 43,9 мм, що становить 76 % до норми. Незважаючи на те, що посів колекційних розсадників льону проведений в оптимальні строки (30 квітня), сходи були одержані у два етапи. 40–50 % сходів з'явилися на 8-й день після посіву. Повні сходи було відмічено 16 травня.

У червні і липні температурні показники були на рівні багаторічних даних + 17,2 і + 18,6 °С. Кількість опадів у цей період становила відповідно 66,1 і 73,2 % до норми. Такі погодні умови дозволили отримати добрий урожай насіння та волокна льону. Середній показник температури повітря за вегетаційний період 2018 року був вищим, порівняно з 2017 р., на 1,6 °С та середньо-багаторічними даними на 2,3 °С. Кількість опадів при цьому становила 108,6 мм, що становить 49,1 % від норми. Середня місячна температура у травні становила + 17,3 °С тепла, що на 3,1 °С вище за норму і на 3,9 °С нижче аналогічного періоду минулого року. Особливо жарким був початок місяця. Температура повітря перевищувала + 30 °С. Опадів за місяць випало 22,4 мм, що становить 38,6 % до норми. У червні і липні температурні показники були вищими за багаторічні дані на 1,4 і 2,0 °С. Кількість опадів у цей період становила відповідно, 46,1 і 57,2 % до норми. Середній показник температури повітря за вегетаційний період 2019 р. льону-довгунця був нижчим, порівняно з 2018 р. на 0,7 °С, але вищим за середньо-багаторічні показники 1,6 °С. Кількість опадів при цьому становила 220,9 мм, що становить 79,7 % від норми. Середня місячна температура у травні становила + 16,2 °С тепла, що на 2,0 °С нижче багаторічних показників. Опадів за місяць випало 56,3 мм, що близько до норми (58,0 мм). Посів здійснили 12 травня та отримати дружні сходи 18 травня.

Незважаючи на те, що у червні температурні показники були вищими, ніж у 2018 році на 2,9 °С і це становило на 4,3 °С більше багаторічних показників, кількість опадів у цей період була утричі більше, ніж за минулий рік та, порівняно з багаторічними показниками, на 36,3 %. За даних умов рослини льону-довгунця було отримано високий стеблостій, що дозволило отримати високий урожай насіння та волокна льону. Отже, погодні умови, що склалися у роки проведення досліджень цілком характерні для зони північно-східного Полісся та відображають нестабільність гідротермічних режимів у період вегетації льону-довгунця у цій зоні.

Випробування експериментального матеріалу даних досліджень протягом трьох років у контрастних погодних умовах дозволило об'єктивно оцінити реакції сортів льону-довгунця на ці умови. Вихідним матеріалом для проведення досліджень слугували шість сортів льону-довгунця різного еколого-географічного походження, які було відібрано із колекційних фондів Інституту луб'яних культур НААН України. Ці сорти було піддано трирічному випробуванню за сукупністю ознак: загальна висота рослини; довжина кореневої системи, підсім'ядольного коліна, першого міжвузля та маса кореневої системи і підсім'ядольного коліна.

Для виконання поставлених задач закладали один тип розсадника на на стаціонарних полях селекційно-насінницької сівозміни Інституту луб'яних культур НААН України. Попередником льону-довгунця була озима пшениця після багаторічних трав. Основний обробіток ґрунту проводили за типом напівпару; лущіння стерні, оранка на глибину 22–25 см і дві культивації по мірі проростання бур'янів на глибину 8–10 та 5–6 см Мінеральні добрива вносили під першу культивацію із розрахунку $P_{60}K_{60}$ кг діючої речовини на га. Передпосівний обробіток ґрунту складався із культивації та боронування. Азотні добрива вносили під передпосівну культивацію у дозі 20 кг діючої речовини на гектар.

Розсадники розташовували на грядках шириною 1 м та довжиною 20 м. З метою найкращого освітлення рядки орієнтували з півночі на південь. Посів проводили в оптимальні для кожного року строки. Застосовували лунковий спосіб посіву з площею живлення рослини 2,5 х 5,0 см. При появі повних сходів проводили кількісний облік рослин, що зійшли. За відсутності рослин у гніздах відразу проводили їх підсів і підсіяні гнізда відмічали кілочками. Рослини із цих гнізд при збиранні вибраковувалися. Догляд за посівами у період вегетації здійснювали згідно методичних вказівок щодо селекції льону-довгунця (Loginov et al., 2010).

Дослідження рослин із визначення стійкості до вилягання сортів льону-довгунця з різним рівнем прояву даної ознаки проводили на 20-ту добу розвитку після повних сходів. Використовували групи сортів: Журавка, Київський 2 (Україна) – не стійкі до вилягання; Гладіатор (Україна), Merylin (Нідерланди) – середньостійкі до вилягання; Melina, Drakkar (Франція) – стійкі до вилягання.

Частина рослин льону-довгунця була затемнена марлею для зниження освітлення на 50 % у початковий період росту стебла, а не затінені рослини було взято за контроль. В ході лабораторних дослідів проводили аналіз групи морфологічних ознак рослин, серед яких: загальна висота рослин; довжина: кореневої системи та першого міжвузля, підсімядольного коліна, а також маса підсімядольного коліна і кореневої системи. Отримані експериментальні дані піддавали статистичній обробці з використанням загальноприйнятих методів статистичного аналізу.

Результати. Аналіз результатів досліджень показав, що загальна висота рослин у групі не стійких до вилягання сортів була більшою на 3,1 см, порівняно з контролем (у середньому 23,4 см.). Група середньостійких сортів перевищила контрольні показники (20,4 см) на 2,8 см. У групі рослин стійких сортів спостерігалася найменша різниця за даною ознакою, порівняно з контролем (19,7 см) і становила 0,7 см (табл. 2–4).

Затінення рослин льону-довгунця негативно впливає на довжину кореневої системи і даний показник у не стійких та середньостійких до вилягання сортів при затіненні становив у середньому 5,6 см, а у групі стійких до вилягання сортів – 5,0 см. Порівнянніо з контролем, у нестійких до вилягання сортів довжина кореня зменшилася на 0,7 см, у середньостійких і стійких сортів – на 1,3 см. Середні показники маси кореневої системи приблизно однакові у стійких і середньостійких

сортів льону-довгунця у досліджуваних варіантах – 0,07 г та контрольних – 0,03 г та дещо вищі, ніж у нестійких сортів, відповідно, 0,06 і 0,02 г. Отже, затінення рослин призвело до зменшення маси кореневої системи в усіх варіантах досліду на 0,04 г, незалежно від групи стійкості сортів.

Таблиця 2

Характеристика морфологічних ознак рослин нестійких до вилягання сортів льону-довгунця (2017–2019 рр.)

Ознака	Журавка					Київський 2				
	Контроль		Затінення		НІР	Контроль		Затінення		НІР
	X ± Sx	V, %	X	V, %		X ± Sx	V,%	X	V, %	
Загальна висота рослин, см	22,30 ± 1,97	13,9	25,8 ± 3,23	9,9	4,44	24,50 ± 1,83	13,1	27,3 ± 1,98	13,0	4,52
Довжина кореневої системи, см	6,10 ± 1,04	24,2	5,5 ± 1,11	24,9	4,31	6,60 ± 0,98	24,8	5,7 ± 0,93	23,4	4,74
Довжина 1-го міжвузля, см	1,80 ± 0,33	29,5	2,8 ± 0,62	38,0	2,41	2,03 ± 0,43	26,4	2,8 ± 0,50	44,6	2,29
Довжина підсімядольногоколіна,см	1,35 ± 0,28	28,5	1,56 ± 0,37	31,4	1,07	1,58 ± 0,14	17,4	2,03 ± 0,29	19,2	1,21
Маса підсімядольного коліна, г	0,03 ± 0,01	36,4	0,02 ± 0,04	48,3	0,02	0,03 ± 0,01	37,6	0,02 ± 0,01	31,0	0,2
Маса кореневої системи, г	0,05 ± 0,01	36,7	0,05 ± 0,01	56,2	0,02	0,08 ± 0,03	32,7	0,01 ± 0,04	44,0	0,04

Таблиця 3

Характеристика морфологічних ознак рослин середньостійких до вилягання сортів льону-довгунця (2017–2019 рр.)

Ознака	Гладіатор					Merylin				
	Контроль		Затінення		НІР	Контроль		Затінення		НІР
	X ± Sx	V, %	X	V, %		X ± Sx	V, %	X	V, %	
Загальна висота рослин, см	20,80 ± 3,11	12,9	22,80 ± 1,86	11,9	5,08	20,00 ± 2,35	10,2	23,60 ± 1,57	9,9	4,94
Довжина кореневої системи, см	6,00 ± 0,94	22,8	5,30 ± 1,13	24,8	4,43	7,90 ± 1,00	16,7	6,00 ± 0,99	23,2	4,34
Довжина 1-го міжвузля,см	1,80 ± 0,25	33,2	2,40 ± 0,66	37,6	2,15	1,69 ± 0,26	38,2	3,10 ± 0,32	18,5	2,13
Довжина підсімядольного коліна,см	0,79 ± 0,18	25,2	1,34 ± 0,25	26,6	0,77	1,31 ± 0,21	20,8	1,70 ± 0,34	24,9	1,07
Маса підсімядольного коліна, г	0,03 ± 0,01	57,0	0,01 ± 0,005	75,5	0,02	0,03 ± 0,01	37,5	0,01 ± 0,009	81,8	0,02
Маса кореневої системи, г	0,05 ± 0,02	40,1	0,02 ± 0,008	84,5	0,02	0,09 ± 0,007	34,4	0,04 ± 0,01	48,5	0,04

Таблиця 4

Характеристика морфологічних ознак рослин стійких до вилягання сортів льону-довгунця (2017–2019 рр.)

Ознака	Melina					Drakkar				
	Контроль		Затінення		НІР	Контроль		Затінення		НІР
	X ± Sx	V, %	X	V, %		X ± Sx	V, %	X	V, %	
Загальна висота рослин, см	21,60 ± 2,26	15,3	22,50 ± 2,55	17,0	5,25	17,90 ± 1,78	21,1	18,50 ± 2,14	25,1	5,15
Довжина кореневої системи, см	6,40 ± 0,81	23,5	4,70 ± 0,8	21,9	5,23	6,20 ± 1,18	27,9	5,40±1, 23	29,4	4,74
Довжина 1-го міжвузля, см	1,36 ± 0,38	40,8	2,50 ± 0,65	45,9	1,99	1,33 ± 0,17	53,8	2,60 ± 0,75	38,6	2,87
Довжина підсімядольного-коліна,см	1,21 ± 0,16	22,3	1,77 ± 0,34	27,5	0,82	2,12 ± 0,50	35,7	2,63±0, 37	22,2	1,35
Маса підсімядольного коліна, г	0,04 ± 0,01	32,3	0,02 ± 0,01	42,2	0,02	0,04 ± 0,01	35,6	0,03 ± 0,01	27,5	0,1
Маса кореневої системи, г	0,07 ± 0,03	39,7	0,03 ± 0,01	72,3	0,05	0,06 ± 0,02	38,7	0,03±0, 01	54,9	0,03

Обговорення. При зменшенні освітлення рослин чіткої різниці за довжиною першого міжвузля між досліджуваними варіантами не спостерігалося і становило 2,6–2,8 см. Щодо контрольних варіантів, найбільший прояв ознаки спостерігався у групі нестійких сортів – 1,93 см, найменше у середньостійких – 1,43 см. У групі стійких до вилягання сортів даний показник становив 1,56 см. Найменший приріст, порівняно з контролем, спостерігався у нестійких сортів льону-довгунця – 0,87 см, а найбільший – у середньостійких сортів – 1,27 см. Стійкі та середньостійкі до вилягання сорти характеризувалися більшими показниками довжини підсім'ядольного коліна як у досліджуваних варіантах – 2,20 і

1,53 см, так і у контролі – 1,66 і 1,05 см, порівняно з нестійкими сортами 1,79 і 1,46 см. Довжина підсім'ядольного коліна збільшувалася у всіх групах стійкості до вилягання при затіненні, порівняно з контролем на 0,33–0,54 см, та спостерігалася закономірність щодо збільшення довжини підсім'ядольного коліна при підвищенні стійкості сортів льону-довгунця.

У всіх досліджуваних групах сортів маса підсім'ядольного коліна зменшувалася при затіненні, порівняно з контролем на 0,01–0,02 г. За три роки досліджень не виявлено жодної чіткої закономірності між ступенем стійкості сортів льону-довгунця та зменшенням маси підсім'ядольного коліна при затіненні.

Висновки. Встановлено, що сорти льону-довгунця з різним ступенем стійкості до вилягання на ранніх етапах розвитку неоднаково реагують на зменшення освітлення. Слід визнати, що у стійких та середньостійких сортів збільшуються показники довжини першого міжвузля, довжина підсім'ядольного коліна та зменшується загальна висота рослин, порівняно з нестійкими сортами. Основним висновком з результатів досліджень є експериментальний доказ можливості досягнення оптимальних сукупностей морфологічних ознак при селекції льону-довгунця для підвищення стійкості до вилягання.

Бібліографічні посилання:

1. Aleksandrova, T. A., & Marchenkov, A. N. (1994). Rezul'taty i perspektivy selekcii l'na-dolgunca [Results and prosprcts of fiber flax breeding]. Selekcija, semenovodstvo, vozdelyvanie i pervichnaja obrabotka l'na-dolgunca, 28–29, VNIIL, Torzhok, 34–37 (in Russian).

2. Maggit, M. (1932). Jetjud po sravnitel'noj anatomii lubjanyh rastenij [Stude on the comparative anatomy of bast plants]. Trudy instituta novogo lubjanogo syr'ja, II(1), 62–64 (in Russian).

3. Maggit, M. (1948). Osnovy tehnicheskoj anatomii lubjanyh kul'tur [Fundamentals of the technical anatomy of bast cultures]. Legkaja promyshlennost', Moskva, 80 (in Russian).

4. Aleksandrov, V. G., & Abesadze, K. Ju. (1932). Principy stroenija steblja nekotoryh travjanistyh lubovoloknistih tekstil'nyh rastenij i metody ego izuchenija [The principles of the structure of the stem of some herbaceous bast-fiber textile plants and methods of its study]. Tr. po prikladnoj botanike, genetike i selekcii, 3(2), Leningrad, 122–135 (in Russian).

5. Avirom, S. M. (1932). Metody issledovanija jelementarnogo volokna lubjanyh rastenij [Methods for studying the elemental fiber of bast plants]. Izvestija tekstil'noj promyshlennosti, 12, 18–23 (in Russian).

6. Aleksandrov, V. G. (1966). Anatomija rastenij [Plant anatomy]. Vysshaja shkola, Moskva, 431 (in Russian).

7. Afonin, M. I., & Prygun, V. K. (1978). K voprosu o svjazi anatomicheskogo stroenija steblja l'na s kachestvom volokna [To the question of the relationship between the anatomical structure of the flax stem and the quality of the fiber]. Zemledelie i rastenievodstvo v BSSR. Uradzhaj, Minsk, 22, 165–173 (in Russian).

8. Tihvinskij, S. F. (1968). Vlijanie razlichnyh faktorov na anatomicheskoe stroenie l'na-dolgunca v svjazi s soderzhaniem i kachestvom volokna [Influence of varoous factors on the anatomical structure of fiber flax in connection with the content and quality of fiber]. Avtoref. dis...kand. s.-h. nauk, Leninigrad, 31 (in Russian).

9. Kuznecova, N. V. (1976). Biohimicheskaja harakteristika sortov l'na-dolgunca razlichnogo geograficheskogo proishozhdenija [Biochemical characteristics of the fiber flax verieties of different geographic origin]. Avtoref. dis. ...kand. b. nauk. L., 26 (in Russian).

10. Dynnyk, O. V. (2004). Udoskonalennja metodyky ocinky stijkosti l'onu-dovguncja do vyljagannja.Biologija, zbyrannja ta pervynna pererobka l'onu i konopel'.V. 3. Gluhiv, ILK, 47–53 (in Ukrainian).

11. Zhuchenko, A. A. ml., & Rozhmina, T. A. (2000). Izuchenie geneticheskih resursov l'na po hozjajstvenno-poleznym priznakam. Mobilizacija geneticheskih resursov l'na. Starica, 224 (in Russian).

12. Singh, K. P., Singh, H. & TheInd, G. (1979). Journ. Of Agric Sci., 49(8), 573–578.

13. Baker, R. J., Pesek, J. Mc.,& Kenzie, R. I. H. (1972). Crop Science, 12(1), 84–86.

14. Saharan, G. S., & Singh, B. M. (1987). Phyt.2., 118(1), 27–31.

15. Rosenberg, L. (1980). Len a conopi, 18, 67–73.

16. Singh, N., Singh, S. P., & Singh,.B. (1981). Ind. J. Agr. Sci., 51(12), 853–856.

17. Rogash, A. R. (1963). Botanicheskaja harakteristika i biologicheskie osobennosti l'na [Botanical characteristics and biological characteristics of flax].Selekcija i semenovodstvo l'na-dolgunca. M.: Iz-vo s-h lit-ry, zhurn. i p-tov, 5–26 (in Russian).

18. Deucet, H. (1978). Probl. genet. theor. siapl.,10(6), 597–609.

19. Murty, B.R., Arunachalam, V., & Anand, I. J. (1967). Diallel and partial diallel analysis of some yield factors in *Linum usitatissimum*. Heredity, 1, 35–41.

20. Solin, D. R. (1996). The Newest Crop. Flax council of Kanada, 119–129.

21. Frankel, O. H. (1977). Genetic resources. Ann. N.Y. Acad. Sci., 287, 332–344.

22. Franken, S. (1993). Quality of flax fibres. Ill-d European Regional Worhshop on Flax.

23. Green, A. G., & Dribnenki, J.C.P. (1995). Breeding and development of Linola. Breeding for fiber and oil quality in flax. France, 145–150.

24. Harlan, J.R. (1970). Genetic resources in plants. Oxford-Edinburgh,19.

25. Pavelek, M. (1997). FAO Flax Breeding Research Croup WG 1: International flax data base - discussion for IFDB standard varieties. Euroflax News-letter, 1, 17–20.

26. Pavelek, M. (1998). Analysis of current state of International flax database. Breeding Molecular Biology and Biotechnology Beyond T Century. St. Peterburg, Russia, 36–45.

27. Pavelek, M. (2001). Status of the Czech national flax collection and management of the International Flax Data Base within

the framework of the FAO / ESCORENA Flax and other Bast Plants Network. Flax Genetic resources in Europe. Czech Republic, 25–31.

28. Rosenberg, L. (1993). Report of flax genetic resources. Workshop II European cooperative Network on flax, 12.

29. Rutkowska-Krause, I, Kozlowski, R, & Silska, G. (2001). The flax and hemp collection of the Institute of National Fibres, Poland. Flax Genetic resources in Europe.Czech Republic, 49–54.

30. Allard, R. W., & Hansche, P. E. (1964). Some parameters of population variability and their implications in plant breeding. Advances in agronomy. N.-Y., London, 16, 281–325.

31. Chandra, S. (1977). Use of index selection metod in improvement of yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Genet. agr., 31(2), 87–98.

32. Dehmer, K., & Frense, L. (2001). Status report on the Linum collections in German genebanks. Flax Genetic resources in Europe. Czech Republic, 32–39.

33. Mironova, E. D. (1982). Ocenka sortov l'na-dolgunca na ustojchivost' k poleganiju na rannih jetapah selekcii [Evaluation of fiber flax varieties for lodging resistance in the early stages of breeding]. Sbornik nauchnyh trudov. Bel. NIIZ. Minsk, 3. 40–50 (in Russian).

34. Aleksandrova, T. A. (1979) Metody ocenki selekcionnogo materiala l'na-dolgunca na ustojchivost' k poleganiju [Methods for assessing fiber breeding material for lodging resistance]. Doklady VASHNIL, 5, 16–17 (in Russian).

35. Mironova, E. D., & Afonin, M. I. (1984). Sposob otbora ustojchivyh k poleganiju rastenij l'na-dolgunca [Method for selection of fiber flax plants resistant to lodging]. Opisanie izobretenija k avtors'komu svidetel'stvu 11104421A. Bjulletenm, 32 (in Russian).

36. Rogash, Ju. I. (1966). Metodika ocenki rastenij po ustojchivosti k poleganiju na pervyh jetapah selekcii l'na-dolgunca [Methodologe for assessing plants for lodging resistance at the first stages of fiber flax breeding]. Avtoreferat disertacii na soisk. Stepeni kand s.-h. nauk, Leningrad, 21 (in Russian).

37. Menoux, Y. (1982). Risistange a la verse du lin textile: influenge du milieu et criteres dt selection proposes Agronomic, 2, 173–179.

38. Loginov, M. I., Dynnyk, V. P., Koval'ov, V. B., Kandyba, N. M., Chuchvaga, V. I., Kryvoshejeva, L. M., Sytnyk, V. P., & Slisarchuk, M. V. (2010). Metodychni rekomendacii': Selekcija ta pervynne nasinnyctvo l'onu-dovguncja [Methodical recommendations: Selection and primary seed production of flax]. RVV: GNPU, Gluhiv, 50 (in Ukrainian).

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

Kryvosheeva L. M.,*PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Institute of bast crops of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Glukhov, Ukraine*

EVALUATION OF FIBER-FLAX VARIETIES FOR RESISTANCE TO LODGING IN THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS.

The article analyzes the literature and presents the results of three-year studies of the problem of susceptibility of fiber - flax to their lodging, which is observed at different stages of ontogenesis. It is shown that the lodging of plants negatively affects the formation of morphological characteristics of flax, and unstable varieties have a lower content of lignin in the stem during intensive growth and budding, which leads to a significant reduction in seed productivity and sowing conditions. It is shown that increasing the resistance to lodging of flax stalks has an independent significance in breeding, but along with this there is an influence not only of soil and climatic conditions of cultivation, but also a contribution to the variability of genetic characteristics of the variety.In the analysis of correlations between economically valuable traits of flax, it was found that resistant to lodging forms with increased stem diameter are prone to late ripening, and in terms of increasing the fiber content for breeding more suitable thin-stemmed forms with reduced lodging resistance. High coefficients of positive correlation (r = 0.74–0.91) between resistance to lodging and the number of leaves on the stem were determined. But these correlations are not general, and their level depends only on the characteristics of experimental samples. The patent search for methods for assessing resistance to lodging in the early stages of selection, which was conditionally divided into four groups, is analyzed. Weather conditions, materials and research methods are described. In the course of laboratory experiments the analysis of group of morphological signs of plants is carried out: the general height of a plant; length of the root system, the first internode and subcotyledonary knee; mass of the subcotyledonary knee and root system. Studies to determine the resistance to lodging of varieties of fiber-flax with different levels of manifestation of this feature of long flax were conducted on the 20-th day after full germination. Six varieties of long flax of different ecological and geographical origin and different groups of resistance to lodging were used.

It was found that in flax varieties with different degrees of resistance to lodging in the early stages of ontogenesis changes the manifestation of morphological features in the direction of increasing the length of the first internode and subcotyledonary knee and decreases the overall plant height compared to unstable varieties as a result of response to change. There is no clear pattern between the degree of stability of varieties fiber – flax and the decrease in the mass of the subcotyledonary knee during shading. It is shown that shading of flax plants during research has a negative effect on the length of the root system in the early stages of ontogenesis.

Key words: *varieties of fiber-flax, resistance to lodging, methods of resistance to lodging, morphological features, shading, lighting, ontogenesis.*

Дата надходження до редакції: 15.12.2020 р.

УДК 631.523.4/.527.5:633.11

УСПАДКУВАННЯ І ФОРМОТВОРЕННЯ ЗА КІЛЬКІСТЮ КОЛОСКІВ ВІД ГІБРИДИЗАЦІЇ РІЗНИХ ЗА ТРИВАЛІСТЮ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ СОРТІВ ПШЕНИЦІ

Лозінський Микола Владиславович
кандидат сільськогосподарський наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна
ORCID: 0000-0002-6078-3209
Lozinskk@ukr.net

Устинова Галина Леонідівна
аспірантка
Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна
ORCID: 0000-0002-3056-358X
UstinovaGL@ukr.net

Ображій Сергій Володимирович
кандидат сільськогосподарський наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна
ORCID: 0000-0002-3532-6655
ObragiySV_@ukr.net

У 2017–2019 рр. в умовах дослідного поля науково виробничого центру Білоцерківського НАУ досліджували 42 комбінації F_1 і F_2 пшениці м'якої озимої, отримані від гібридизації сортів, які різняться за тривалістю вегетаційного періоду. Метою дослідження було визначення гетерозису і ступеню фенотипового домінування в F_1 та трансгресивної мінливості в F_2 за кількістю колосків в головному колосі при використанні у гібридизації різних за скоростиглістю сортів пшениці м'якої озимої.

Встановлено, що у батьківських форм кількість колосків у головному колосі у роки досліджень становила – 15,7–18,0 шт., а на їх формування значно впливав генотип, умови року і їх взаємодія. Більшість F_1 за кількістю колосків у колосі перевищувала вихідні форми, при цьому високі показники (21,0–19,2 шт.) визначені у Чорнява/Столична, Білоцерківська напівкарликова/Чорнява, Чорнява/Відрада, Кольчуга/Столична. У 39 із 42 гібридів успадкування кількості колосків з головного колосу відбувалось за позитивним наддомінуванням. Високий гіпотетичний (Ht = 23,5–15,4 %) та істинний (Hbt = 18,6–10,2 %) гетерозис встановлено в F_1 Чорнява/Столична, Кольчуга/Столична, Білоцерківська напівкарликова/Чорнява, Чорнява/Відрада, Золотоколоса/Відрада.

У 85,7 % популяцій F_2 визначено позитивний ступінь трансгресій з максимальним проявом у рекомбінантів кількості колосків у головному колосі – 20–24 шт., що свідчить про значний формотворчий процес і можливість проведення доборів за досліджуваною ознакою. Максимальну кількість колосків у головному колосі (22–24 шт.) формували більшість популяцій, в яких материнськими формами використовували сорти Миронівська рання, Кольчуга, Золотоколоса, Чорнява і Антонівка. Частота трансгресивних рекомбінантів у цих популяціях становила 3,3–96,7 %.

Ключові слова: *пшениця м'яка озима, скоростиглість сортів, комбінації схрещування, успадкування, гібриди, істинний і гіпотетичний гетерозис, ступінь фенотипового домінування, популяції F_2, ступінь і частота позитивних трансгресій.*

DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.2

Вступ. У світовому землеробстві пшениці належить провідна роль у вирішенні важливого завдання – забезпечення населення земної кулі продуктами харчування (Sharmet, 2011; Shpaar, 2012; Farooq et al., 2018; Chernobai et al., 2019). Пшениця м'яка озима є основною зерновою продовольчою культурою України з щорічною площею посіву 5,5–6,0 млн. га (Litvinenko, 2011; Cherenkov et al., 2013).

Останнім часом фактичні темпи виробництва зерна пшениці зростали всього на 0,5 % у рік, що значно менше необхідних 1,4 %, які повинні покривати збільшення чисельності людства (Ray et al., 2013). Створення і впровадження у сільськогосподарське виробництво нових високоврожайних сортів, адаптованих до різноманітних умов вирощування, є найбільш ефективним, ресурсозберігаючим й екологічним способом зростання і стабілізації виробництва зерна пшениці м'якої озимої (Kochmarsky, 2012; Morhun et al., 2014; Burdenyuk-Tarasevich & Lozinskyi, 2015; Morhun, 2016; Akimenko et al., 2016, Lozinskyi, 2018; Riabovol et al., 2018).

У практичній селекційній роботі важливим залишається створення різноманітного вихідного матеріалу з покращеними господарсько цінними ознаками і властивостями (Farooq, 1994; Vlasenko & Kolomiiets, 2008; Artemchuk, 2013; Morhun et al., 2015; Bakumenko, 2015; Pokhylko et al., 2016). Головною ланкою у цьому процесі є добір батьківських форм для схрещування (Akimenko et al., 2016).

Пшениця характеризується значним поліморфізмом і різноманіттям екотипів, тому наразі найбільш результативним методом селекції залишається внутрішньовидова міжсортова гібридизація з наступними відборами (Burdeniuk-Tarasevych & Lozinskyi, 2015; Zaika, 2015). У результаті схрещування сортів, різних за морфологічними, біологічними і фі-

зіологічними ознаками, з різним рівнем генетичного потенціалу продуктивності та стійкості до біотичних і абіотичних несприятливих факторів середовища, утворюється велике різноманіття нових генотипів у тісному зв'язку з умовами середовища (Burdeniuk-Tarasevych & Lozinskyi, 2015). Формотворення при гібридизації ґрунтується на перекомбінуванні генів, оскільки батьківські організми передають нащадкам не ознаки й властивості, а гени, які контролюють розвиток господарсько цінних ознак.

Підвищення продуктивного потенціалу й отримання стабільно високих урожаїв пшениці м'якої озимої є найважливішим завданням, що ставиться перед селекційними установами (Yarosh et al., 2019). Урожайний потенціал сорту завжди використовується як найважливіша його характеристика, тому дослідження елементів продуктивності за їх впливом на продуктивність проводиться тривалий час (Bakumenko, 2015). Створення сортів пшениці з максимально можливим рівнем продуктивності є кінцевою метою кожного селекціонера, проте, це завдання пов'язане зі значною складністю і комплексністю (Bahan et al., 2012).

Селекційно-генетичні дослідження свідчать про полігенний контроль складових урожайності та унікальну взаємодію генотипу з умовами навколишнього середовища, що є причиною розбіжностей у висновках щодо вкладу елементів продуктивності та можливості їх використання у селекційних програмах (Kinder & Gooding, 2005; Nikolova-Andrieieva, 2011; Perisic et.al., 2011). Загальновідомо, що спадковий потенціал господарсько цінних ознак має певні обмеження, і для отримання реальних результатів селекція вимагає його розширення (Akimenko et al., 2016).

Важливою ознакою пшеничної рослини є кількість колосків у колосі, формування якої відбувається впродовж третього-четвертого етапів органогенезу. Від числа сформованих колосків у колосі залежить кількість розвинутих квіток, зерен, продуктивність колосу і врожайність зерна пшениці м'якої озимої (Konovalov et al., 1987; Lozinskyi, 2018).

Метою дослідження було визначення гетерозису і ступеню фенотипового домінування у F_1 та трансгресивної мінливості в F_2 за кількістю колосків у головному колосі, при використанні у гібридизації різних за скоростиглістю сортів пшениці м'якої озимої.

Матеріали і методи досліджень. Експериментальна частина досліджень виконувалась у 2017–2019 рр. на дослідному полі науково виробничого центру Білоцерківського НАУ. Матеріалом досліджень були 42 комбінації F_1 і їх популяції F_2. До гібридизації залучали сорти пшениці м'якої озимої, які різнилися за тривалістю вегетаційного періоду, а саме: ранньостиглі – Миронівська рання, Кольчуга, Білоцерківська напівкарликова (Б.Ц. н/к.); середньоранні – Золотоколоса, Чорнява, Щедра нива; середньостиглі – Столична, Відрада, Миронівська 61, Антонівка, Єдність; середньопізні – Добірна, Пивна і Вдала.

Насіння F_{1-2} висівали вручну за схемою: материнська форма, гібрид (популяція), чоловіча форма. З гібридним поколінням працювали за методом педігрі. У період вегетації пшениці проводили фенологічні спостереження, після настання повної стиглості – біометричний аналіз досліджуваного матеріалу за середнім зразком 25 рослин у триразовій повторності (Dospekhov, 1985; Volkodav, 2003). Агротехніка – загальноприйнята для вирощування пшениці м'якої озимої в Лісостепу України. Попередник – гірчиця.

Гіпотетичний (Ht) та істинний (Htb) гетерозис за кількістю колосків у F_1 визначали за D. F Matzinger (Matzinger et al., 1962) і S. Fonseca та F. L. Patterson (Fonseca & Patterson, 1968). Ступінь фенотипового домінування (h_p) розраховували за методикою B. Griffing (Griffing, 1950). Отримані дані групували за класифікацією G. Beil та R. E. Atkins (Beil & Atkins, 1965): позитивне наддомінування (гетерозис) $hp > +1$; часткове позитивне домінування $+ 0,5 < hp \leq + 1$; проміжне успадкування $–0,5 \leq hp \leq +0,5$; часткове від'ємне успадкування $– 1 \leq hp < –0,5$; негативне наддомінування (депресія) $hp < –1$. Ступінь та частоту позитивних трансгресій в F_2 визначали за методикою (Voskresenska & Shpota, 1967).

Результати отриманих в експерименті даних обробляли статистичним методом за програмою *Statistica*, версія 6.0.

Результати. Отримані за 2018–2019 рр. дані свідчать, що кількість колосків у головному колосі у батьківських компонентів гібридизації знаходяться в межах 15,7–18,0 шт. Найбільші показники відмічені в сорту Чорнява (17,7 шт. у 2018 р; 18,0 шт. – 2019 р.), а найменші 15,7 шт. – Кольчуга, Добірна (2018 р.) і Б.Ц. н/к. у 2019 р. Встановлено, що формування кількості колосків у головному колосі пшениці м'якої залежить від генотипу сорту, умов року і взаємодії генотип-середовище. Мінімальним середньогруповим значенням (16,1 шт.) кількості колосків у головному колосі, в середньому за два роки, характеризувались ранньостиглі і середньостиглі сорти. Середній показник середньоранніх і середньопізніх генотипів становив 17,0 і 16,4 шт. відповідно (табл. 1, 2, 3, 4).

Кількість колосків у головному колосі більшості F_1 (16,4–21,0 шт.) перевищувала вихідні форми, при цьому високі значення (21,0–19,2 шт.) відмічені в Чорнява/Столична, Б.Ц. н/к./Чорнява, Чорнява/Відрада і Кольчуга/Столична. Формування в гібридів вищих показників, ніж у батьківських форм, свідчить про гетерозисний ефект. За гіпотетичним гетерозисом (перевищення показника F_1, за кількістю колосків у колосі, над середнім значенням батьківських форм, %), та істинним гетерозисом (відношення ознаки F_1 до батьківської форми з більшим проявом, %) отримані нами гібриди мали значну диференціацію (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Гетерозис і ступінь фенотипового домінування за кількістю колосків з головного колосу в F_1, створених за гібридизації ранньостиглих сортів материнською формою (2018 р.)

Комбінації схрещування	Кількість колосків, шт.			Гетерозис, %		Ступінь h_p
	♀	♂	F_1	Ht	Hbt	
♀ ранньостиглі/♂ ранньостиглі						
Миронівська рання/Б.Ц. н/к.	16,6	15,8	16,9	4,3	1,8	1,8
Миронівська рання/Кольчуга	16,6	15,7	17,1	5,6	3,0	2,1
Б.Ц. н/к./Кольчуга	15,8	15,7	16,6	5,1	5,1	17,0
♀ ранньостиглі/♂ середньоранні						
Миронівська рання/Золотоколоса	16,6	16,3	18,1	9,7	9,0	11,0
Миронівська рання/Чорнява	16,6	17,7	17,0	-1,2	-4,0	-0,3
Б.Ц. н/к./Золотоколоса	15,8	16,3	17,0	3,6	4,3	3,8
Б.Ц. н/к./Чорнява	15,8	17,7	19,5	16,1	10,2	2,9
Кольчуга/Чорнява	15,7	17,7	15,5	-7,2	-12,4	-1,2
♀ ранньостиглі/♂ середньостиглі						
Миронівська рання/Антонівка	16,6	16,1	17,0	3,7	2,4	2,6
Миронівська рання/Єдність	16,6	16,3	18,0	9,1	8,4	10,3
Б.Ц. н/к./Антонівка	15,8	16,1	17,6	10,0	9,3	11,0
Б.Ц. н/к./Єдність	15,8	16,3	17,3	7,5	6,1	5,0
Б.Ц. н/к./Відрада	15,8	16,0	16,6	4,4	3,8	7,0
Кольчуга/Антонівка	15,7	16,1	16,9	6,3	5,0	5,0
Кольчуга/Єдність	15,7	16,3	16,4	2,5	0,6	1,3
Кольчуга/Відрада	15,7	16,0	15,2	-4,4	-5,0	-4,3
Кольчуга/Столична	15,7	16,3	19,2	20,0	17,8	10,7
♀ ранньостиглі/♂ середньопізні						
Миронівська рання/Вдала	16,6	17,2	18,1	7,1	5,2	4,0
Миронівська рання/Добірна	16,6	15,7	16,9	4,3	1,8	1,7
Б.Ц. н/к. / Добірна	15,8	15,7	16,6	5,1	5,1	17,0

Таблиця 2

Гетерозис і ступінь фенотипового домінування в F_1 за кількістю колосків з головного колосу(2018 р.)

Комбінації схрещування	Кількість колосків, шт.			Гетерозис, %		Ступінь h_p
	♀	♂	F_1	Ht	Hbt	
♀ середньоранні/♂ середньоранні						
Золотоколоса/Чорнява	16,3	17,7	17,8	4,1	0,6	1,1
Золотоколоса/Щедра нива	16,3	17,0	17,2	3,0	1,2	1,6
Чорнява/Щедра нива	17,7	17,0	18,6	6,9	5,1	3,6
♀ середньоранні/♂ середньостиглі						
Золотоколоса/Антонівка	16,3	16,1	16,4	1,2	0,6	2,0
Золотоколоса/Єдність	16,3	16,3	17,5	7,4	7,4	123,0
Золотоколоса/Відрада	16,3	16,0	18,6	14,8	14,1	16,3
Золотоколоса/Столична	16,3	16,3	17,2	5,5	5,5	93,0
Чорнява/Антонівка	17,7	16,1	18,7	10,7	5,6	2,3
Чорнява/Єдність	17,7	16,3	17,9	5,3	1,1	1,3
Чорнява/Відрада	17,7	16,0	19,5	15,4	10,2	3,1
Чорнява/Столична	17,7	16,3	21,0	23,5	18,6	5,7
Щедра нива/Антонівка	17,0	16,1	18,4	11,5	8,2	1,4
Щедра нива/Відрада	17,0	16,0	18,5	12,1	8,8	4,0
♀ середньоранні/♂ середньопізні						
Щедра нива/Добірна	17,0	15,7	18,4	12,2	8,2	3,2
♀ середньоранні/♂ середньопізні						
Антонівка/Єдність	16,1	16,3	17,2	6,2	5,5	10,0
Антонівка/Відрада	16,1	16,0	18,1	12,4	12,4	41,0
Антонівка/Столична	16,1	16,3	18,1	11,7	11,0	19,0
Миронівська 61/Єдність	16,2	16,3	18,3	13,0	12,3	41,0
Єдність/Відрада	16,3	16,0	18,2	12,3	11,7	13,7
♀ середньостиглі/♂ середньопізні						
Єдність/Добірна	16,3	15,7	18,0	12,5	10,4	6,7
♀ середньопізні/♂ середньостиглі						
Вдала/Столична	17,2	16,3	17,6	4,8	2,3	2,0
♀ середньопізні / ♂ середньопізні						
Добірна / Пивна	15,7	16,6	18,5	14,2	11,4	5,2

За значної генетичної дивергенції батьківських компонентів гібридизації, можливе виникнення в F_1 ефекту гетерозису за продуктивністю, життєздатністю, пристосованістю до біотичних і абіотичних факторів навколишнього середовища. Дослідженнями встановлено, що у більшості F_1, залежно від компонентів гібридизації, гіпотетичний гетерозис становив 1,2–23,5 %, а істинний – 0,6–18,6 %.

Найбільш поширеним типом успадкування (у 39 з 42 гібридів), кількості колосків з головного колосу, було позитивне наддомінування (h_p = 1,1–123,0). Встановлено, що на показник ступеню фенотипового домінування в F_1 значно впливали підібрані до схрещування батьківські форми.

За середньою кількості колосків у колосі (17,4–21,5 шт.) більшість популяції F_2 перевищували вихідні компоненти гібридизації. При цьому, більшість з них за максимальним проявом рекомбінантів (20–24 шт. колосків) значно перевищували батьківські форми, що свідчить про значне формотворення і можливість проведення доборів за досліджуваною ознакою (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Ступінь і частота позитивних трансгресій за кількістю колосків з головного колоса в F_2, за використання материнською формою ранньостиглих сортів (2019 р.)

Популяції	Кількість колосків, шт.					Трансгресія	
	♀	♂	F_2	максимальний прояв		T_c, %	$T_ч$, %
				батьківських форм	F_2		
♀ ранньостиглі/♂ ранньостиглі							
Миронівська рання/Б.Ц. н/к.	16,6	15,7	19,5	19	22	15,8	63,3
Миронівська рання/Кольчуга	16,6	16,0	19,7	19	22	15,8	66,7
Б.Ц. н/к./Кольчуга	15,7	16,0	18,0	18	21	16,7	33,3
♀ ранньостиглі/♂ середньоранні							
Миронівська рання/Золотоколоса	16,6	16,4	19,0	19	21	10,5	33,3
Миронівська рання/Чорнява	16,6	18,0	19,2	22	22	-	-
Б.Ц. н/к./Золотоколоса	15,7	16,4	18,6	19	21	10,5	16,7
Б.Ц. н/к./Чорнява	15,7	18,0	18,8	22	22	-	-
Кольчуга/Чорнява	16,0	18,0	17,9	22	20	-	-
♀ ранньостиглі/♂ середньостиглі							
Миронівська рання/Антонівка	16,6	16,0	19,2	19	22	15,8	46,7
Миронівська рання/Єдність	16,6	16,0	18,3	19	22	15,8	26,7
Б.Ц. н/к./Антонівка	15,7	15,9	18,9	18	21	16,7	63,3
Б.Ц. н/к./Єдність	15,7	16,0	18,8	18	21	16,7	48,3
Б.Ц. н/к./Відрада	15,7	16,1	18,9	18	21	16,7	60,0
Кольчуга/Антонівка	16,0	15,9	18,8	18	21	16,7	43,3
Кольчуга/Єдність	16,0	16,0	20,1	18	22	22,2	93,3
Кольчуга/Відрада	16,0	16,1	18,6	18	22	22,2	33,3
Кольчуга/Столична	16,0	15,9	20,4	21	24	14,3	16,7
♀ ранньостиглі/♂ середньопізні							
Миронівська рання/Вдала	16,6	17,9	18,7	21	21	-	-
Миронівська рання/Добірна	16,6	15,8	19,4	19	22	15,8	64,3
Б.Ц. н/к./Добірна	15,7	15,8	18,4	18	20	11,1	40,0

Високі показники кількості колосків у головному колосі (21,5–20,1 шт.) формували більшість популяцій, в яких материнськими формами були сорти Кольчуга, Чорнява, Щедра нива і Добірна.

Таблиця 4

Ступінь і частота позитивних трансгресій F_2, за кількістю колосків з головного колосу (2019 р.)

Популяції	Кількість колосків, шт.					Трансгресія	
	♀	♂	F_2	максимальний прояв		T_c, %	$T_ч$, %
				батьків	F_2		
♀ середньоранні/♂ середньоранні							
Золотоколоса/Чорнява	16,4	18,0	19,0	22	22	-	-
Золотоколоса/Щедра нива	16,4	16,7	19,3	19	22	15,8	56,7
Чорнява/Щедра нива	18,0	16,7	20,7	22	24	9,1	6,7
♀ середньоранні/♂ середньостиглі							
Золотоколоса/Антонівка	16,4	15,9	17,4	19	20	5,2	3,3
Золотоколоса/Єдність	16,4	16,0	18,3	19	21	10,5	13,3
Золотоколоса/Відрада	16,4	16,1	19,9	19	22	15,8	76,7
Золотоколоса/Столична	16,4	15,9	19,9	21	22	4,8	26,7
Чорнява/Антонівка	18,0	15,9	21,1	22	24	9,1	3,3
Чорнява/Єдність	18,0	16,0	19,4	22	24	9,1	3,4
Чорнява/Відрада	18,0	16,1	20,9	22	24	9,1	3,3
Чорнява/Столична	18,0	15,9	20,9	22	24	9,1	6,7
Щедра нива/Антонівка	16,7	15,9	18,6	18	20	11,1	33,3
Щедра нива/Відрада	16,7	16,1	21,5	18	24	33,3	96,7

Популяції	Кількість колосків, шт.					Трансгресія	
	♀	♂	F_2	максимальний прояв		T_c, %	$T_ч$, %
				батьків	F_2		
♀ середньоранні/♂ середньопізні							
Щедра нива/Добірна	16,7	15,8	18,1	18	20	11,1	10,0
♀ середньоранні/♂ середньопізні							
Антонівка/Єдність	15,9	16,0	18,2	18	20	11,1	10,0
Антонівка/Відрада	15,9	16,1	18,6	18	22	22,2	30,0
Антонівка/Столична	15,9	15,9	19,7	21	24	14,3	13,3
Миронівська 61/Єдність	15,8	16,0	18,1	19	20	5,2	3,3
Єдність/Відрада	16,0	16,1	19,7	18	22	22,2	76,7
♀ середньостиглі/♂ середньопізні							
Єдність/Добірна	16,0	15,8	18,3	18	20	11,1	16,7
♀ середньопізні/♂ середньостиглі							
Вдала/Столична	17,9	15,9	18,7	21	20	-	-
♀ середньопізні/♂ середньопізні							
Добірна/Пивна	15,8	16,2	20,1	18,0	22,0	22,2	80,0

Дослідженнями встановлено, що у 36 з 42 популяцій F_2, за кількістю колосків у головному колосі, визначений позитивний ступінь трансгресії (4,8–33,3 %), на показники якого значно впливали підібрані пари гібридизації. Частота рекомбінантів, залежно від комбінації схрещування, сягала 3,3–96,7 %. За високого прояву кількості колосків у колосі найвищий ступінь і частоту трансгресій встановлено в популяцій: Щедра нива/Відрада (T_c = 33,3 %; $T_ч$ = 96,7 %); Кольчуга/Єдність (T_c = 22,2 %; $T_ч$ = 93,3 %); Добірна/Пивна (T_c = 22,2 %; $T_ч$ = 80,0 %) і Єдність/Відрада (T_c = 22,2 %; $T_ч$ = 76,7 %).

Обговорення. Формування елементів структури врожайності і характер їх успадкування у ранніх поколіннях є важливим напрямом досліджень, оскільки його вирішення дає можливість прогнозувати селекційну цінність доборів. Нами встановлено, що кількість колосків у головному колосі пшениці м'якої озимої батьківських форм є генетично обумовленою ознакою і формується під впливом генотипу, умов року і взаємодії «генотип-умови року». Аналогічні дані отримано (Shelepov et al., 2007; Khodanitskyi & Khodanitska, 2017). Встановлено (Lozinskyi, 2018), що найбільший вплив (55,05 %) на формування кількості колосків у головному колосі мав генотип, при цьому умови року впливали на рівні 33,81 %, а взаємодія «генотип-умови року» лише на 10,47 %.

Дослідження (Lytus & Starychenko, 2018) свідчать про значну варіабельність кількості колосків у колосі пшениці м'якої озимої, а отримані нами попередні дані (Lozinskyi & Varnava, 2010) вказують на незначну мінливість ознаки з коефіцієнтом варіації на рівні 4,1–9,7 %.

Проведені дослідження з пшеницею м'якою підтверджують виникнення гетерозису за багатьма ознаками (Singh et al., 2004). Визначені нами показники істинного і гіпотетичного гетерозису, за кількістю колосків у головному колосі, співпадають з дослідженнями (Bakumenko, 2015).

Вивчення ступеню фенотипового домінування для оцінки F_1 використовується науковцями у багатьох культур (Lozinskyi & Varnava, 2010; Lozinska, 2010; Vasylkivskyi & Ivko, 2013; Sylenko & Sylenko, 2013; Lamary & Fait, 2014; Ryperberh, 2014; Kosev, 2014; Bakumenko, 2015; Zaika, 2015; Akimenko et al., 2016; Yakymchuk, 2018; Hudzenko, 2018; Dubovyk et al., 2019; Lozinskyi & Ustynova, 2020).

Найпоширенішим типом успадкування кількості колосків з головного колосу в F_1 нами виявлено позитивне наддомінування. Ці результати є аналогічними з попередніми нашими досліджуваннями М. В. Лозинського та Н. С. Варнава (Lozinskyi & Varnava, 2010) і даними, отриманими в умовах дослідного поля Сумського національного аграрного університету О. М. Бакуменко (Bakumenko, 2015).

Дослідження А. К. Нінієвої (Niniieva, 2012) свідчать, що успадкування кількості колосків головного колосу F_1, що отримані від схрещування пшениці спельти ярої і пшениці м'якої ярої, відбувалось за від'ємним наддомінуванням і рідше за неповним домінуванням однієї з батьківських форм.

В результаті аналізу популяцій пшениці м'якої озимої F_2 нами виділено рослини, які за кількістю колосків у головному колосі перевищували вихідні форми. Аналогічні дослідження отримані А.К. Нінієвою (Niniieva, 2012). У попередніх дослідженнях М. В. Лозинського та Н. С. Варнава показано значний вплив материнської цитоплазми на формування кількості колосків з головного колосу в популяціях F_2 (Lozinskyi & Varnava, 2010).

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що кількість колосків у головному колосі, у різних за тривалістю вегетативного періоду сортів пшениці м'якої озимої, є генотипово обумовленим показником, на який значно впливають генотип, умови року і взаємодія «генотип-середовище».

За гібридизації різних за скоростиглістю батьківських форм пшениці м'якої озимої успадкування кількості колосків з головного колосу у більшості F_1 відбувалось за позитивним наддомінуванням. При цьому батьківські компоненти схрещування значно впливали на показник ступеню фенотипового домінування.

За кількістю колосків у головному колосі у більшості F_1 визначений позитивний гіпотетичний та істинний гетерозис, а їх показники значною мірою залежали від компонентів гібридизації. Високий гіпотетичний та істинний гетерозис виявлено у гібридів: Чорнява/Столична (Ht = 23,5 %, Hbt = 18,6 %); Кольчуга/Столична (Ht = 20,0 %, Hbt = 17,8 %); Б.Ц. н/к./Чорнява (Ht = 16,1 %, Hbt = 10,2 %); Золотоколоса/Відрада (Ht = 14,8 %, Hbt = 14,1 %); Чорнява/Відрада (Ht = 15,4 %, Hbt = 10,2 %) і Добірна/Пивна (Ht = 14,2 %, Hbt = 11,4 %).

Позитивний ступінь трансгресії (4,8–33,3 %), за кількістю колосків у головному колосі, визначений у 36 з 42 популяцій F_2, з частотою рекомбінантів, залежно від підбору батьківських пар, від 3,3 % (Миронівська 61/Єдність) до 96,7 % (Щедра нива/Відрада). Залучення до гібридизації батьківських форм пшениці м'якої озимої різних груп стиглості розширює формотворення в популяціях F_2 і сприяє проведенню до-

борів, що поєднують високі показники кількості колосків у головному колосі з іншими важливими елементами продуктивності.

Подальші дослідження будуть спрямовані на комплексну оцінку відібраних рекомбінантів пшениці м'якої озимої, з метою створення нового вихідного матеріалу з високим рівнем продуктивності й адаптивності до несприятливих умов Лісостепу України.

Бібліографічні посилання:

1. Sharmet, H. (2011). Odomashnyvanye pshenytsы: uroky na budushchee [Domestication of wheat: lessons for the future]. CR Biol, 334(3), 212–220 (in Russian).

2. Shpaar, D. (2012). Zernovye kultury: vyrashchyvanye, uborka, khranenye y yspolzovanye [Cereals: cultivation, harvesting, storage and use]. Yzdatelskyi dom "Zerno", Kyiv, 704 (in Russian).

3. Farooq, M.U., Cheema, A.A., Ishaaq, I., & Zhu, J. (2018). Correlation and genetic component studies for peduncle length affecting grain yield in wheat. Int JAdvApplSci, 5, 67–75.

4. Chernobai, Yu. O., Riabchun, V. K., Yarosh, A. V., & Morhunov, O. I. (2019). Elementy produktyvnosti ta vrozhainist zrazkiv pshenytsi m'iakoi ozymoi v zalezhnosti vid pokhodzhennia [Elements of productivity and yield of samples of bread winter wheat depending on the origin]. Henetychni resursy roslyn, 24, 47–57 (in Ukrainian).

5. Lytvynenko, M. A. (2011). Realizatsiia potentsialu pshenychnoho polia [Realization of wheat field potential]. Nasinnytstvo, 6, 1-7 (in Ukrainian).

6. Cherenkov, A. V., Hasanova, I. I., & Solodushko, M. M. (2013). Pshenytsia ozyma – rozvytok ta selektsiia kultury v istorychnomu aspekti [Winter wheat - development and selection of culture in the historical aspect]. Biuleten NAAN Ukrainy, 4, 3–8 (in Ukrainian).

7. Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. PLoSONE, 8(6), e66428.

8. Kochmarsky, V.S. (2012). Selection of winter soft wheat. Myronivka Wheat Institute, 816 (in Ukrainian).

9. Morhun, V. V., Havryliuk, M. M., Oksom, V. P., Morhun, B. V., & Pochynok, V. M. (2014). Vprovadzhennia u vyrobnytstva novykh, stiikykh do stresovykh faktoriv, vysokoproduktyvnykh sortiv ozymoi pshenytsi, stvorenykh na osnovi vykorystannia khromosomnoi inzhenerii ta marker-dopomizhnoi selektsii [Introduction in the production of new, stress-resistant, high-yielding varieties of winter wheat, created on the basis of the use of chromosomal engineering and marker-auxiliary selection]. Nauka ta innovatsii, 5, 40–48 (in Ukrainian).

10. Burdeniuk-Tarasevych, L. A., & Lozinskyi, M. V. (2015). Pryntsypy pidboru par dlia hibrydyzatsii v selektsii ozymoi pshenytsi *T. aestivum* L. na adaptyvnist do umov dovkillia [Principles of selection of pairs for hybridization in selection of winter wheat *T. aestivum* L. for adaptability to environmental conditions]. Faktory eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv, 16, 92–96 (in Ukrainian).

11. Morhun, V.V. (2016). Vnesok henetyky i selektsii roslyn u zabezpechennia prodovolchoi bezpeky Ukrainy [The contribution of genetics and plant breeding in ensuring food security of Ukraine]. Visnyk NAN Ukrainy, 5, 20–23 (in Ukrainian).

12. Akimenko, O.M., Vlasenko, V.A., & Kuzmenko, O.N. (2016). Kombinatsiina zdatnist za masoiu 1000 nasinyn sortiv pshenytsi ozymoi z pshenychno-zhytnoiu translokatsiieiu 1al/1rs. [Combination ability by weight of 1000 seeds of winter wheat varieties with wheat-rye translocation 1al / 1rs]. Visnyk umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva, 1, 59–63 (in Ukrainian).

13. Lozinskyi, M. V. (2018). Adaptyvnist selektsiinykh nomeriv pshenytsi ozymoi, otrymanykh vid skhreshchuvannia riznykh ekotypiv, za kilkistiu koloskiv v holovnomu kolosi [Adaptability of selection numbers of winter wheat, obtained from crossing different ecotypes, by the number of spikelets in the main ear]. Ahrobiolohiia, 1(138), 233–243 (in Ukrainian).

14. Riabovol, I., Riabovol, L., Diordiieva, I., Poltoretskyi, S., Lubchenko, A., Kononenko, L., & Kryzhanovskiy, V. (2018). Evaluation of resistance to diseases of soft winter wheat samples created by hybridization of ecologically and geographically remote forms. Ukrainian Journal of Ecology, 8, 24–27.

15. Farooq, S. (1994). Wild species germplasm: A vital source for creation of genetic variability. IPGRI WANA Newsletter, 4, 1–2.

16. Vlasenko, V. A., & Kolomiiets, L. A. (2008). Selektsiia pshenytsi m'iakoi ozymoi na pidvyshchennia zahalnoi adaptyvnosti [Selection of soft winter wheat to increase overall adaptability]. Biul. In-tu zern. hosp-va. Dnipropetrovsk, 5, 83–86 (in Ukrainian).

17. Artemchuk, I. P. (2013). Efficacy of mutagenic factors in induction of practically valuable mutations of winter wheat. Factors of experimental evolution of organisms, 3, 114–117 (in Ukrainian).

18. Morhun, B. V., Stepanenko, O. V., Stepanenko, A. I., & Rybalka, O. I. (2015). Molekuliarno-henetychna identyfikatsiia polimorfizmu heniv Wx u hibrydakh m'iakoi pshenytsi za dopomohoiu multypleksnykh polimeraznykh lantsiuhovykh reaktsii [Molecular genetic identification of Wx gene polymorphism in bread wheat hybrids using multiplex polymerase chain reactions]. Fyzyolohyiarastenyi y henetyka, 1, 25–35 (in Ukrainian).

19. Bakumenko, O. M. (2015). Formuvannia kilkosti koloskiv osnovnoho kolosa v F_1 pshenytsi m'iakoi ozymoi [Formation of the number of spikelets of the main ear in F_1 of soft winter wheat]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Ahronomiia i biolohiia, 3, 8–12 (in Ukrainian).

20. Pokhylko, S. Y., Schwartau, V. V., Mykhalska, L. M., Dugan O. M., & Morgun B. V. (2016). ICP-MS analysis of bread wheat bearing Gpc-B1 geneof Triticum turgidumssp. Dicoccoides. Biotechnologia Acta, 5, 64–69.

21. Zaika, Ye. V. (2015). Efekt heterozysu ta uspadkuvannia hospodarsko tsinnykh oznak u hibrydiv F_1 pshenytsi m'iakoi ozymoi v zoni Pivnichnoho Lisostepu [The effect of heterosis and inheritance of economically valuable traits in F_1 hybrids of bread

winter wheat in the Northern Forest-Steppe zone]. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy, 5(54) (in Ukrainian). Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2015_5_19.

22. Yarosh, A. V., Riabchun, V. K., Chetveryk, O. O., & Chernobai, Yu. O. (2019). Stabilnist ta plastychnist masy zerna z kolosu, masy 1000 zeren ta vrozhainosti serednoroslykh ta napivkarlykovykh henotypiv pshenytsi m'iakoi ozymoi [Stability and plasticity of grain weight per ear, weight of 1000 grains and yield of medium and semi-dwarf genotypes of bread winter wheat]. Henetychni resursy roslyn, 25, 81–93 (in Ukrainian). doi: 10.36814/pgr.2019.25.06.

23. Bahan, A. V., Yurchenko, S. O., & Shakalii, S. M. (2012). Minlyvist potomstva riznykh morfolohichnykh chastyn kolosa sortiv pshenytsi ozymoi za kilkisnymy oznakamy [Variability of the offspring of different morphological parts of the ear of winter wheat varieties by quantitative characteristics]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 4, 33–35 (in Ukrainian).

24. Kinder, D., & Gooding, M. (2005) Heterosis for yield and its physiological determinants in wheat, 142, 95–100.

25. Nikolova-Andrieieva, Ye. (2011). Zalezhnosti mizh kilkisnymy oznakamy, shcho vyznachaiut produktyvnist klasu v hibrydnykh kombinatsiiakh ozymoi pshenytsi zvychainoi / Triticum aestivum L / [Relationships between quantitative traits that determine the productivity of the class in hybrid combinations of winter common wheat]. Nauka i tekhnika, Stara Zahora, Roslynoznavstvo, 6, 82–87 (in Ukrainian).

26. Perišić, V., Milivoje, M., Mirjana, S., & Vera Đ. (2011). Nasleđivanje dužine klasa i broja zrna u klasu kod hibrida pšenice. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik, 17, 19–26.

27. Konovalov, Yu. B., Pylnev, V. V., & Pylnev, M. V. (1987). Yzmenenye produktyvnosty kolosa u ozymoi pshenytsy v rezultate selektsyy [Changes in ear productivity in winter wheat as a result of selection]. Yzvestyia TSKhA, 4, 47–54 (in Russian).

28. Dospekhov, B. A. (1985). Metodika polevogo opyta. Moskva: Agropromizdat, 352 (in Russian).

29. Volkodav, V. V. (2003). Metodika derzhavnogo viprobuvannya sortiv roslin na pridatnist' do poshirennya v Ukraïni: Zag. chast. Ohorona prav na sorti roslin: Oficijnij byuleten'. Alefa, Kyiev, 3, 106 (in Russian).

30. Matzinger, D. F., Mannand, T. J. & Cockerham, C. C. (1962). Diallel cross in Nicotiana tabacum. Crop Science. 2:238 /286.

31. Fonseca, S. & Patterson, F.L. (1968). Hybrid vigor in a seven parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Science, 1, 85–88.

32. Griffing, B. (1950). Analysis of quantitative gene-action by constant parent regression and related techniques. Genetics, 35, 303–321.

33. Beil, G. M. & Atkins, R. E. (1965). Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. Iowa State Journal, 39, 3.

34. Voskresenskaia, H. S. & Shpota, V. Y. (1967). Tranhressyia pryznakov Brassica y metodyka kolychestvennoho ucheta ɔtoho yavlenyia [Tragression of Brassica traits and a method for quantifying this phenomenon]. Doklad VASKNYL [VASKHNIL reports], 7, 18–20 (in Russian).

43. Shelepov, V.V., Havryliuk, M.M. Chebakov, M.P., Honchar, O.M., & Verhunov, V.A. (2007). Selektsiia, nasinnytstvo ta sortoznavstvo pshenytsi [Breeding, seed production and varietal science of wheat]. UAAN, Myronivskyi in-t pshenytsi im. V.M. Remesla, 405 (in Ukrainian).

16. Khodanitskyi, V., & Khodanitska, O. (2017). Formuvannia produktyvnosti kolosa v zernakh [Formation of ear productivity in grains]. Propozytsiia, 4, 78–80, 27 (in Ukrainian).

23. Lytus, M. V, & Starychenko, V. M. (2018). Dyferentsiatsiia sortozrazkiv pshenytsi m'iakoi ozymoi za kilkistiu koloskiv u kolosi [Differentiation of bread winter wheat varieties by the number of ears in the ear]. Myronivskyi visnyk, 7, 68–76 (in Ukrainian).

24. Lozinskyi, M.V., & Varnava, N.S. (2010). Determinatsiia kilkosti koloskiv holovnoho kolosu retsyproknymy hibrydamy pshenytsi ozymoi [Determination of the number of spikelets of the main ear by reciprocal hybrids of winter wheat]. Ahrobiolohiia, 4(80), 69–72 (in Ukrainian).

39. Singh, H., Sharma, S. N., & Sain, R. S. (2004). Heterosis studies for yield and its components in bread wheat over environments. Hereditas, 2, 106–114.

40. Lozinska, T. P. (2010). Uspadkuvannia hospodarsko tsinnykh oznak u hibrydiv pshenytsi m'iakoi yaroi ta yikh transhresyvna minlyvist [Inheritance of economically valuable traits in bread spring wheat hybrids and their transgressive variability]. Ahrobiolohiia, 3(74), 76–78 (in Ukrainian).

41. Vasylkivskyi, S. P., & Ivko, Yu. O. (2013). Efekt heterozysu ta stupin fenotypovoho dominuvannia u hibrydiv F_1 ripaku ozymoho [The effect of heterosis and the degree of phenotypic dominance in F_1 hybrids of winter rape.]. Ahrobiolohiia, 10, 5–10 (in Ukrainian).

42. Sylenko, S. I., & Sylenko, O. S. (2013). Uspadkuvannia hospodarsko tsinnykh oznak u hibrydiv F_1 kvasoli zvychainoi v umovakh livoberezhnoi chastyny Lisostepu Ukrainy [Inheritance of economically valuable traits in F_1 hybrids of common beans in the left-bank part of the Forest-Steppe of Ukraine]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 1, 33–36 (in Ukrainian).

43. Lamary, N. P., & Fait, V. Y. (2014). Otsenka heterozysa y typa nasledovanyia dlynы zamykaiushchykh kletok ustyts hybrydov F_1 *Triticum aestivum* L. v polevykh uslovyiakh [Evaluation of heterosis and the type of inheritance of the length of guard cells of stomata of F_1 hybrids *Triticum aestivum* L. in the field.]. Visnyk Ukrainskoho tovarystva henetykiv i selektsioneriv, 1, 36–43.

44. Ryperberh, E.Y. (2014). Yzuchenye kombynatsyonnoi sposobnosty miahkoi yarovoi pshenytsы (*Triticum aestivum* L.) v systeme dyallelnykh skreshchyvanyi [Study of the combination ability of bread spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in the system of diallel crosses]. Sbornyk nauchnыkh trudov SWorld, 29(3), 51–58.

45. Kosev, V. (2014). Dreding and Genetic Assessment of Some Quantitatsve Traits in Crosses Forage Pea (*Pisum sativum* L.). Open Journal of Genetics, 4, 22–29. doi: 10.4236/ojgen.2014.41004.

49. Yakymchuk, R. A. (2018). Kharakter uspadkuvannia dovzhyny stebla karlykovymy mutantamy pshenytsi miakoi ozymoi,

otrymanymy v zoni Chornobylskoi AES [The nature of the inheritance of stem length by dwarf mutants of bread winter wheat obtained in the Chernobyl zone]. Fyzyolohyia rastenyi y henetyka [Plant physiology and genetics], 1, 46–58 (in Ukrainian).

50. Hudzenko, V.M. (2018). Genetichna determinaciya produktivnogo kushchinnya v dialel'nih skhreshchuvannyah yachmenyu ozimogo v Lisostepu Ukrainy [Genetic determination of productive tillering in diallel crosses of winter barley in the Forest-Steppe of Ukraine.]. Zbirnik naukovih prac' Umans'kogo NUS, 92, 17–28 (in Ukrainian).

51. Dubovyk, N. S., Humeniuk, O. V., Kyrylenko, V. V., Misiura, I. I., & Khomenko T. M. (2019). Uspadkuvannia elementiv produktyvnosti kolosa v hibrydiv F_1 *Triticum aestivum* L., stvorenykh za uchasti sortiv nosiiv pshenychno-zhytnikh translokatsii 1AL. 1RS i 1BL. 1RS [Inheritance of ear productivity elements in hybrids of F_1 Triticum aestivum L., created with the participation of varieties of carriers of wheat-rye translocations 1AL. 1RS and 1BL. 1RS]. Plant Varieties Studying and Protection, 15(1), 5–12 (in Ukrainian).

52. Lozinskyi, M. V., & Ustynova, H. L. (2020). Uspadkuvannia v F_1 i transhresyvna minlyvist v F_2 dovzhyny holovnoho kolosu za skhreshchuvannia riznykh za skorostyhlistiu sortiv pshenytsi miakoi ozymoi [Inheritance in F_1 and transgressive variability in F_2 of the length of the main ear by crossing different early maturing varieties of bread winter wheat]. Ahrobiolohiia, 2, 70–78.

53. Niniieva, A. K. (2012). Uspadkuvannia oznak produktyvnosti kolosa hibrydamy spelty yaroi (t. spelta l.) iz pshenytseiu miakoiu yaroiu [Inheritance of ear productivity traits by hybrids of spring spelled (t. spelta l.) With bread spring wheat.]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 4, 36–41 (in Ukrainian).

***Lozinsky M. V.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine*

***Ustinova H. L.**, PhD student, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine*

***Obrazhii S. V.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine*

WHEAT VARIETIES FROM HYBRIDIZATION OF DIFFERENT VEGETETION DURATION: INHERITANCE AND FORMATION BY THE NUMBER OF EARS

In 2017–2019, 42 F_1 and F_2 populations of bread winter wheat obtained from hybridization of varieties that differ in vegetation period were studied in the experimental field of the research and production center of Bila Tserkva National Agrarian University. The aim of the study was to determine the heterosis and the degree of phenotypic dominance in F_1 and transgressive variability in F_2 by the number of spikelets in the main ear, when using in hybridization of different bread winter wheat varieties.

It was found that during the years of research, in the parental forms the number of spikelets in the main ear was 15.7–18.0, and their formation was significantly influenced by genotype, year conditions and their interaction. The majority of F_1 by the number of spikelets in the ear exceeded the original forms, with high rates (21.0–19.2) in Chorniava / Stolychna, Bilotserkivska napivkarlykova / Chorniava, Chorniava / Vidrada, Kolchuga / Stolychna. In 39 from the 42 hybrids, the inheritance of the spikelets number from the main ear occurred by positive dominance. High hypothetical (Ht = 23.5–15.4 %) and true (Hbt = 18.6–10.2 %) heterosis was found in F_1 Chorniava / Stolychna, Kolchuga / Stolychna, Bilotserkivska napivkarlykova / Chorniava, Chorniava / Vidrada, Zolotokolosa / Vidrada.

In 85.7 % of F_2 populations, a positive degree of transgressions with the maximum manifestation of the spikelets number in the main ear (20–24) was determined in recombinants, which indicates a significant shaping process and the possibility of selection on the basis of the studied trait. The maximum number of spikelets in the main ear (22–24) was formed by the majority of populations in which the varieties Myronivska Rannia, Kolchuga, Zolotokolosa, Chorniava and Antonivka were used as maternal forms. The frequency of transgressive recombinants in these populations was 3.3–96.7 %.

***Key words:** bread winter wheat, early maturity of varieties, combinations of crossing, inheritance, hybrids, true and hypothetical heterosis, degree of phenotypic dominance, population F_2, degree and frequency of positive transgressions.*

Дата надходження до редакції: 30.12.2020 р.

УДК 581.524.1

СТАН РОСЛИН ТА ПОПУЛЯЦІЙ *TRIENTALIS EUROPAEA* L. У ЛІСОВИХ ФІТОЦЕНОЗАХ ЛІВОБЕРЕЖНОЇ УКРАЇНИ

Шерстюк Марина Юріївна
кандидат біологічних наук, старший викладач
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-4983-6453
maryna_skliar@ukr.net

На основі використання морфометричного та віталітетного аналізів здійснено оцінку стану рослин та популяцій Trientalis europaea L. у 10 фітоценозах шпилькових, мішаних, дрібнолистяних та широколистяних лісів, типових для лівобережної частини України. При морфометричному аналізі враховувалося сім статичних та два алометричних показника. Віталітетний аналіз проведено за методикою Ю.А. Злобіна з опорою на величини висоти рослин, загальної фітомаси та площі листкової поверхні. Показано, що рослини із різних лісорослинних умов статистично достовірно відрізняються між собою за значеннями усіх досліджуваних морфопараметрів і у кожному фітоценозі відбувається формування раметів T. europaea характерного розміру та морфоструктури, що наочно доведено на основі побудови морфограм. Тобто пристосування рослин цього виду до умов місцезростань відбувається при широкій реалізації морфоадаптацій, які супроводжуються проявом як морфологічної мінливості, так і морфологічної пластичності.

Наслідком та проявом адаптації раметів T. europea до умов місцезростань є і диференціація рослин за рівнем життєвості (віталітету), та, у підсумку, формування популяцій різних якісних типів. У лісових фітоценозах Лівобережжя України репрезентовано популяції усіх трьох віталітетних категорій: депресивних, врівноважених та процвітаючих.

Серед досліджуваних угруповань частка депресивних популяцій становить лише 10 %. Тобто результати віталітетного аналізу засвідчують широку представленість у лісових фітоценозах лівобережної частини України популяцій T. europea із високим рівнем життєвості. Процвітаючі популяції формуються під наметом шпилькових, дрібнолистяних та широколистяних лісів. Зниження життєвості та розміру рослин здебільшого відбувається на тлі зростання загальної зімкнутості верхніх ярусів лісу, збільшення щільності та проективного покриття видів, що формують трав'яно-чагарничковий ярус, а також на перезволожених ґрунтах.

***Ключові слова**: морфометричний аналіз, віталітетний аналіз, морфологічна мінливість та пластичність, морфограми, віталітетна структура.*

DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.3

Вступ. Лісові екосистеми посідають провідне місце як за зайнятою площею, так і за роллю та значущістю у біосфері (Da Ponte et al., 2017; Hegetschweiler et al., 2020; Karsenty, 2017; Skliar, 2014; Purwestri et al., 2020; Skliar et al., 2020). Відповідно, вивчення ознак і властивостей лісів загалом, та видів, які беруть участь у формуванні цього типу екосистем, є важливою складовою сучасних наукових досліджень.

До числа лісових видів належить і *Trientalis europaea* L. – клонова рослина, поширена у бореальних фітоценозах північної півкулі. Це давній (дольодовиковий) вид із нез'ясованим центром походження. *T. europaea* має значне поширення у шпилькових та мішаних лісах. Його популяції входять до складу екотонних угруповань галявин та узлісь (Hryzlova & Vakhrameeva, 1990; Piqueras, 1999; Piqueras et al., 1999; Taylor et al., 2002). Род *Trientalis* тривалий час входив до родини *Primulaceae*, але у 2000 році ботаніки М. Калерсьє, Г. Бергквіст та А. А. Андерберг на основі аналізу ДНК переглянули його таксономічну належність та включили його до родини *Myrsinaceae* (Källersjö et al., 2000).

T. europaea – мезогігрофіт, який уникає як дуже сирих, так і сухих ґрунтів. Особливо чутливі до рівня вологості сходи, які швидко гинуть при підсиханні підстилки. Ця рослина зростає на підзолистих (від сильно до слабопідзолистих), дерново-підзолистих та торф'яно-глеєвих ґрунтах з pH 4,9–5,6, різного механічного складу. При цьому у рихлому субстраті ріст столонів є швидшим, ніж у щільному (Hryzlova & Vakhrameeva, 1990; Polianskaia, 2010).

T. europaea є видом, охопленим різноплановими біологічними дослідженнями. Зокрема, значна увага приділяється вивченню розмноження (Tvorogova et al., 2017) та структур, які його забезпечують (Hiirsalmi, 1969; Tikhodeyev & Tikhodeyeva, 2002; Tikhodeyev et al., 2003; Kirchner et al., 2009). Детально аналізується роль та місце *T. europaea* у трофічних ланцюгах (Ericson & Wennström, 1997) та у різноманітних біотичних взаємодіях (Wennström & Ericson, 1990; Carlsson et al., 1990; Ruotsalainen et al., 2004). Вивчається реагування цього виду на зміни клімату (Patsias & Bruelheide, 2013). Приділяється увага вивченню біохімічних властивостей цього виду (Parry et al., 2000). *T. europea* охоплений і популяційними дослідженнями (Polianskaia, 2010). Однак, в умовах лісових фітоценозів України популяції *T. europea* майже не досліджувалися і тому вивчення їхнього стану та ознак у цьому регіоні належить до числа актуальних наукових проблем, значущість яких підсилюється і декоративними властивостями даного виду та можливістю його широкого застосування для створення фітоценокомпозицій із видів природної флори.

Метою роботи є визначення провідних розмірно-віталітетних характеристик рослин та популяцій *T. europea* у різних лісових фітоценозів, типових для лівобережної частини України.

Матеріали і методи досліджень. Вивченням було охоплено 10 ценопопуляцій *T. europea* із різних лісових угруповань (табл. 1), характерних для досліджуваного регіону. Задля виявлення складу та структури у кожному із фітоцено-

зів здійснювалися детальні геоботанічні описи за загальноприйнятими методиками (Heobotanika, 2018). У кожному із фітоценозів за випадковою системою вибиралось 35–50 раметів генеративного онтогенетичного стану, в яких оцінювали низку статичних метричних та алометричних показників (табл. 2, 3).

Таблиця 1

Перелік популяцій та угруповань, у яких проводились дослідження на теренах Лівобережної України

№	Умовне позначення ценопопуляції	Угруповання
1	П1	*Betuletum (pendulae) stellariosum (holosteae)*
2	П2	*Betuletum (pendulae) caricosum (pilosae)*
3	П3	*Betuleto (pendulae)–Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli)*
4	П4	*Populetum (tremulae) stellariosum (holosteae)*
5	П5	*Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae)*
6	П6	*Pinetum (sylvestris) franguloso (alni)–vacciniosum (myrtilli)*
7	П7	*Pinetum (sylvestris) sphagnosum*
8	П8	*Pinetum (sylvestris) coryloso (avellanae)–vacciniosum (myrtilli)*
9	П9	*Pinetum (sylvestris) moliniosum (caeruleae)*
10	П10	*Pinetum (sylvestris) hylocomiosum*

Таблиця 2

Перелік статичних метричних морфопараметрів,
які були використані для популяційного вивчення *T. europea*

Назва морфопараметра	Умовні позначення	Одиниця виміру
Фітомаса надземної частини рослин	W	г
Висота рослин	h	см
Загальна маса листків	WL	г
Маса одного листка	*wl*	г
Загальна площа листкової поверхні	A	$см^2$
Площа одного листка	*a*	$см^2$
Кількість листків	NL	шт.

Таблиця 3

Перелік статичних алометричних морфопараметрів,
які були використані для популяційного вивчення *T. europea*

Назва морфопараметра	Умовні позначення та розрахункові формули морфопараметрів	Одиниця виміру
Фотосинтетичне зусилля	LWR	г/г
Співвідношення між площею листкової поверхні та масою рослин	LAR	$см^2$/г

Оцінку життєвості (віталітету) рослин та віталітетної структури ценопопуляцій здійснено за методикою Ю.А. Злобіна (Zlobyn et al., 2013) з опорою на три ключові морфопараметри: висота рослин, їхня загальна фітомаса та площа листкової поверхні. При цьому було встановлено належність особин рослин до різних класів віталітету (найвищого (a), проміжного (b), низького (c)), а популяцій – до трьох якісних типів (процвітаючих, врівноважених та депресивних).

Результати. Результати оцінки величин провідних морфопараметрів у рослин *T. europea* представлено у табл. 4. Встановлено, що найбільшими середніми значеннями низки морфопараметрів (загальної фітомаси, маси листів, площі листкової поверхні, маси та площі одного листка, фотосинтетичного зусилля) вирізняються рослини, що зростають в умовах угруповання *Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae).* Найбільші значення ще двох морфопараметрів (висоти, співвідношення між площею листкової поверхні та масою рослин) відповідають рослинам з угруповання *Betuleto (pendulae)–Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli).*

В розподілі за угрупованнями найменших значень морфопараметрів проявився більший ступінь індивідуальності. Рамети із угруповання *Pinetum (sylvestris) sphagnosum* виявилися найменшими за загальною площею листкової поверхні, площею одного листка, співвідношення між площею листкової поверхні та масою рослин, із угруповання *Betuleto (pendulae) – Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli)* – за загальною фітомасою, масою листків та масою одного листка, із угруповання *Betuletum (pendulae) stellariosum (holosteae)* – за висотою, із угруповання *Pinetum (sylvestris) franguloso (alni)–vacciniosum (myrtilli)* – за фотосинтетичним зусиллям. Усі зареєстровані відмінності у величинах морфопараметрів раметів *T. europea* із різних місцезростань є статистично достовірними, про що свідчать значення довірчого рівня (p), які не перевищують 0,05. У підсумку у кожному із угруповань формуються рослини *T. europea* із певними розмірними величинами та особливостями морфоструктури (рис. 1).

Таблиця 4

Величини провідних морфопараметрів раметів *Trientalis europea* у різних ценопопуляціях, що зростають у лісових фітоценозах Лівобережної частини України

Ценопопуляції	Морфопараметри та їх одиниці виміру[1]							
	H, см	WL, г	W, г	A, см^2	LAR, см^2/г	LWR, г/г	***a***, см^2	***wl***,г
	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\overline{X} \pm S_{\bar{x}}$
П1	7,9±0,36	0,2±0,04	0,30±0,051	17,7±3,67	57,8±2,31	0,70±0,030	2,9±0,45	0,03±0,005
П2	12,0±0,43	0,3±0,04	0,32±0,045	34,0±4,80	73,9±1,98	0,68±0,018	4,5±0,47	0,04±0,004
П3	15,0±0,55	0,1±0,01	0,13±0,019	11,4±1,65	94,6±9,50	0,70±0,071	2,0±0,25	0,01±0,001
П4	10,3±0,65	0,2±0,04	0,32±0,076	22,6±4,20	73,6±2,78	0,68±0,026	3,4±0,38	0,03±0,003
П5	9,3±1,03	0,5±0,05	0,58±0,071	38,1±4,50	65,8±1,47	0,80±0,018	5,3±0,43	0,06±0,005
П6	14,4±0,71	0,2±0,02	0,29±0,032	23,1±2,86	79,8±1,67	0,59±0,012	3,2±0,37	0,02±0,002
П7	13,2±0,60	0,2±0,02	0,24±0,025	6,9±0,76	28,1±0,62	0,68±0,015	1,0±0,01	0,02±0,002
П8	12,5±0,86	0,1±0,02	0,21±0,032	11,0±1,72	53,2±2,06	0,61±0,023	1,6±0,19	0,02±0,023
П9	13,3±2,20	0,1±0,01	0,20±0,033	15,4±1,78	81,5±6,62	0,61±0,049	2,3±0,16	0,02±0,001
П10	13,1±0,67	0,2±0,28	0,28±0,040	21,1±3,04	74,7±1,81	0,70±0,017	2,8±0,29	0,03±0,002
Довірчий рівень (p)	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,03125	0,00000	0,00000

Примітка: умовні позначення морфопараметрів відповідають таблицям 1 та 2.

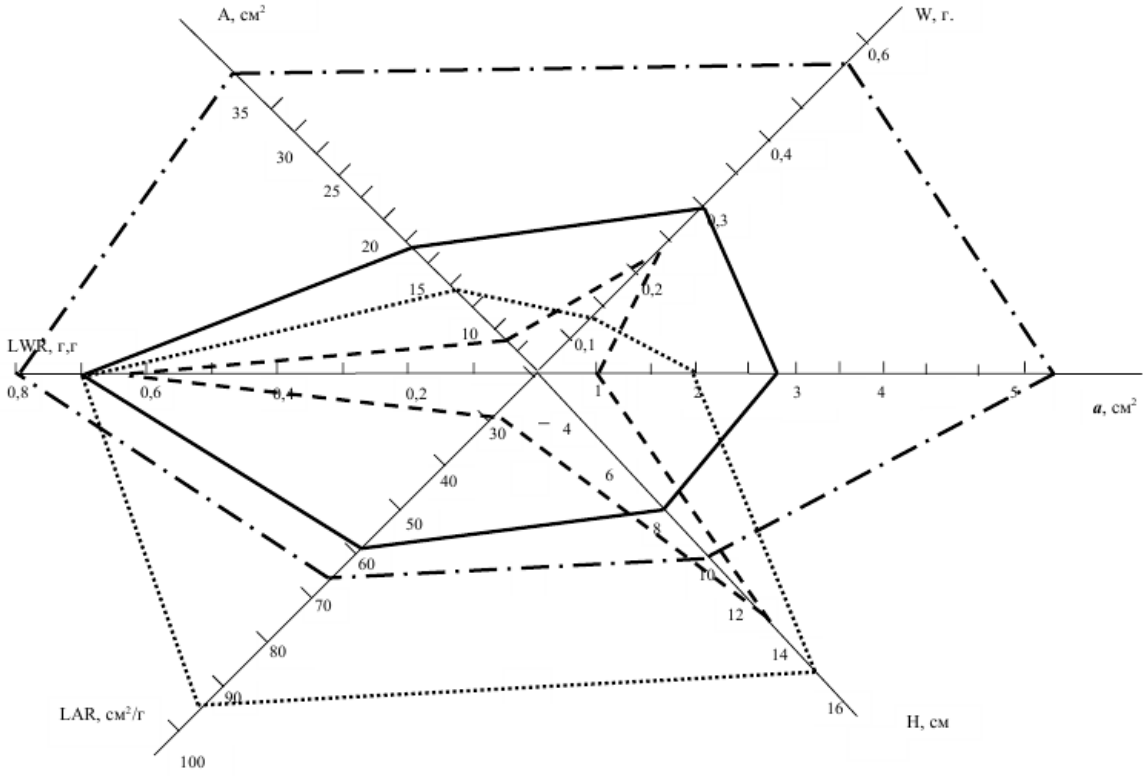

Рис.1 . Морфограми раметів *T. europea* із чотирьох угруповань лісової рослинності лівобережної частини України.

Betuleto (pendulae)–Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli)

Betuletum (pendulae) stellariosum (holosteae)

Pinetum (sylvestris) sphagnosum

Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae

За ознаками віталітетної структури одна ценопопуляція (із угруповання *Betuleto (pendulae)–Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli))* є депресивною, чотири (із угруповань *Populetum (tremulae) stellariosum (holosteae), Pinetum (sylvestris) sphagnosum, Pinetum (sylvestris) moliniosum (caeruleae), Pinetum (sylvestris) coryloso (avellanae)–vacciniosum (myrtilli))* – врівноваженими, та п'ять (із угруповань *Betuletum (pendulae) caricosum (pilosae), Betuletum (pendulae) stellariosum (holosteae), Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae), Pinetum (sylvestris) franguloso (alni)–vacciniosum (myrtilli), Pinetum (sylvestris) hylocomiosum)* – процвітаючими (табл. 5). Депресивній ценопопуляції відповідають значення індексу якості Q на рівні 0,15, врівноваженим – у межах 0,20–0,29, а процвітаючим 0,3824–0,5000 (рис. 2). Найвищі значення Q притаманні ценопопуляціям із угруповань *Betuletum (pendulae) caricosum (pilosae)* (Q = 0,4091), *Pinetum (sylvestris) franguloso (alni)–vacciniosum (myrtilli* (0,4500) та *Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae)* (Q = 0,5000).

Таблиця 5

Віталітетна структура ценопопуляцій *T. europea,*
що зростають у різних лісових фітоценозах лівобережної частини України

Ценопопуляції	Частка рослин різних класів віталітету			Якісний тип ценопопуляції
	a	b	c	
П1	0,1333	0,7333	0,1334	процвітаюча
П2	0,5455	0,2727	0,1818	процвітаюча
П3	0	0,3000	0,7000	депресивна
П4	0,2000	0,2000	0,6000	врівноважена
П5	0,2222	0,7778	0	процвітаюча
П6	0,5000	0,4000	0,1000	процвітаюча
П7	0,0833	0,5000	0,4167	врівноважена
П8	0,1538	0,3077	0,5385	врівноважена
П9	0,2500	0,2500	0,5000	врівноважена
П10	0,3529	0,4118	0,2353	процвітаюча

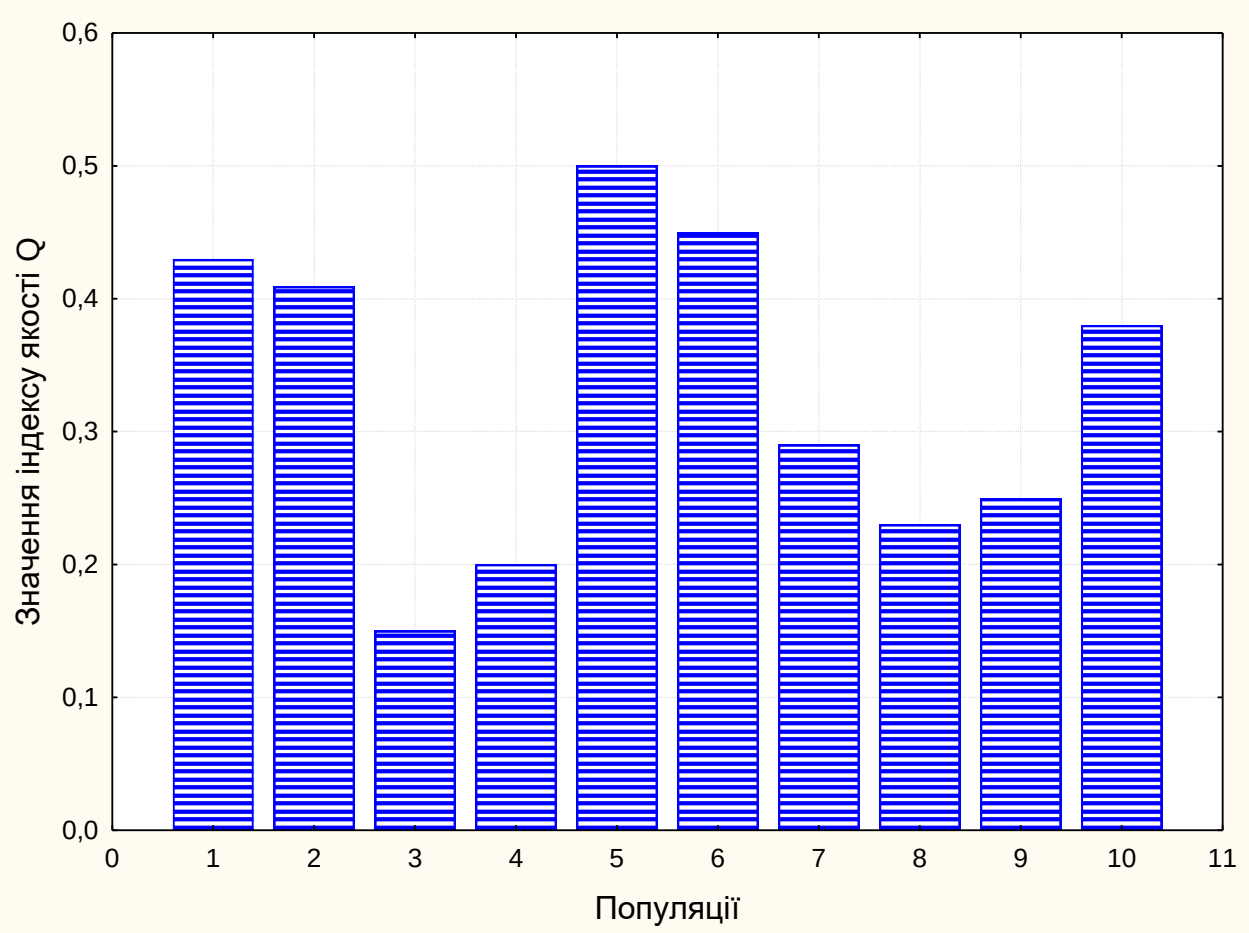

Рис. 2. Значення індексу якості Q ценопопуляцій *T. europea* у досліджуваних фітоценозах (нумерація популяцій відповідає табл. 1).

Обговорення. Результати вивчення розмірних величин раметів *T. europea* свідчать, що важливою складовою пристосування рослин цього виду до умов місцезростань є реалізація морфологічних адаптацій, які супроводжуються проявом як морфологічної мінливості (зміни у межах популяції абсолютних значень величин, що засвідчують показники похибки середніх арифметичних), а також морфологічної пластичності (зміни за популяціями середніх значень морфопараметрів) (табл. 4). Результатом та проявом морфоадаптацій є формування у кожному фітоценозі раметів *T. europea* із певними особливостями розміру та (або) морфоструктури. Наприклад, рослини із угруповання *Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae)* є одними із найбільших за розміром, а із *Betuleto (pendulae)–Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli)* – одними із найменших. При цьому ремети із останнього угруповання вирізняються значною висотою (15,0 ± 0,55 см) та одними із найбільших показників співвідношення між площею листкової поверхні та масою рослин (94,6 ± 9,50 см^2/г): такі ознаки зазвичай проявляються у рослин, що зростають у фітоценозах із низькою освітленістю. Здатність *T. europea* до формування морфоадаптацій як через зміну розмірних показників рослин, так і особливостей клоноутворення, відзначається у низці робіт (Piqueras, 1999; Piqueras et al., 1999; Taylor et al., 2002). При цьому проявляються зміни і у розмірних ознаках генеративних органів

(Hiirsalmi, 1969; Tikhodeyev & Tikhodeyeva, 2002, Tikhodeyev et al, 2003).

Наслідком та проявом адаптації раметів *T. europea* до умов місцезростань також є диференціація рослин за рівнем життєвості (віталітету), та, у підсумку, формування популяцій різних якісних типів. У досліджуваних фітоценозах Лівобережжя України репрезентовано популяції усіх трьох віталітетних категорій: від депресивних до процвітаючих. Тобто популяціям *T. europea,* як і популяціям інших видів, у тому числі й рідкісних, які зростають у складі лісових фітоценозів (Zlobyn et al., 2013), притаманне чітко виражене варіювання за місцезростаннями віталітетних характеристик.

Серед досліджуваних угруповань частка депресивних популяцій становить лише 10 %. Тобто результати віталітетного аналізу засвідчують досить високий рівень життєвості популяцій *T. europea* у лісових фітоценозах України. Популяції із високими значеннями індексу якості, та, відповідно, здатністю до сталого функціонування формуються під наметом шпилькових, мішаних, дрібнолистяних та широколистяних лісів. Зниження життєвості та розміру рослин здебільшого відбувається на тлі зростання загальної зімкнутості верхніх ярусів лісу (наприклад, в угрупованнях *Pinetum (sylvestris) coryloso (avellanae)–vacciniosum (myrtilli)*, *Betuleto (pendulae)–Pinetum (sylvestris) vacciniosum (myrtilli)),* збільшення щільності та проективного покриття видів, що формуються трав'яно-чагарничковий ярус (в угрупованні *Populetum (tremulae) stellariosum (holosteae))*, а також на перезволожених ґрунтах (в угрупованнях *Pinetum (sylvestris) sphagnosum, Pinetum (sylvestris) moliniosum (caeruleae)).* Отримані дані про вплив екочинників на стан популяцій загалом узгоджуються із літературними даними (Hryzlova & Vakhrameeva, 1990; Polianskaia, 2010, Patsias & Bruelheide, 2013) та відображують його властивості як виду-мезогігрофіту досить стійкого до дії стресових чинників.

Висновки. Пристосування популяцій *T. europea* до різних лісорослинних умов лівобережної частини України здійснюється при активній реалізації морфологічних адаптацій і супроводжується диференціацією рослин та популяцій за рівнем життєвості (віталітету). Комплексне вивчення розмірно-віталітетних ознак дозволяє поділити місцезростання за ступенем сприятливості щодо формування та існування популяцій цього виду, а також вивити екочинники, які проявляють найсуттєвіший вплив на стан його популяцій. Практична значущість таких досліджень, зокрема, полягає у використанні їхніх результатів при проектуванні фітоценокомпозицій із видів природної флори на основі екологічного та ценопопуляційного принципів. Так, при реалізації останнього підходу, при залученні до фітокомпозицій *T. europea* як модельні можуть бути використані угруповання березових (*Betuletum (pendulae) stellariosum (holosteae), Betuletum (pendulae) caricosum (pilosae)),* соснових (*Pinetum (sylvestris) franguloso (alni)–vacciniosum (myrtilli), Pinetum (sylvestris) hylocomiosum)* та широколистяних *(Acereto (platanoiditis)–Quercetum (roboris) coryloso (avellanae)–aegopodiosum (podagrariae)),* у яких зареєстровані процвітаючі ценопопуляції цього виду.

Бібліографічні посилання:

1. Da Ponte, E., Kuenzer, C., Parker, A., Rodas, O., Oppelt, N., & Fleckenstein, M. (2017). Forest cover loss in Paraguay and perception of ecosystem services: A case study of the Upper Parana Forest. Ecosystem Services, 24, 200–212. doi: 10.1016/j.ecoser.2017.03.009

2. Hegetschweiler, K. T., Fischer, C., Moretti, M., Hunziker, M. (2020). Integrating data from National Forest Inventories into socio-cultural forest monitoring – a new approach. Scandinavian Journal of Forest Research, 35(5–6). doi: 10.1080/02827581.2020.1799066

3. Karsenty, A . (2017). The World Bank's endeavours to reform the forest concessions' regime in Central Africa: lessons from 25 years of efforts. International Forestry Review, 19, 64–67. doi: 10.1505/146554817822295948

4. Li, Ya., Mei, B., Linhares-Juvena, T. (2019). The economic contribution of the world's forest sector. Forest Policy and Economics, 100, 236–253. doi: 10.1016/j.forpol.2019.01.004

5. Skliar, V. H. (2014). Pryrodne vidnovlennia providnykh lisoutvoriuvalnykh 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).

6. Purwestri, R. C., Hájek, M., Šodková, M., & Jarský, V. (2020). How Are Wood and Non-Wood Forest Products Utilized in the Czech Republic? A Preliminary Assessment of a Nationwide Survey on the Bioeconomy. Sustainability, 12(2), 566. doi: 10.3390/su12020566

7. Skliar, V., Kyrylchuk, K., Tykhonova, O., Bondarieva, L., Zhatova, H., Klymenko, A., Bashtovyi, M., & Zubtsova, I. (2020). Ontogenetic structure of populations of forest-forming species of the Left-Bank Polissya of Ukraine. Baltic Forestry, 26(1), 1–7. doi: 10.46490/BF441.

8. Källersjö, M., Bergqvist, G. & Anderberg, A. A. (2000). Generic realignment in primuloid families of the Ericales s. l.: a phylogenetic analysis based on DNA sequences from three chloroplast genes and morphology. Amer. J. Bot. journal, 87, 1325–1341. doi: 10.2307/2656725.

9. Hryzlova, O. V. & Vakhrameeva, M. H. (1990). Sedmychnyk evropeiskyi [The *Trientalis europaea]*. Biological flora of the Moscow region, 8, 198–209 (in Russian).

10. Piqueras, J. (1999). Herbivory and ramet performance in the clonal herb *Trientalis europaea* L. Journal of Ecology, (87), 450–460. doi: 10.1046/j.1365-2745.1999.00372.

11. Piqueras, J., Klimeš, L., & Redbo-Torstensson, P. (1999). Modelling the morphological response to nutrient availability in the clonal plant Trientalis europaea L. Plant Ecology, 141, 117–127. doi: 10.1023/A:1009845014687

12. Taylor, K., Havill, D. C., Pearson, J., & Woodall, J. (2002). *Trientalis europaea* L. Journal of Ecology, 90(2), 404–418. doi: 10.1046/j.1365-2745.2002.00644.x

13. Polianskaia, T. A. (2010). Ekolohycheskaia plastychnost sedmychnyka evropeiskoho (*Trientalis europaea* L.) v natsyonalnom parke «Maryi Chodra» [Ecological plasticity of the Europaea (Trientalis europaea L.) in the Mari Chodra National Park.]. Vestnyk Tomskoho hosudarstvennoho pedahohycheskoho unyversyteta, 3(93), 5–11 (in Russian).

14. Tvorogova, V. E., Gurina, A. A., Tkachenko, A. A., Lebedeva, M. A., Tikhodeyeva, M. Y. & Tikhodeyev, O. N. (2017). Stochastic variation of flower structure in Trientalis europaea L. Wulfenia, 24, 61–74.

15. Hiirsalmi, H. (1969). *Trientalis europaea* L. A study of the reproductive biology, ecology and variation in Finland. Annales Botanici Fennici, 6(2), 119–173.

16. Tikhodeyev, O. N. & Tikhodeyeva, M. Y. (2002). Flower development in *Trientalis europaea* L.: The possible role of environment and stochastic events. Wulfenia, 9, 77–87.

17. Tikhodeyev, O. N., Neustroeva, M. A. & Tikhodeyeva, M. Y. (2003). (+1) and (-1) deviations in development of floral meristems in *Trientalis europaea* L. Wulfenia 10, 103–114.

18. Kirchner, K., Kammermeier, S., & Bruelheide, H. (2009). The response of the pseudoannual species *Trientalis europaea* L. to forest gap dynamics in a near-natural spruce forest. Forest Ecology and Management, 257(3), 1070–1077. doi: 10.1016/j.foreco.2008.11.013

19. Ericson, L. & Wennström, A. (1997). The Effect of Herbivory on the Interaction between the Clonal Plant Trientalis europaea and Its Smut Fungus Urocystis trientalis. Oikos, 80(1), 107–111. doi: 10.2307/3546521

20. Wennström, A. & Ericson, L. (1990). The interaction between the clonal herb *Trientalis europaea* and the host specific smut fungus *Urocystis trientalis* (1990). Oecologia, 85, 238–240. doi: 10.1007/BF00319407

21. Carlsson, U., Elmqvist, T., Wennstrom, A. & Ericson L. (1990). Infection by Pathogens and Population Age of Host Plants. Journal of Ecology, 78(4), 1094–1105. doi: 10.2307/2260954

22. Ruotsalainen, A. L., Väre, H., Oksanen, J. & Tuomi, J. (2004). Root Fungus Colonization along an Altitudinal Gradient in North Norway. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2, 239–242. doi: 10.1657/1523-0430(2004)036[0239:RFCAAA]2.0.CO

23. Patsias, K. & Bruelheide, H. (2013). Climate change – Bad news for montane forest herb layer species? Acta Oecologica, 50, 10–19. doi: 10.1016/j.actao.2013.02.004

24. Parry, G., Woodall, J., Nuotio, S. & Pearson, J. (2000). Glutamine synthetase isoforms in *Trientalis europaea*: a biochemical and molecular approach. Plant and Soil, 221, 39–45. doi: 10.1023/A:1004728005931

25. Heobotanika: metodychni aspekty doslidzhen' (2018). [Geobotany: methodological aspects of research]. Vyd-vo Lira-K, Kyiv (in Ukrainian).

26. Zlobyn, Ju. A., Skljar, V. G., & Klymenko, A. O. (2013). Populjacyy redkyh vydov rastenyj: teoretycheskye osnovy y metodyka yzuchenyja [Populations of plants rare species: theoretical basics and methodology of investigation]. Unyv. knyga, Sumy (in Russian).

Sherstiuk M. Yu., *PhD (Biological Sciences), Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*

CONDITION OF PLANTS AND POPULATIONS OF TRIENTALIS EUROPAEA L.WITHIN FOREST PHYTOCENOSES OF UKRAINIAN LEFT BANK

Based on the use of morphometric and vitality analysis, the condition of plants and populations of Trientalis europaea L. in 10 phytocenoses of coniferous, mixed, small-leaved and deciduous forests, typical for the Left Bank of Ukraine, was assessed. The morphometric analysis took into account seven static and two allometric indicators. Vitality analysis was conducted according to the method of Yu.A. Zlobin, based on the height of plants, total phytomass and leaf surface area. It is shown that plants from different forest vegetation conditions are statistically significantly different in the values of all studied morphoparameters and in each phytocenosis the formation of Trientalis europaea ramets of characteristic size and morphostructure takes place, which is clearly proved on the basis of morphograms. That is, the adaptation of plants of this species to habitat conditions occurs with the widespread implementation of morphoadaptations, which are accompanied by the manifestation of both morphological variability and morphological plasticity.

The consequence and manifestation of the adaptation of Trientalis europea ramets to habitat conditions is the differentiation of plants according to the level of vitality, and, as a result, the formation of populations of different qualitative types. In the forest phytocenoses of the Left Bank of Ukraine, populations of all three vitality categories are represented: depressed, balanced and prosperous.

Among the studied groups, the share of depressed populations is only 10 %. So, the results of vitality analysis indicate a fairly high level of viability of populations of Trientalis europea in forest phytocenoses of Ukraine. Prosperous populations with a high capacity for sustainable functioning are formed under the tent of coniferous, small-leaved and deciduous forests. The decline in plant viability and size is mainly due to an increase in the general closure of the upper tiers of the forest, an increase in the density and projective cover of species forming grass-shrub tiers, as well as on wet soils.

Key words: *morphometric analysis, vitality analysis, morphological variability and plasticity, morphograms, vitality structure.*

Дата надходження до редакції: 25.12.2020 р.

УДК 624.131.46

СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СКЛАД ҐРУНТУ ПІД РІЗНИМИ СИДЕРАТАМИ У МІЖРЯДДЯХ *GINKGO BILOBA* L.

Ярощук Роман Анатолійович
кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-2591-5592
jaroschukr@ukr.net

Захарченко Еліна Анатоліївна
кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-9291-3389
elionapolis@gmail.com

Коваленко Ігор Миколайович
доктор біологічних наук, професор,
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-4957-2352
kovalenko_977@ukr.net

Ярощук Світлана Іванівна
кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-6125-1979
svitlana.zh.ua@ukr.net

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

Гінкго білоба (*Ginkgo biloba* L.) для України є екзотичною рослиною, яка на даний час стає популярною для озеленення парків. Рослинна сировина (листки) використовуються як лікарська і у контексті органічного виробництва має фармацевтичну значущість. В Сумському національному аграрному університеті гінкго білоба вирощується з метою отримання органічної сировини розсадним способом; молоді саджанці пересаджуються у відкритий ґрунт, на ділянку, де догляд за рослинами відбувається без застосуванням пестицидів та синтетичних мінеральних добрив. Міжряддя між рослинами гінкго 2,5 м і у разі високої температури та посушливого вегетаційного періоду відсоток виживання особин знижується. Тому застосування сидеральних рослин у міжряддях гінкго білоба може допомогти рослині подолати температурний стрес, зрегулювати структурний та поживний стан ґрунту. У дослідженнях використано достатньо розповсюджені у Лісостепу України сидерати: фацелія, конюшина біла, конюшина червона, райграс однорічний, еспарцет піщаний, гірчиця біла. Сидерати висівалися у третю декаду квітня у міжряддя досліджуваного виду. Наприкінці серпня відібрано ґрунтові зразки на визначення структурно-агрегатного складу ґрунту пошарово 0–10, 10–20 і 20–30 см, які після достигання повітряно-сухого стану були просіяні (сухий метод) і визначено відсотки часток ґрунту з різними діаметрами та коефіцієнт структурності ґрунту. Відсотки агрономічно цінної структури залежали від механічного обробітку ґрунту, що здійснювався на варіанті без сидератів та від видів сидератів, гідротермічних умов років дослідження. На варіанті без сидератів за механічного рихлення для боротьби з бур'янами отримано найвищий відсоток агрегатів діаметром 10–0,25 мм у шарах 0–10 і 20–30 см, відповідно по цих глибинах і найвищий коефіцієнт структурності. Утримання міжрядь під такими сидератами як гірчиця біла, конюшина біла сприяло формуванню у шарі 0–10 см доброго структурного стану. В шарі 10–20 см коефіцієнт структурності був найвищий на варіанті із конюшиною білою, відповідно агрономічно цінна структура становила 69,6 %, дещо менше на гірчиці 68,3 % та еспарцеті 68,8 %. В шарі 20–30 см еспарцет і конюшина біла серед сидератів показали найкращий результат, коефіцієнт структурності становив 2,7.

В подальшому дослідження ефективності покривних культур на ґрунтові режими, стан та розвиток гінкго білоба будуть продовжені і підбиратимуться кращі сидерати з оптимальними нормами та строками висіву та догляду за рослинами.

Ключові слова: *Ginkgo biloba*, сидерати, покривні культури, структура ґрунту, міжряддя, коефіцієнт структурності, однорічні трави, багаторічні трави.

DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.4

Вступ. Дослідження з впливу сидератів на агрофізичні властивості ґрунтів, водний режим ведуться досить давно і накопичено достатньо інформації щодо доцільності їх вирощування у різних грунтово-кліматичних зонах України та інших країн (Shuvar et al., 2015; Karpenko, 2019). Ще на початку

минулого століття на Сумщині агрономи звітували про прибавки врожаю зернових і просапних культур (Bondarenko, 2004; Prokopenko, 2020), та й до сьогодення досліди продовжуються (Zakharchenko & Mischenko, 2017). В міжряддях плодових та декоративних насаджень сидерати у країні почали використовувати останні десятиріччя. З глобальним потеплінням спостерігається зміна температурного режиму, в той же час випадіння опадів має непрогнозований характер, період зі стресовими для рослин умовами стає більш тривалим. Сидерати як післяжнивна культура чи культура міжрядь садів, плантацій декоративних дерев, зокрема, гінкго білоба, у посушливих умовах можуть забезпечити вкриття верхнього шару грунту, що буде сприяти збереженню вологи впродовж вегетаційного періоду, створенню добре оструктуреного грунту з достатньою аерацією. Підбір сидератів здійснюється на основі їх вибагливості до таких факторів як гранулометричний та мінералогічний склад грунтів, вміст поживних елементів, солей, і, у тому числі, враховується посухостійкість культури, що наразі є вельми актуальним.

В Україні асортимент сидеральних культур поступово збільшується, що викликано вивченням їх впливу на ріст та розвиток основних культур. В умовах Сумської області гарні результати показують такі сидерати як люпини, буркун білий, еспарцет, редька олійна, ріпак ярий, гірчиця, райграс однорічний, овес, віка, змішані посіви (Prokopenko et al., 2020; Mischenko, 2017). Також у міжряддях саду гарний ефект досягається з висівом трави з неглибокою мичкуватою системою, що здатна давати декілька укосів за сезон. Скошена трава, мульча з соломи сприяють вологозбереженню та теплорегуляції, нівелює дію різких перепадів температур, стимулює мікробіологічну діяльність та покращує поживний режим грунту (Tomchuk, 2020; Khamurzaev et al., 2020). Але відмічається і мінус, у залишених органічних рештках можуть заводитися гризуни, що може негативно відбиватися на молодих насадженнях та поруч розташованих ділянках з іншими культурами через їх пошкодження. Піщані та супіщані грунти першочергово потребують мульчування органічними рештками чи травою.

В різних кліматичних зонах підбір сидератів, вивчення їх ефективності здійснюється з метою встановлення їх впливу на структурний стан грунту (діаметр структурних агрегатів та їх співвідношення), водний режим, накопичення органічної речовини, поживних речовин, щільність, пористість грунтів, а також на урожайність та якість сільськогосподарської продукції, стан та розвиток рослин у плодових садах та декоративних розсадниках (Liu et al., 2005).

Сидерати можуть використовувати і у сумішах, для цього потрібно підбирати рослини без алелопатичного впливу одна на одну та задля доповнення у біоценозі для формуванні родючості грунтів. Так, вивчаючи щільність довжини кореня та частину довжини коренів у великих біопорах до зими та після зими методом профільної стінки, німецькі вчені зазначили високі показники щільності для коренів жита озимого та конюшини багряної, але більша їх вага була у верхніх шарах грунту (Kemper et al., 2020). Редька олійна, ріпак озимий та фацелія характеризувалися глибоким проникненням коренів у грунті та материнській породі, вівсюг щетинистий мав проміжні значення серед сидератів, люпин – найнижчі показники як у верхніх шарах, так і у глибших. Фацелія, олійна редька, ріпак озимий та вівсюг показали найбільшу частку довжини коренів у біопорах. Ці додаткові характеристики дозволяють припустити, що комбінування покривних культур різних типів коренів може бути використано для планування посівів на грунтах різного складу та кліматичних особливостей.

Застосування пожнивних сидератів (редька олійна, гречка посівна, фацелія пижмолистна) зменшує кількість бур'янів та засміченість грунту насінням бур'янів в умовах чорнозему типового середньосуглинкового малогумусного на лесі в умовах дослідних полів Сумського національного аграрного університету (далі СНАУ), м. Суми (Mishchenko & Zakharchenko, 2019). Використання гороху та еспарцету у північній Болгарії в якості сидерату показали найкращу прибавку в урожайності культур та покращенні фізико-хімічних властивостей грунтів (Pachev, 2014). В тропічних умовах сидератами можуть виступати інші культури, такі як просо, сорго зернове, просо африканське та інші, які є важливою складовою у технологіях вирощування культур, в той же час вони покращують родючість грунту, а саме агрегатний склад, фракції вуглецю та азоту, регулюють реакцію грунтового середовища (Rigon, 2020).

В Сполучених Штатах Америки загальна площа покривних культур становить 3,2 % зібраних урожаїв у національному масштабі (Basche & Roesch-McNally, 2017). Використання сидератів може бути проблематичним, особливо у посушливі вегетаційні періоди. Іноді проявляється алелопатичний ефект сидерату на основну культуру, у міжряддях якої або після жнив він був використаний. Є також відомості із зниженням позитивного ефекту сидератів як конкурента основній культури, який споживає воду, що спостерігається у дуже посушливі роки. Наступній культурі може не вистачати запасів продуктивної вологи, тому важливо вивчати різні сидеральні культури у різних грунтово-кліматичних зонах (Delgado & Gantzer, 2015).

При вирощуванні ягідних і фруктових рослин, міжряддя мульчують соломою та використовують різні покривні штучні матеріали-плівки. Під час вивчення соломи у якості мульчуючого матеріалу, вказано на збільшення кількості часток діаметром 1–20 мм у суглинистих пісках, але ніякого ефекту у супіщаних глинистих суглинках помічено не було (Christensen, 1986). Солома не впливала на розмір частинок різних агрегатних фракцій. В обох ґрунтах вміст соломи збільшував вміст органічної речовини майже у всіх глинистих та мулових фракціях; для мулу це, як правило, було вдвічі більше, ніж для глини.

Під час розкладання рослинних залишків у ґрунті C та N швидко зв'язуються зі стабільними агрегатами (Angers et al., 2005). Вміст карбону збільшується із розміром агрегату грунту, що зумовлено молодим органічним вуглецем (Puget & Chenu, 1995). Для мікроагрегатів концентрації нативного вуглецю та міченої органічної речовини підвищувалися із зменшенням їх розміру. ^{14}C в органічній речовині у розмірному класі 0,125–0,25 мм був більш лабільним, ніж у макроагрегатів (Kristiansen, 2006). Російські вчені відмічають, що у міжряддях вишневого саду під чорним паром за 4–5 років грунт дуже ущільнюється, а під сидератами та багаторічними травами такого ефекту не спостерігається (Aliev, 2019).

Як видно, дослідження в усьому світі проводяться з вивчення ефективності тих чи інших покривних, сидеральних культур, з метою покращення росту та розвитку рослин, запобігання стресам рослин у результаті високої температури

або тривалого посушливого періоду. Паралельно з цим, враховується вплив покривних культур на родючість грунту і формуванні органічної речовини, виділення вуглекислого газу.

Цінність досліджень щодо забезпечення умов якісного вирощування *Ginkgo biloba* L. полягає у наступному:

1) економічний ефект. Оскільки листя досліджуваного виду заготовлятимуть та перероблятимуть в Україні, то ціна на нього у висушеному стані для виготовлення фармацевтичних препаратів значно подешевшає, що матиме позитивний ефект для споживачів;

2) екологічний ефект. Новостворена плантація, у першу чергу, сприятиме покращенню кисневого балансу навколо прилеглих територій;

3) естетичний ефект. Листя інтродуцента має декоративну форму за рахунок чого рослину можна використовувати при озелененні територій (Yaroshchuk, 2016).

Метою досліджень є вирощування *Ginkgo biloba*, як органічної сировини з використанням рослин на сидерат і вивчення впливу сидеральних культур на структурно-агрегатний стан грунту в умовах північно-східного Лісостепу України.

З цією метою проводиться ряд досліджень із вивчення різних елементів технології розмноження рослин (Kovalenko et al., 2020). Враховуючи позитивні перспективи створення промислової сировинної бази для заготівлі органічної сировини (листя у фармацевтичних цілях) (Yaroshchuk, 2016), однією із складових якої є менші витрати на виробництво вітчизняних препаратів за участю цінного інтродуцента, доцільним є проведення досліджень щодо ефективності вирощування *Ginkgo biloba* у вище зазначеному регіоні дослідження.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проведені на полях навчально-наукового виробничого комплексу СНАУ, м. Суми. Ділянка, на якій вирощується *G. biloba* з 2018 року, знаходиться у перехідній стадії як «органічна» в очікуванні сертифікату від Органік Стандарт. Органічні та мінеральні добрива або пестициди не вносилися під час проведення досліджень.

Дворічні рослини гінкго було висаджено у відкритий грунт у 2017 та у 2018 роках. Міжряддя між даними рослинами становили 250 см х 75 см.

Норма сівби рослин на сидерат: райграсу однорічного 18 кг/га, фацелії 12 кг/га, конюшини білої 10 кг/га, конюшини червоної 18 кг/га, гірчиці білої 12 кг/га, еспарцету 80 кг/га. Площа кожного варіанту становила 0,025 га. Контролем був неудобрений фон, тобто без сидератів. Сівба рослин на сидерат здійснювалася у кінці квітня. У 2019 році сидерати подрібнювали дисковими боронами і лишали у міжряддях, у 2020 було два покоси: початок липня та кінець серпня.

Для визначення структурно-агрегатного стану грунту зразки були відібрані у кінці серпня пошарово до 30 см з кроком у 10 см. Зразки були доведені до повітряно-сухого стану і методом сухого просіювання за І. Саввіновим було визначено діаметри агрегатів на ситах 10–0,25 мм (+ піддон, агрегати менше 0,25 мм). Для кожної ділянки та глибини розрахована частка агрегатів від загальної ваги зразка грунту. Агрегати 10–0,25 мм складали і отримували частку агрономічно цінної структури (макроструктурні агрегати). Для обрахунку коефіцієнту структурності, масу агрономічно цінної структури ділили на суму часток розміром більше 10 мм і менше 0,25 мм. Зазвичай, сухе просіювання супроводжується визначенням структури грунту методом мокрого просіювання, але його результати будуть метою нашої наступної публікації. За думкою вчених, використання мокрого просіювання дає більш якіснішу та кількіснішу інтерпретацію мікробного угруповання грунту (Robertson et al.; Blaud et al., 2017).

В 2019 році середньодобова температура повітря становила 10,2 ^{0}C, що на 2,8 ^{0}C вище багаторічного показника. Абсолютний максимум її 35 ^{0}C відмічений у липні у третій декаді. Сума опадів за рік становила 466 мм, що на 127 мм менше за багаторічну норму. Абсолютний максимум температури повітря фіксувався на рівні 35 ^{0}C, мінімум – 14 ^{0}C, кількість днів з опадами – 70.

Метеорологічні спостереження протягом вегетаційного періоду 2020 року показали, що у квітні середня температура становила 7,8 ^{0}C, що на 0,9 ^{0}C менше багаторічного показника. Кількість опадів була на 30 % менша за багаторічного показника і становило всього лише 12 мм. На поверхні грунту відмічалися приморозки до -10 ^{0}C. У травні середньодобова температура була нижче багаторічної на 2,1 ^{0}C і становила 13,5 ^{0}C, у той же час кількість опадів (93 мм) була на 172 % більше за багаторічну. Також у цьому місяці спостерігалися три приморозки на поверхні грунту до -2 ^{0}C, останній зафіксовано 22 травня. Червень місяць був достатньо теплим і середньодобова температура (23,3 ^{0}C) була вище багаторічного показника на 4,5 ^{0}C. Опадів було недостатньо (51 мм), що становило 76 % від багаторічних цифр. Липень також був теплим, особливо перша та третя декади. Середньодобова температура була близькою до середньобагаторічної (22,0 ^{0}C, + 2^{0}C до середньої). Кількість опадів (97 % – 74 мм) майже дорівнювала багаторічній нормі. Середньодобова температура повітря за серпень склала 20,9 ^{0}C при багаторічній 19,2 ^{0}C. Місяць був дуже посушливим і випало лише 0,9 мм опадів, що є 1,7 % від багаторічної норми (57 мм). Всього за літо було 13 днів з опадами. Максимальна температура на поверхні грунту у червні спостерігалася у третій декаді + 65 ^{0}C, у липні цей показник був вище за середньобагаторічні показники, температура була 62–58–51 ^{0}C у I-II-III декадах липня. Серпень також відрізнявся від багаторічних показників, особливо у другій–третій половині місяця, на грунті було 53 ^{0}C у II декаді і у III декаді до 52 ^{0}C.

Результати досліджень. В табл. 1 представлено результати обрахунку відсотку структурних агрегатів за діаметром у зразках грунту, відібраних у 2019 році наприкінці серпня.

Таблиця 1

Структурно-агрегатний склад ґрунту за різних сидератів (2019 р.)

№	Варіант досліду	Глибина відбору зразків, см	Відсоток структурних агрегатів за розміром діаметру, %/мм							
			> 10	10–7	7–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
1	Без сидерату	0–10	8,8	5,6	16,4	20,8	14,4	9,9	12,1	12,0
		10–20	7,6	5,6	6,5	18,4	18,4	8,4	12,0	23,1
		20–30	2,0	5,0	5,5	22,0	21,4	7,7	12,6	23,8
2	Фацелія	0–10	12,9	4,5	5,5	16,3	17,4	11,0	13,9	18,5
		10–20	19,6	7,2	7,7	20,2	14,6	7,3	9,5	13,9
		20–30	17,7	5,8	5,0	18,0	17,2	7,7	10,5	18,1
3	Конюшина червона	0–10	10,6	4,5	6,0	16,9	19,8	7,6	12,2	22,4
		10–20	3,2	1,9	4,9	16,4	20,1	9,9	14,3	29,3
		20–30	11,7	5,8	5,2	19,4	19,1	7,1	10,9	20,8
4	Конюшина біла	0–10	4,2	2,4	2,8	15,7	22,2	10,1	15,1	27,5
		10–20	6,5	5,5	4,4	19,4	20,5	7,6	11,7	24,4
		20–30	4,4	2,9	5,6	25,6	21,6	8,4	11,2	20,3
5	Райграс однорічний	0–10	26,5	2,9	3,9	11,3	17,4	8,6	11,8	17,6
		10–20	4,6	5,6	4,6	16,4	18,8	9,4	13,6	27,0
		20–30	8,9	9,2	6,1	17,7	16,9	8,9	11,1	21,2
6	Гірчиця біла	0–10	9,8	4,1	7,6	19,6	17,7	9,3	14,0	18,2
		10–20	21,2	8,4	6,2	18,5	14,6	6,9	9,6	14,6
		20–30	16,4	5,7	7,0	22,9	17,9	6,5	8,7	14,9
7	Еспарцет	0–10	3,4	3,4	2,8	13,7	19,9	11,6	16,2	29,0
		10–20	7,3	3,4	4,6	15,2	19,6	8,9	13,4	27,6
		20–30	4,9	3,8	4,8	18,5	21,3	8,8	12,5	25,4
	$НІР_{05}$	0–10	1,1	0,6	1,4	1,9	1,2	0,8	1,6	0,7
		10–20	1,8	1,7	0,4	2,0	1,1	0,4	1,3	1,1
		20–30	2,0	0,9	1,3	1,0	1,0	0,8	0,5	1,3

Як видно з табл. 1, структура грунту під різними покривними культурами і на різній глибині відрізняється за значеннями. У 2019 році під фацелією кількість агрегатів менше 0,25 мм знаходиться майже на одному рівні на глибинах 0–10 і 20–30 см (18,5–18,1 %). В шарі 0–10 см збільшується частка глибистих агрегатів та агрегатів розміром 10–2 мм.

Під конюшиною червоною спостерігалася зворотна тенденція. На глибині 10–20 см значно збільшилася частка агрегатів менше 2 мм, особливо двох найдрібніших фракцій.

Під конюшиною білою не виявлено таких змін, як під конюшиною червоною, але, як і у фацелії, частка глибистих агрегатів була більше у шарі 10–20 см. В даному випадку підвищився і відсоток агрегатів діаметром 7–2 мм. Тим не менш, частка найдрібніших агрегатів зменшилася з глибиною з 27,5 % до 30 %.

Під райграсом однорічним спостерігалася найбільша кількість макроструктурних агрегатів більше за 10 мм у діаметрі серед всіх сидератів – 26,5 %. На глибині 10–20 см, як і у випадку з конюшиною червоною відмічений спад їхньої кількості та особливо велика різниця між значеннями по всіх шарах грунту у відсотках агрегатів діаметром менше 0,25 мм.

Під гірчицею білою у 2019 році також відмічається перепад у значеннях з глибинами. На глибині 10–20 см найбільших за діаметром агрегатів найвищий відсоток 21,2 %, встановлено і збільшення часток діаметром 5 і менше мм.

Під еспарцетом, як і під конюшиною червоною, отримано збільшення фракції діаметром менше 1 мм в шарі 0–10 см. У наступному шарі дещо збільшується відсоток часток діаметром більше 1 мм, 5–2 мм. На глибині 20–30 см відбувалося підвищення частки агрегатів менше 5 мм.

Відмічається стабільність агрегатів діаметром 7–5 мм по варіантах досліду у шарі 10–20 см, дуже близькі величини у сидератів, окрім фацелії та гірчиці.

На ділянці без сидерату більший відсоток мали агрегати діаметром 5–2 мм – 20,8 %, а найменший – 10,7 % в шарі 0–10 см, а у шарі 10–20 см мали найвищий відсоток агрегати менше 0,25 мм та 5–1 мм.

В табл. 2 представлені результати визначення структурного стану у зразках ґрунту 2020 року.

Таблиця 2

Структурно-агрегатний склад ґрунту за різних сидератів (2020 р.)

№	Варіант досліду	Глибина відбору зразків, см	Відсоток структурних агрегатів за розміром діаметру, %/мм							
			> 10	10–7	7–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
1	Без сидерату	0–10	3,2	4,7	4,6	19,3	22,5	8,5	14,0	23,2
		10–20	3,7	4,0	4,2	18,4	20,0	9,2	13,9	26,6
		20–30	0,6	4,6	8,5	28,3	20,6	7,9	11,0	18,5
2	Фацелія	0–10	4,8	4,5	5,5	15,6	19,2	8,5	15,1	26,8
		10–20	3,4	4,2	5,8	17,7	19,1	7,4	13,2	29,2
		20–30	6,6	6,1	6,7	21,8	20,0	8,2	8,2	22,4
3	Конюшина червона	0–10	6,7	3,6	4,1	16,2	17,6	8,0	14,1	29,7
		10–20	2,3	1,9	4,4	17,5	17,5	8,7	13,5	34,2
		20–30	5,7	5,4	6,4	21,5	19,7	6,9	11,0	23,4
4	Конюшина біла	0–10	6,8	2,7	5,4	19,7	21,6	7,6	12,6	23,6

№	Варіант досліду	Глибина відбору зразків, см	Відсоток структурних агрегатів за розміром діаметру, %/мм							
			> 10	10–7	7–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
		10–20	5,6	3,7	6,4	20,9	19,4	8,0	11,7	24,3
		20–30	8,2	8,4	6,9	21,2	17,4	7,0	9,9	21,0
5	Райграс однорічний	0–10	9,2	4,8	5,6	6,8	16,6	19,4	13,1	24,5
		10–20	5,8	3,5	4,2	16,1	18,3	7,3	12,8	32,0
		20–30	5,1	4,3	5,0	21,1	19,0	7,5	11,1	26,9
6	Гірчиця біла	0–10	3,7	2,3	5,0	19,4	18,3	11,5	10,5	22,4
		10–20	3,9	4,7	5,8	22,1	19,5	8,2	11,8	24,0
		20–30	4,4	3,9	5,5	20,1	21,4	7,9	12,6	24,2
7	Еспарцет	0–10	3,2	2,4	5,2	18,6	21,7	8,4	13,4	27,1
		10–20	3,3	4,1	5,2	21,4	20,9	8,1	12,8	24,2
		20–30	5,1	7,0	8,5	24,1	19,5	6,9	10,0	18,9
	$НІР_{05}$	0–10	1,1	0,8	0,4	0,7	0,7	0,5	0,6	0,8
		10–20	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,9	0,5
		20–30	0,7	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,8	0,5

У 2020 році на ділянці з сидератами спостерігається більше накопичення з глибиною найдрібнішої фракції у шарі 10–20 см. У шарі 0–10 см частки менше 0,25 мм та 2–1 мм, 5–2 мм у діаметрі відрізнялися більшими відсотками – 23,2 %, 22,5 %, 19,3 % відповідно.

Під фацелією сформувався горизонт 0–30 см з більш вищим відсотком фракції менше 0,25 мм, значення знаходяться у межах 22,4–29,7 %.

Під конюшиною червоною також відмічена подібна тенденція, як і у фацелії, в шарі 10–20 см маємо вищі цифри часток діаметром менше 0,25 мм за показники на інших глибинах. Причому саме під фацелією тут найвищий показник серед усіх варіантів – 34,2 %.

На ділянці з конюшиною білою з глибиною також відбувається перерозподіл часток з різними діаметрами. Виявлений більший відсоток фракції менше 0,25 мм по всіх глибинах, далі частки 5–1 мм у діаметрі. Оцінюючи розподіл фракцій треба відмітити, що у більшості варіантів відбувається суттєве зниження відсотку часток 1–0,5 мм, причому різниця як за глибиною, так і між сидератами не така різка, як по інших за розміром часток, за винятком райграсу. Під ним більший відсоток мали як раз частки менше 0,25 мм – 24,5–32,0 %, 2–1 мм – 16,6–19,0, 1–0,5 мм – 19,4 %–7,3 %.

На ділянці з гірчицею між глибинами відсутні різкі перепади у показниках, як у попередніх варіантах. Також вищий відсоток фракції менше 0,25 мм та 5–1 мм. Схожу картину маємо і під еспарцетом, але тут простежується істотне зниження фракції менше 0,25 мм з глибино за рахунок збільшення часток з діаметром більше 2 мм.

В табл. 3 представлено дані розрахунку коефіцієнту структурності грунту за два роки досліджень і у середньому, та частку агрономічно цінної структури з діаметром 10–0,25 мм.

Таблиця 3

Агрономічно цінна структура та коефіцієнт структурності ґрунту у роки досліджень

№	Варіант	Глибина відбору зразків, см	Коефіцієнт структурності			Частки розміром 10–0,25 мм, %		
			2019	2020	Середнє за 2019–2020 рр.	2019	2020	Середнє за 2019–2020 рр.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Без сидерату	0–10	3,8	2,8	3,3	79,2	73,6	76,4
		10–20	2,3	2,3	2,3	69,3	69,7	69,5
		20–30	2,7	4,2	3,4	80,9	80,9	80,9
2	Фацелія	0–10	2,2	2,2	2,2	68,6	68,4	68,5
		10–20	1,9	2,0	1,9	66,5	67,4	67,0
		20–30	1,8	2,4	2,1	64,2	71,0	67,6
3	Конюшина червона	0–10	2,0	1,7	1,8	67,0	63,6	65,3
		10–20	2,1	1,7	1,9	67,5	63,5	65,5
		20–30	2,1	2,4	2,2	67,5	70,9	69,2
4	Конюшина біла	0–10	2,1	2,3	2,2	68,3	69,6	69,0
		10–20	6,3	2,3	4,3	69,1	70,1	69,6
		20–30	3,0	2,4	2,7	75,3	70,8	73,1
5	Райграс однорічний	0–10	1,3	1,9	1,6	55,9	66,3	61,1
		10–20	2,2	1,6	1,9	68,4	62,2	65,3
		20–30	2,3	2,1	2,2	69,9	68,0	69,0
5	Гірчиця біла	0–10	2,6	2,6	2,6	72,0	67,0	69,5
		10–20	1,8	2,6	2,2	64,2	72,4	68,3
		20–30	2,2	2,5	2,3	68,7	71,4	70,1
7	Еспарцет	0–10	2,1	2,3	2,2	67,6	69,7	68,7
		10–20	1,9	2,6	2,3	65,1	72,5	68,8
		20–30	2,3	3,1	2,7	69,7	76,0	72,9
	$НІР_{05}$ для шару 0–30 см		0,3	0,2		0,6	0,4	

Як видно з табл. 3, частка агрономічно цінних агрегатів у 2019–2020 рр. на всіх варіантах знаходилася у межах: у шарі 0–10 см – 55,9–79,2 %, 10–20 см – 62,2–72,5 %, 20–30 см – 64,2–80,9 %. Без сидерату частки 10–0,25 мм були у межах 69,3–80,9 % з найменшими значеннями у шарі 10–20 см. Треба відмітити однакові значення цифр для шару 20–30 см – 80,9 % в обох роках досліджень. Також неістотна різниця значень для шару 10–20 см. Але у 2020 р. у шарі 0–10 см було дещо менше агрономічно цінних агрегатів, аніж у 2020, можливо, через екстремальні посушливі умови у літній період. Коефіцієнт структурності був найвищим на цьому варіанті у шарі 0–10 см та у 2020 р. у шарі 20–30 см.

На ділянці з фацелією у 2019 р. проявилася тенденція до незначного зниження частки цінних агрегатів з глибиною, але у 2020 р. у глибшому шарі цифри були вищими за всі, що отримані на цьому варіанті.

Конюшина червона створила у шарі 0–30 см структуру з діаметром 10–0,25 мм на рівні 67,0–67,5 % у 2019 р., у 2020 р. отримано збільшення їх на глибині 20–30 см. Конюшина біла мала тенденцію до збільшення часток з глибиною, особливо значна різниця була у 2019 році.

У варіанті з райграсом отримана найменша кількість структурних агрегатів розміром 10–0,25 мм, у верхньому шарі у 2019 р. – 55,9 %, коефіцієнт структурності склав 1,3. Але з глибиною показники стабілізувалися і є на рівні інших сидеральних ділянок, дещо з вищими цифрами.

Щодо гірчиці білої, то не дивлячись на різницю у показниках 2019–2020 рр. у шарі 0–10 см (72 і 67 %), коефіцієнт структурності був однаковим – 2,6. В шарі 10–20 см по роках спостерігається зворотна тенденція. В цілому у 2019 р. у шарі 0–30 см коефіцієнт структурності становив 1,8–2,6, у 2020 р. – 2,5–2,6.

Під еспарцетом з глибиною у 2020 р. коефіцієнт структурності мав тенденцію до підвищення.

Обговорення. Як вже зазначалося, при пересадженні сіянців *G. biloba* у відкритий грунт та у подальшому догляді за рослинами, не були застосовані мінеральні та органічні добрива і пестициди, навесні міжряддя були засіяні сидеральними культурами, які для Лісостепу України показують гарний результат.

Групою вчених встановлено по результатах 21-річного досліду на антросолях (Китай), що тривале внесення добрив сприяє утворенню агрегатів 0,5–2 мм і зменшує кількість агрегатів менше 2 мм, особливо при внесенні гною та NPK (Zhang et al., 2016). В полі з чорним паром зменшується кількість агрегатів розміром більше 2 мм на всіх глибинах та значно підвищується кількість агрегатів розміром менше 0,5 мм на глибині 10–30 см, порівняно з контролем (неудобрений варіант). При застосуванні органічних добрив та NPK збільшувалися агрегати більше 2 мм за діаметром на всіх глибинах грунту та збільшувалася частка макроагрегатів розміром 1–2 мм щодо контролю. Встановлена позитивна кореляція розміру та відсотку агрегатів з довжиною гіфу, гуміновою кислотою, фульвокислотою, вільними оксидами заліза, вмісту органічної речовини, вмісту калію, електропровідності. Частки макроагрегатів розміром більше 2 мм суттєво корелювали із зазначеними параметрами, за винятком електропровідності. Частка 1–2 мм не корелювала із вказаними параметрами. Частка агрегатів 0,25–0,053 мм була позитивно пов'язана з pH ґрунту та негативно пов'язана з наявними значеннями K та електропровідності (Zhang et al., 2016).

Структура грунту залежить від гідротермічних умов, рослинності, рельєфу (експозиції, форми, протяжності схилів, висоти над рівнем моря) і від часу відбору зразків (Medvedev, 2008; Zakharchenko et al., 2016). Наприклад, у степовій зоні Дніпропетровської області у чорноземі лісовому (північна експозиція байраку) уміст агрономічно цінних агрегатів у верхньому гумусово-елювіальному шарі становить 98,2 % (природна свіжа накленова діброва з дубовим широкотрав'ям); у лучно-лісового (тальвег байраку – природний осичняк) – 73,6 і чорнозему лісового (південна експозиція байраку – природна сухувата чорнокленова діброва з фіалкою шершавою) – 82,6 % (Gorban, 2020). Коефіцієнт структурності для грунтів байрачних у шарі 0–34 см коливався у межах 1,9–3,1. Порівняно із нашими значеннями, результати цих дослідів говорять про значний вплив рельєфу, а саме місцевої топографії на формування структури грунтів, і, відповідно, на розвиток рослинного покриву. Відсоток агрономічних агрегатів більше у верхніх шарах у лісових грунтах півдня України, він більший за такий у північно-східному Лісостепу, що пояснюється відсутністю антропогенного навантаження на грунт.

Як свідчать вчені різних країн, насичення сівозмін, залуження міжрядь у садах при вирощуванні декоративних рослин, використання сидератів – покривних культур, забезпечує стабілізацію та відтворення гумусу в грунтах, впливаючи на поживний режим та мікробіоту грунту (Kravchenko, 2020; Yang, 2020; Novytskyy, 2015). Постійне використання сидеральних рослин підвищує вміст органічної речовини, покращує фізичні, хімічні та біологічні властивості грунту, а також пригнічує розвиток бур'янів (Das et al., 2020; Kovalenko, 2018).

Структура грунту варіює залежно від сезону року, тобто від часу відбору зразків, вологості грунту (Zhou M. et al., 2020, Tsyuk, 2018). Використання у насадженнях мигдалю ячменю, пшениці та конюшини, які щорічно загорталися, впливало на вміст органічної речовини, але ці зміни відбуваються протягом досить тривалого періоду, близько 8 років (Surki A., 2020).

Агрегація грунту зростає під постійним залуженням або сидерацією. Застосовані рослини збільшують проникнення води у грунт, збільшуючи кількість коренів у грунті та забезпечуючи перехоплення опадів; регулюють поверхневу ерозію, міграцію забруднювачів грунту (Obrycki, 2020).

Цікаві висновки отримали вчені на деградованих грунтах у балтійському педокліматичному регіоні у тривалому польовому досліді з 1964 р., які встановили, що багаторічні трави (костриця лучна) зменшували відсоток водотривких агрегатів, органічної речовини, загального азоту на максимально удобрених ділянках. Використання люцерни підвищувало вміст органічної речовини та азоту, але не впливало на водотривкі агрегати (Are et al., 2020).

Покривні культури у міжряддях показують більшу ефективність за мульчування. Наприклад, бобові покривні з укосами були менш ефективними, аніж небобові, що пояснюється більшим проективним покриттям грунту (Liu, 2021). В міжряддях яблуні використання костриці овечої як живої мульчі на 4–5 рік після посадки дерев на підкарликові підщепи знизило врожайність плодів на 30 %. В цитрусових садах застосування конюшини у міжряддях зменшувало втрати азоту на 35,5 %, фосфору на 40 % (Li, 2020).

В Китаї на лесовому плато досліджено різницю утримання міжряддя яблуні як звичайний обробіток, використано райграс як покривна культура, мульча кукурудзи та агроволокно темного кольору. Використання райграсу збільшувало вологу, покращувало вміст органічної речовини на 11,8 %, підвищувало мікробіологічну активність, збільшувало взаємодію між різними бактеріями на користь якості грунту (Wang et al., 2020). Доцільність висіву райграсу на схилах підтверджено і іншими вченими Китаю (Liu et al., 2020; He et al., 2020).

В Канаді на важкосуглинкових грунтах тривале вирощування овочевих культур призвело до деградації ріллі, тому увага вчених була прикута до використання сидератів та їх ефективності. Була вивчена ефективність таких сидератів як райграс однорічний, ячмінь ярий, жито посівне. Порівняно з ділянкою без сидератів, дослідниками встановлено, що однорічний райграс та жито посівне збільшували розмір структурних агрегатів і практично всі три вказаних види сидератів підвищували вміст екстрагованих кислотою полісахаридів. У вегетаційному досліді проведено інкубування грунту на 2,4, та 8 тижнів із сидератами з дослідного поля, у разі чого було встановлено, що всі рештки сидератів сприяли збільшенню діаметру агрегатів та відсоток водостійких агрегатів 2–6 мм у діаметрі в усі періоди інкубації. Також вченими встановлена залежність між застосуванням сидератів, їх видами та вмісту екстрагованих полісахаридів (Liu et al., 2005).

Визначення структурно-агрегатного складу методом мокрого просіювання грунту під сидератом жито озиме свідчить про підвищення середнього значення ваги грунтових агрегатів на 55 %, порівняно з ділянками без сидератів на глибині 0–10 см і на 29 % на глибині 10–20 см (Rorick & Kladivko, 2017). Сидерат створює водостійку агрегованість за достатньо короткий час, але зміни у щільності грунту, вміст органічної речовини та загальному грунтовому азоті не істотні.

За даними Г. Господаренко та О. Лисянського (Hospodarenko & Lysianskyi, 2016) вміст оксиду кальцію у надземній масі гірчиці білої становив 95–129, гречки 99–133 кг/га, а за мінерального удобрення вміст CaO підвищується на 3–40 % порівняно з неудобреним варіантом; оксид фосфору в біомасі гірчиці підвищується до 43–66, гречки 76–114 %. Таким чином, під гірчицею накопичується на 5–35 більше азоту, під гречкою 7–44 %, порівняно з контролем. Тобто, використовуючи названі сидерати, покращується поживний режим грунту, вміст кальцію, який може позитивно впливати на формування структури грунту. Також уманські вчені наголошують на стимулюючу дію на проростання та розвиток рослин таких сидератів як гірчиця біла, редька олійна, вика яра та гречка, але при цьому відбувається значне зниження енергії проростання насіння основної культури – пшениці озимої. За використання буркуну білого, спостерігався алелопатичний ефект – пригнічення за всіма показниками (Hospodarenko & Lysianskyi, 2015). Вчені говорять про гірчицю як про рослину-гербіцид. Також вказують на те, що вона оздоровлює грунт від патогенів та деяких шкідників, покращує фізичні показники та поживний режим грунтів (Novokhatskyy, 2015).

Згідно шкали С. І. Долгова та П. У. Бахтіна, структура грунту, в якому 40–60 % агрономічно цінних агрегатів вважається задовільною, 60–80 – доброю і більше 80 % – відмінною, тобто грунт є відмінно оструктуреним (Tykhonenko, 2005). За М. І. Савіновим, цінними агрегатами є частки розміром 0,25–10 мм. Частки 10–0,25 мм називають грудочкуватими, понад 10 мм – брилисті, менше 0,25 мм – мікроструктурні. Грунти за коефіцієнтом структурності, у свою чергу, класифікують наступним чином: більше 1,5 – відмінний агрегатний стан; 1,5–0,67 – добрий агрегатний стан; менше 0,67 – незадовільний агрегатний стан. В нашому досліді по всіх варіантах та глибинах коефіцієнт структурності відносився до відмінного агрегатного складу, окрім райграсу при відборі зразків на глибині 10–20 см у 2019 році – 1,3.

В роботі Ю. Г. Міщенка, що проведена в умовах Сумського НАУ у зерно-просапній польовій сівозміні, було встановлено, що післяжнивний сидерат з фацелії, який був зароблений у кінці жовтня показав перевагу брилистої фракції у шарі 0–10 см і становив 18,2 % (Mischenko, 2013). В нашому досліді спостерігається зворотна тенденція, можливо тут факторами виявленої різниці є те, що у землеробстві сидерат зароблений восени, а у нашому досліді фацелія була посіяна навесні і залишалася на місці до осені. Вміст цінної структури після фацелії отримано у Ю. Г. Міщенка – 74,8 мм, часток більше 1 мм – 85,9 %; коефіцієнт структурності – 2,98. Також підкреслюється, що за різних способів основного обробітку грунту вміст агрономічно цінних агрегатів у шарі 10–20 см зменшується, але відмічається зростання часток діаметром більше 10 мм, порівняно із шаром 0–10 см. Подібну тенденцію ми спостерігаємо у 2019 році під фацелією, конюшиною білою, гірчицею, еспарцетом. Обробіток грунту з обертанням пласта у досліді Ю. Г. Міщенка сприяв коефіцієнту структурності 2,0, поверхневого обробітку – 1,77 (Mischenko, 2013).

Для середньосуглинкового грунту, який використовувався і у нашому досліді, характерний більший відсоток макроагрегатів з діаметром більше 10 мм. Так, встановлено, що чим більш інтенсивніше обробляється грунт, тим більше дрібноземної фракції (Zakharchenko et al., 2013). Коефіцієнт структурності залежить від гідротермічних умов, строку відбору зразків, способів, термінів та глибини обробітку грунту, а також, у цілому, від всіх агрофізичних показників. Цей показник на чорноземі типовому при вирощуванні пшениці озимої зменшувався протягом вегетації, навесні мав цифри в межах 1,8–9,0, у середині липня вже 2,4–3,0.

Таким чином, результати наших досліджень дещо відрізняються від раніше проведених як схемою проведення дослідження, так і дуже посушливими умовами у роки проведення досліджень. Вирощуючи садивний матеріал гінкго білоба в умовах Лівобережного Лісостепу, особливу увагу потрібно звернути на мульчування грунту як рослинними рештками інших культур, агроволокном чи сидеральними культурами. Ефективність сидератів при вирощуванні *G. biloba* потребує детального вивчення і більш тривалого часу.

Висновки. Періодичне рихлення грунту на варіантах без сидерату для боротьби із бур'янами призводило до створення найкращого структурно-агрегатного складу у шарах 0–10 та 20–30 см, що сприяло отриманню найвищого показника коефіцієнту структурності.

З сидеральних культур, у середньому за два роки досліджень, найвищий відсоток агрономічно цінної структури отримано у шарі 0–10 см на ділянках з гірчицею білою, конюшиною білою; у шарі 10–20 см – конюшиною білою 69,6 %, дещо менше на гірчиці 68,3 %, еспарцеті 68,8 %. В шарі 20–

30 см – найвищим відсотком агрегатів розміром 10–0,25 мм відрізнялися варіанти із конюшиною білою 73,1 % та еспарцетом 72,9 %. Еспарцет піщаний та конюшина біла серед сидеральних культур мали найвищий коефіцієнт структурності в шарі 20–30 см – 2,7. Коефіцієнт структурності в шарі 10–20 см на сидеральних ділянках був в межах 1,9–4,3 з максимум на варіанті з конюшиною білою.

Проект з інтродукції гінкго білоба для умов Лісостепу України продовжується та дослідження ефективності названих сидератів та їх суміші будуть продовжені, де вивчатимуться поживний і водний режими, а також вміст органічної речовини.

Бібліографічні посилання:

1. Shuvar, I. A., Berdnikov, O. M., Tsentylo, L.V., & Sendetskyy, V. M. (2015). Syderaty v suchasnomu zemlerobstvi: naukovo-vyrobnyche vydannya (monohrafiya) [Green manures in modern agriculture: scientific and production publication (monograph)] / za zah. red. I.A. Shuvara. Ivano-Frankivsk: Symfoniya forte, 156 (in Ukrainian).

2. Karpenko, O. Yu., Rozhko, V. M., Butenko, A. O., Masyk, I. M., Malynka, L. V., Didur, I. M., Vereshchahin, I. V., Chyrva, A. S., Berdin, S. I. (2019). Post-harvest siderates impact on the weed littering of Maize. Ukrainian Journal of Ecology, 9(3), 300-303.

3. Naukovo-obhruntova systema vedennya silskoho hospodarstva Sumskoyi oblasti (2004). [Scientific and substantiated system of agriculture of Sumy region]. Za red. M. P. Bondarenko. Sumy: VAT SOD «Kozatskyy val», 662 (in Ukrainian).

4. Prokopenko, S. M., Mitsai, S. G., Ponomarenko, O. O., Nesin, I. V., Krokhmal, O. I., Bezverkhy, V. G., Palchik, S. P., Talyanina, O. G., Topchiy, I. I., & Kokhan, O. M. (2020). Vidtvorennya rodyuchosti gruntu u Sumskiy oblasti [Reproduction of soil fertility in Sumy region]. Okhorona hruntiv, 10, 40–47 (in Ukrainian).

5. Zakharchenko, E. A. & Mischenko, Y. H. (2017). Impact of different tillage practices and green manure on physical properties of Chernozem soil. [Electronic resource]. Degradation and revitalization of soil and landscape: proceedings : International conference, (10-13 September 2017). Czech Republic : Palacky University in Olomouc, 51 (in Ukrainian).

6. Mischenko, Y. (2017). Pislyazhnyvni syderaty ta porystist hruntu. [Green manure crop and porosity of the soil]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiya i biolohiya», 2, 61–69 (in Ukrainian).

7. Tomchuk, V. (2020). Volohozberezhennya v sadivnytstvi: zasoby i tekhnolohiyi. [Moisture conservation in horticulture: tools and technologies]. The scientific heritage. Budapest : Hungary, 47(7), 16–27 (in Ukrainian).

8. Khamurzaev, S. M., Madaev, A. A., & Anasov, I. M. (2020). Green manure in the aisles of a young garden. [Sideraty v mezhduryad'yakh molodogo sada]. Plodorodiye, 4(115), 28–29. (in Russian)

9. Liu, A., Ma, B.L. & Bomke, A. A. (2005). Effects of Cover Crops on Soil Aggregate Stability, Total Organic Carbon, and Polysaccharides. Soil Sci Soc Am J., 69, 2041–2048. вої: 10.2136/sssaj2005.0032

10. Kemper, R., Bublitz, T., Müller, P., Kautz, T., Döring, T. & Athmann, M. (2020). Vertical Root Distribution of Different Cover Crops Determined with the Profile Wall Method. Agriculture. doi: 10.3390/agriculture10110503

11. Mishchenko, Y. H., & Zakharchenko, E. A. (2019). Vplyv pislyazhnyvnoyi syderatsiyi na zaburyanenist buryakiv tsukrovykh [The effect of green manures on weediness of sugar beet]. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology, 4(38), 41–49.

12. Pachev, I. (2014). Study of Some Annual and Perennial Forage Crops as Sources of Green Manure (Siderates) for Soil Fertility Improvement. Soil science agrochemistry and ecology, XLVIII(2), 53–56 (in Bulgarian).

13. Rigon, J. P. G., Franzluebbers, A. I. & Calonego, J. C. (2020). Soil aggregation and potential carbon and nitrogen mineralization with cover crops under tropical no-till. Journal of soil and water conservation, 75(5), 601–609. doi: 10.2489/jswc.2020.00188

14. Basche, A. D. & Roesch-McNally, G.E. (2017). The trouble with cover crops: Farmers' experiences with overcoming barriers to adoption Journal of Soil and Water Conservation, 72(3), 59–63. doi: 10.2489/jswc.72.3.59A

15. Delgado, J. A. & Gantzer, C. J. (2015) The 4Rs for cover crops and other advances in cover crop management for environmental quality. Journal of Soil and Water Conservation, 70(6), 142A–145A. doi: 10.2489/jswc.70.6.142A

16. Christensen, B. T. (1986). Straw incorporation and soil organic matter in macroaggregates and particle size separates. European journal of soil science, 37(1), 125–135. doi: 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00013.x

17. Angers, D. A., Recous, S. & Aita, C. (2005). Fate of carbon and nitrogen in waterstable aggregates during decomposition of $^{13}C^{15}N$-labelled wheat straw *in situ*. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1997.tb00549.x

18. Puget, P., Chenu, C. & Balesdent, J. (1995). Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils, 46(3), 449–459. doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01341.x

19. Kristiansen, S. M., Schjønning, P., Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Kristensen, K. & Christensen, B. T. (2006). Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture. Geoderma, 137(1–2), 147–154. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.08.005

20. Aliev, T. G. G., Krivolapov, I. P., Bogdanov, O. E., Bogdanov, R. E., & Makova, N. E. (2019). Organization of the soil maintenance system in the cherry orchard. Technologies for the food and processing industry of aic – healthy food, 4, 54–58. doi: 10.24411/2311-6447-2019-10023

21. Yaroshchuk, R. A. (2016). Perspektivi viroshhuvannja *Ginkgo biloba* L. v umovah Pivnichno-shidnogo Lisostepu Ukraïni dlja zagotivli listja u farmacevtichnih ciljah. [Perspectives for growing of Ginkgo biloba L. under the conditions of northeast forest-steppe of Ukraine for harvesting of leaves for pharmaceutical chemicals]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiya i biolohiya», 9 (32), 124–128 (in Ukrainian).

22. Kovalenko, I. M., Klymenko, G. O., Melnik, T. I., Yaroshchuk, R. A., Zherdetska, S. V., Su, Y., & Lykholat, O. A. (2020). Morphogenesis and vitality of seedlings of Ginkgo biloba in outdoor conditions. Regulatory Mechanisms in Biosystems, 11(1), 22–28. doi: 10.15421/022003

23. Robertson, J., Thomas, C.J., Caddy, B., & Lewis, A. J. M. (1984). Particle size analysis of soils — A comparison of dry and wet sieving techniques. Forensic Science International, 24(3), 209–217. doi: 10.1016/0379-0738(84)90186-5

24. Blaud, A., Menon, M., Zaan, B. Van der Lair, G. J., & Banwart, S. A. (2017). Chapter Five - Effects of Dry and Wet Sieving of Soil on Identification and Interpretation of Microbial Community Composition. Editor(s): Steven A. Banwart, Donald L. Sparks. Advances in Agronomy, Academic Press, 142,119–142. doi: 10.1016/bs.agron.2016.10.006.

25. Zhang, S., Wang, R., Yang, X., Sun, B., & Li, Q. (2016). Soil aggregation and aggregating agents as affected by long term contrasting management of an Anthrosol. Sci Rep., 6, 39107. doi: 10.1038/srep39107

26. Medvedev, V. V. (2008). Struktura pochvy (metody, genesis, klassifikatsiia, evolyutsia, geografiia, monitoring, okhrana) [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection)]. Kharkov, 13 tipografiia, 406 (in Russian).

27. Zakharchenko, E. A., Masyk, I. M., & Dema, O. S. (2016). Znachennya relyefu u formuvanni struktury gruntiv [Importance of relief in forming the structure of soil]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiya i biolohiya», 2, 223–228 (in Ukrainian).

28. Gorban, V. A., Kuptsova, K. S., Ostrianyn, N. S., & Tetiukha, O. G. (2020). Osoblyvosti strukturno-ahrehatnoho skladu edafotopiv bayrachnykh lisiv pivdennoho varianta stepovoyi zony Ukrayiny. [Structural and aggregate composition features of southern variant natural forest edaphotopes of Ukrainian steppe zone]. Ecology and Noospherology, 31(1), 16–22. doi: 10.15421/032003

29. Kravchenko, Yu. S. (2020). Vidtvorennia rodiuchosti chornozemiv Ukrainy za gruntozakhysnoho zemlerobstva [Reproduction of fertility of chernozems of Ukraine under soil-protective agriculture]. Zbirnyk naukovyh prac "Agrobiologija", 1, 67–79. doi: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-67-79 (in Ukrainian)

30. Yang, J., Duan, Y., Zhang, R., Liu. C., Wang, Y., Li, M., Ding, Y., Awasthi, M. K. & Li, H. (2020). Connecting soil dissolved organic matter to soil bacterial community structure in a long-term grass-mulching apple orchard, Industrial Crops and Products, 149, 112344. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112344

31. Das, K., Biswakarma, N., Zhiipao, R., Kumar, A., Ghasal, P.C. & Pooniya, V. (2020). Significance and Management of Green Manures. In: Giri B., Varma A. (eds) Soil Health. Soil Biology, 59. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-44364-1_12

32. Zhou, M., Liu, C., Wang, J., Meng, Q., Yuan, Y., Ma, X., Liu, X., Zhu, Y., Ding, G., Zhang J., Zeng, X. & Du, W. (2020). Soil aggregates stability and storage of soil organic carbon respond to cropping systems on Black Soils of Northeast China. Sci. Rep., 10, 265. doi: 10.1038/s41598-019-57193-1

33. Tsyuk, A., Tsentylo, L. V., & Melnyk, V. I. (2018). Structural and unit composition of soil depending on basic treatment and fertilizer. Biological Resources and Nature Management, 10(5–6), 139–145. doi: 10.31548/bio2018.05.017

34. Surki, A., Nazari, M., & Fallah, S. (2021). Improvement of the soil properties, nutrients, and carbon stocks in different cereal–legume agroforestry systems. Int. J. Environ. Sci. Technol. 18, 123–130. doi: 10.1007/s13762-020-02823-9

35. Obrycki, J. F. & Karlen, D. L. (2020). Forages for Conservation and Improved Soil Quality. Chapter 12. Book Editor(s): Moore K. J., Collins M., Nelson J. C., Redfearn D. D. Forages: The Science of Grassland Agriculture, II, 7TH Edition. doi: 10.1002/9781119436669.ch12

36. Are, M., Kauer, K., Kaart, T., Astover, S. A. & Reintam, E. (2020). Water Stability of Soil Aggregates in a 50-Year-Old Soil Formation Experiment on Calcareous Glacial Till. Eurasian Soil Sc., 53, 619–631. doi: 10.1134/S1064229320050026

37. Liu, R., Thomas, B. W., Shi, X., Zhang, X., Wang, Z. & Zhang, Y. (2021). Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: A meta-analysis, Catena, 199, 105085. doi: 10.1016/j.catena.2020.105085

38. Slatnar, A., Kwiecinska, I., Licznar-Malanczuk, M. & Veberic, R. (2020). The effect of green cover within rows on the qualitative and quantitative fruit parameters of full-cropping apple trees. Hortic. Environ. Biotechnol., 61, 41–49. doi: 10.1007/s13580-019-00195-9

39. Li, H., Zhu, N., Wang, S., Gao, M., Xia, L., Kerr, P. G., & Wu, Y. (2020). Dual benefits of long-term ecological agricultural engineering: Mitigation of nutrient losses and improvement of soil quality, Science of The Total Environment, 721, 137848. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137848

40. Wang, Y., Liu, L., Luo, Y., Awasthi, M. K., Yang, J., Duan, Y., Li, H., & Zhao, Z. (2020) Mulching practices alter the bacterial-fungal community and network in favor of soil quality in a semiarid orchard system, Science of The Total Environment, 725, 138527. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138527

41. Liu, X., Yu, X.,Fan, D., & Jia, G. (2021). Effects of ryegrass canopy and roots on the distribution characteristics of eroded sediment particles during heavy rainfall events on steep loess cinnamon slopes in Zhangjiakou, China. Land degradation and development, 32(4), 1643–1655. doi: 10.1002/ldr.3769

42. He, H. B., Li, W. X., Zhang, Y. W., Cheng, J.-K., Jia, X. Y., Li, S., Yang, H. R., Chen, B. M., & Xin, G. R. (2020). Effects of Italian ryegrass residues as green manure on soil properties and bacterial communities under an Italian ryegrass (Lolium multiflorum L.)-rice (Oryza sativa L.) rotation. Soil and Tillage Research, 196, 104487. doi: 10.1016/j.still.2019.104487

43. Liu Aiguo Ma, B. L. & Bomke, A. A. (2005). Effects of Cover Crops on Soil Aggregate Stability, Total Organic Carbon, and Polysaccharides. Soil Sci. Soc. Am. J., 69, 2041–2048. doi: 10.2136/sssaj2005.0032

44. Rorick, J. D., & Kladivko, E. J. (2017). Cereal rye cover crop effects on soil carbon and physical properties in southeastern Indiana.

Journal of Soil and Water Conservation, 72(3), 260–265. doi: 10.2489/jswc.72.3.260

45. Hospodarenko, G., & Lysianskyi, O. (2016). Retsyrkulyatsiya biohennykh elementiv u grunti za riznykh syderativ ta yikh udobrennya [Recycling of biogenic elements in the soil under different green manures and their fertilization]. Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva, 88(1), 7–16 (in Ukranian).

46. Hospodarenko, G., & Lysianskyi, O. (2015). Alelopatychnyy vplyv syderalnykh kultur na pshenytsyu ozymu [Allelopathic impact of green manure crops on winter wheat]. Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu, 2(1), 190–198 (in Ukranian).

47. Novokhatskyy, M., Nilova, N., & Pohorilyy, P. (2015). Syderaty – biolohichnyy faktor vidtvorennya rodyuchosti gruntu. Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannya novoyi tekhniky i tekhnolohiy dlya silskoho hospodarstva Ukrayiny. Green manure is a biological factor of soil fertility reproduction. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. 19, 384–396. [Electronic resources]. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2015_19_50

48. Tykhonenko, D. H., Horin, M. O., Laktionov, M. I., Kanivets, V. I., Medvedyev, V. V., Balyuk, S. A., Bulyhin, Truskavetskyy, R. S., Kanash, O. P., Dehtyarov, V. V., Novosad, K. B., Filon, V. I., Lisovyy, M. V., Kizyakov, Y. Y., Matviyishyna, Z. M., & Hutorov, O. I. (2005). Gruntoznavstvo: pidruchnyk [Soil science: textbook]. Vyshcha osvita, Kyiv, 703 (in Ukrainian).

49. Mischenko, Y. (2013). Pozhnyvni syderaty ta strukturno-ahrehatnyy sklad hruntu [Green manure crop and structural aggregate state of the soil]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiya i biolohiya», 3 (25), 83–94 (in Ukrainian).

50. Zakharchenko, E. A., Masyk, I. M., & Davydenko, G. A. (2013). Vplyv riznoho sposobu osnovnoho obrobitku na strukturno-ahrehatnyy sklad hruntu pry vyroshchuvanni ozymoyi pshenytsi [Influence of different ways of the till of the soil on structural and modular structure at cultivation of winter wheat]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiya i biolohiya», 3(23), 114–119 (in Ukrainian).

Yaroshchuk R. A., *PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*
Zakharchenko E. A., *PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*
Kovalenko I. M., *Doctor (Biological Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*
Yaroshchuk S. V., *PhD (Agricultural Sciences), Senior Lecturer, Sumy National AgrarianUniversity, Sumy, Ukraine*
Klymenko H. O., *PhD (Biological Sciences), Associate Arofessor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*

SOIL AGGREGATION WITH VARIOUS COVER CROPS IN GINKGO BILOBA L. PLANTATIONS

Ginkgo biloba is an exotic plant for Ukraine that is nowadays becoming popular for parks and landscape gardening. Raw materials (leaves) of these plants are used as medicinal, and in the context of organic production has pharmaceutical significance. At Sumy National Agrarian University fields Ginkgo biloba is grown by seedling method, young seedlings are transplanted into the open ground, in an area where the plants are grown without chemical synthetic fertilizers and pesticides. Row spacing between Ginkgo plants is 3 m and in case of high temperature and dry growing season the survival rate is reduced. The use of cover crops in the rows of Ginkgo biloba can help the plant cope with temperature stress, regulate the structural and nutrient status of the soil. We conducted one experiment with some common cover crops for Forest-steppe of Ukraine such as a phacelia, white clover, red clover, ryegrass, sainfoin, white mustard during growing seasons 2019–2020. Sites planted in the spring between the rows of Ginkgo. At the end of August, soil samples to a depth of 0–10, 10–20, 20–30 cm were collected to determine the structural and aggregate composition. These samples after reaching the air-dry state were sieved (dry method) and determined the percentage of soil particles with different diameters and structural coefficient soil. The percentage of agronomically valuable structure depended on the mechanical tillage on the site without and with cover crops, weather conditions. In the site without cover crops with mechanical tillage for weed control, the highest percentage of aggregates with a diameter of 10–0.25 mm and coefficient of structure in layers of 0–10 and 20–30 cm was obtained. White mustard and white clover cover crops have shown the best result in good soil aggregation in the 0–10 cm layer. In the layer of 10–20 cm, the coefficient of structure was the highest in sites with white clover, respectively agronomically valuable structure was 69.6 %, slightly less with mustard 68.3 % and sainfoin 68.8 %. In a layer of 20–30 cm sainfoin and clover among other cover crops showed the best result, the coefficient of structure was 2.7. Lastly, further research is needed to choose the best cover crop for Ginkgo biloba young plantations which help the plants to pass strongly through to environmental stressful condition. Additional researches are needed for cover crops selection and their mixtures, terms of sowings, times of cutting should be studied.

Key words: *Ginkgo biloba, green manures, cover crops, soil structure, row spacing, structure coefficient, annual grasses, perennial grasses, red clover, white clover, ryegrass, white mustard, sand sainfoin.*

Дата надходження до редакції: 22.12.2020 р.

UDC 631.5

RECOGNITION AND LOCATION OF CROP SEEDLINGS BASED ON IMAGE PROCESSING

Han Yafeng
PhD student
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Henan Institute of Science and Technology, Henan, China
ORCID: 0000-0002-3085-5910
375971920@qq.com

Wang Xinfa
PhD student
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine,
Henan Institute of Science and Technology, Henan, China
ORCID: 0000-0002-6293-5624
616858308@qq.com

Onychko Viktor
PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor
Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0003-0584-319X
onichko@gmail.com

Zubko Vladislav
PhD (Technical Sciences), Associate Professor
Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0002-2426-2772
zubkovladislav@ukr.net

Li Guohou
PhD (Control Science & Engineering), Professor
Henan Institute of Science and Technology, Henan, China
ORCID: 0000-0003-1410-5076
527636704@qq.com

With the development of digital image technology, we can easily obtain a large number of crop growth images. Through effective analysis of the image, the growth information of crops can be obtained, which can better direct agricultural production. The efficiency of traditional seedling growth monitoring is low, especially in large-scale farmland, which takes a lot of time. Artificial method timely restricts scientific decision-making of cultivation crops. The progress of machine vision and image processing technology provides a new way for harmlessly monitoring of crop seedling growth .The results of image analysis can help agricultural producers to understand the growth of crop seedlings quickly and accurately, so as to take effective management as soon as possible. In this paper, the images of sunflower seedling collected in farmland environment are taken as the research object. The main research content is to segment green crops from soil background. Segmentation method of sunflower seedling image based on color features and Ostu threshold segmentation is proposed. The method is simple in calculation, and can adapt to the segmentation of farmland environment images, which lays the foundation for crop recognition process. Based on the image recognition results, the algorithm locates the seedlings. Through the rapid identification of sunflower seedlings, it is possible to fill the gaps with seedlings where the seedlings are less distributed. On the contrary, if the seedlings are too dense, the number of seedlings needs to be reduced. The algorithm provides a basis for precise management. The results show that the algorithm with extra green feature can quickly and effectively identify sunflower seedlings from background, and locate the seedlings based on the image recognition results. This algorithm is not sensitive to soil moisture and light conditions, and is less affected by crop residual coverage, so it can adapt to different soil environment which realize the non-destructive monitoring of sunflower seedlings.

Key words: *image segmentation; machine vision; color features; green identification; adaptive threshold method*
DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.5

Introduction. With the development of machine vision and digital image processing technology, agricultural information management has been realized, and the development of precision agriculture is a trend (Hamuda et al., 2016; Iqbal et al. , 2018; Nguyen et al. ,2019). Farmland managers can keep abreast of the crop growth and be provided scientific guidance for the management of farmland. Various remote devices such as satellites, airplanes, or Unmanned Aerial Vehicles (UANs) are used to monitor crops on the farmland through real-time analysis and processing of aerial images (Lei et al., 2017; Zhang et al., 2019; Pena et al. ,2015; Di Gennaro et al. ,2019). Many researchers use digital image processing techniques to detect the symptoms of diseases automatically as early as they appear on the growth

stage of plants. They used different methodologies for the analysis and detection of plant leaf diseases (Khirade et al., 2015; Singh et al., 2015; Pujari et al. ,2015; Oo & Htun, 2018). With the development of precision agriculture, it requires to predict the crop yield with low cost. It can be solved by image processing technology which makes a correct judgment on the plant annual yield (Filippi et al., 2020; Tedesco et al., 2020). Recent advances in technology provide new tools to solve challenging computer vision tasks such as object detection, which can be used for detecting and counting plant seedlings in the field (Samiei et al., 2020; Jiang et al., 2019; Feduck et al., 2018; Quan et al.,2019). Plant seedling detection combines the theory of graphics processing and recognition in computer science with possibility of field automatic work or reseeding and thinning of crop seedlings.

Sunflower is one of the four major oil crops in the world, it is grown on 25.4 M • ha. The area under this crop in Ukraine is 5.1M • ha. The main sunflower producing areas of China are distributed in the Northeast, Northwest and North China regions, with high production potential, and can be expanded to the Southwest, Central South and East China regions (Zhang & Gu, 2018). With the development of science and technology, new technologies have played an important role in the production and growth of sunflower. Some researchers use image processing technology to recognize and locate sunflower seedlings, then provides the theoretical basis for the robot to automatically implement sunflower seedling reseeding and thinning operations (Yin et al. , 2010).

According to different application requirements, crop recognition based on image processing is researched (Gong, 2014; Chen et al. 2019; Tian et al., 2015). Sun Ming et al. proposed an automatic recognition technology by analyzing the color images of seedlings, which can identify each radish seedling in the image (Sun & Ling, 2002). Wang Sile et al. achieved the separation of green plants from complex background elements by constructing the decision tree based on HSV and color dispersion, and better adapted to changes in the brightness of the field image (Wang et al. 2015). Ke Qiuhong et al. proposed the method for extracting green plant areas from digital images, to solve the interference of soil background in the image and the influence of different lighting conditions on it, and achieve non-destructive measurement of plants (Ke et al. , 2013). Zhang Zhibin with colleagues adopted RGB color system and proposed the fast segmentation algorithm of ridge and row structure based on color features (Zhang et al., 2010). Wang Xue and Guo Xinxin proposed the green crop image segmentation method combined with Ostu method of the largest inter-class variance based on G-R color features, it can separate green crops from complex soil background not affected by uneven outdoor light (Wang & Guo, 2018). All these studies improved the recognition effect on crop images from various aspects, but have not studied the precise position of crops. The goal of our study is to quickly identify sunflower seedlings on digital images and provide position information for precision management of farmland.

Materials and methods.

1.1. Sowing method

Sunflower varieties are mainly divided into two types: edible and oil. Sowing methods differ for them. Sunflower of the oil type have 70 cm row space and 40 cm plant space. There are 30,000–37,500 seedlings per hectare for ordinary varieties. Digging holes are used for sowing, the depth of the holes is 3 cm–4 cm, and 1–2 seeds are placed on each acupuncture point. After emergence of plants, seedlings should be checked and supplemented timely. When the seedling reaches 2–3 pairs of leaves, it is necessary to carry out thinning in time.

1.2. Analysis of crop color characteristics

The object color is determined by the reflected light characteristics, and the color of an opaque object depends on the light color it reflects. The characteristic of the reflection spectrum of green plants is different from the inanimate soil background, and this characteristic can be used to distinguish them (Liu et al. 2013).

The current color models used for image processing are RGB, HIS, YCbCr, etc (Liu et al., 2012). The RGB color space is composed of three colors – red, green, blue as the primary ones (Fig. 1). The other colors are formed by mixing of three primary colors. The HIS color space is composed of hue, saturation, and brightness, and it is beneficial for human perception. The YCbCr color space is a relative value of a luminance signal Y and two-color difference signals: blue relative luminance B-Y and red relative luminance R-Y.

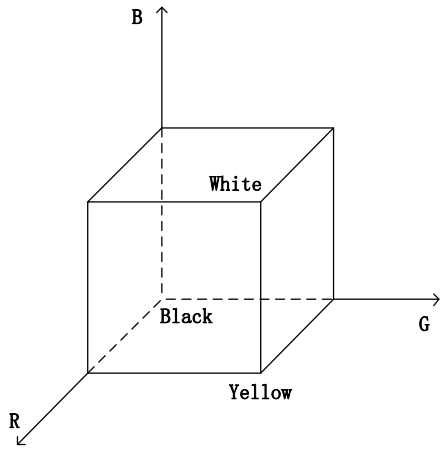

Fig. 1. Model of RGB color system.

1.3. Method of image segmentation

Segmenting the seedlings from the background is a key step in image processing, and the segmentation effect will affect the acquisition of location information by seedling recognition system (Zhou et al., 2013). The background segmentation of color image is generally achieved by grayscale and binarization. The green plants and the background soil have different characteristics in the three-color components of R, G, and B (Su et al., 2018). By separating the original image into three independent primary color dimensions, and then selecting different combinations of color features, each pixel in the image is converted, that can achieve the purpose of enhancing the contrast between the target crop and the background soil in the image. Since the original colored image is transformed into a grayscale image in this process, the combination of color features applied in the conversion is called the grayscale factor. According to the color characteristics, the most commonly used method is the extra green one, which makes use of characteristics that the twice of G value is greater than the sum of R and B values. The extra green method extracts the green plant image better. The shadow, withered grass and soil in the images can be more obviously suppressed, and the sunflower seedling is more visible in the images. In my research, two images of sunflower seedlings were selected. First

image was taken in the dark outside environment (Fig. 2, A), and the second one was taken in the outside environment with strong sunlight (Fig. 2, B), so there were some shadows in the images. There were impurities in the soil background in the two images.

(A) Sunflower seedling 1 (B) Sunflower seedling 2

Fig. 2. Sunflower seedlings.

According to the characteristics of the Color eigenvalue of green crops in farmland, method of weighting grayscale image is adopted. The calculation formula is as follow (1) :

$$Gray(x,y) = w_1 R(x,y) + w_2 G(x,y) + w_3 B(x,y) \quad (1)$$

$Gray(x,y)$ represents the gray value of pixels of (x,y) ; $R(x,y)$、$G(x,y)$、$B(x,y)$ are the three color components of the input RGB color images. w_1, w_2, w_3 denotes the coefficients of each component, their values are $w_1 = -1$, $w_2 = 2$, $w_3 = -1$, so the formula is showed as (2).

$$Gray(x,y) = 2G(x,y) - R(x,y) - B(x,y) \quad (2)$$

Using formula (2) to gray the image, the gray image is shown on Fig. 3.

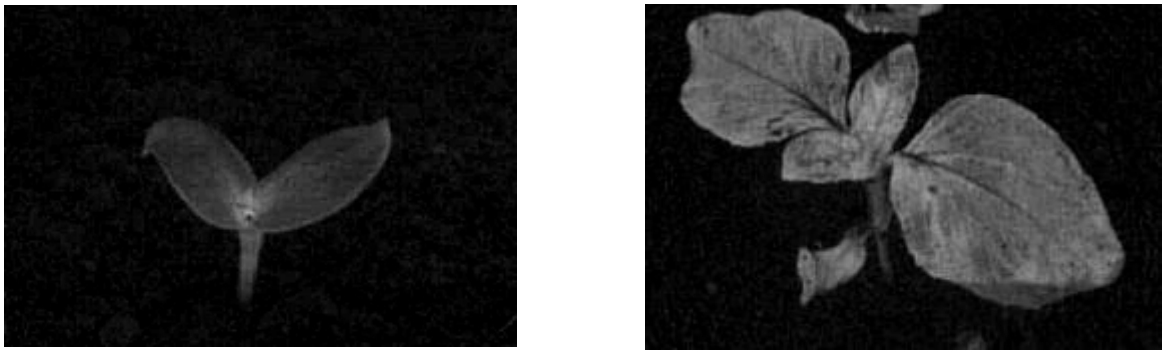

Fig. 3. Grayscale images.

The color image has been converted into a gray image after being processed by the grayscale factor. In this image, the difference between the gray value of the green plant and the gray value of the background soil is obvious. Therefore, the image threshold segmentation method can be used to achieve the recognition of green plants. Threshold segmentation methods include fixed threshold method and adaptive threshold method. The gray histogram of the two images are showed on Fig. 4.

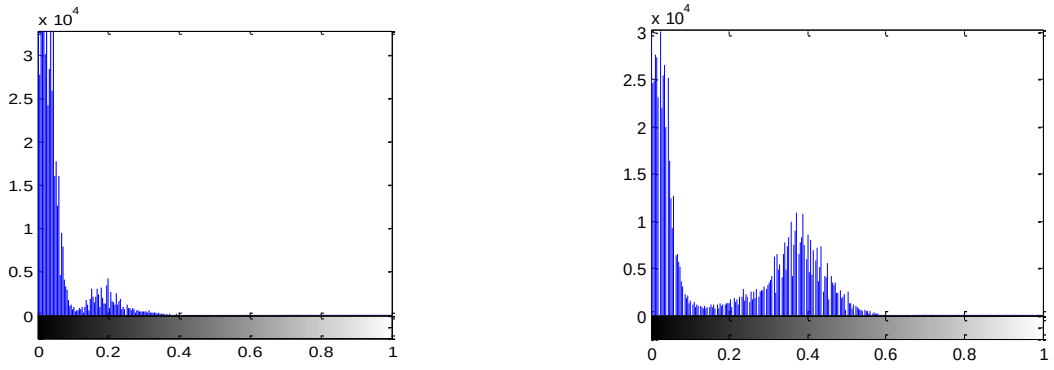

Fig. 4. Gray histogram of image.

The grayscale histogram has obvious bimodality and is suitable for thresholding, as long as the threshold is taken at the valley directly between the two peaks. Due to the influence of outdoor sunlight, the value at the trough is variable for each image, and a fixed threshold cannot be determined to segment the image. Therefore, in order to automatically identify sunflower seedlings, this study uses the maximum variance automatic threshold method. This method is an adaptive threshold method. Its calculation is simple and stable. The basic idea is to divide all the pixels in the image into two categories. The pixels less than the threshold T are called background pixels, and the pixels larger than the threshold T are called the target pixels. n_1 represents the number of background pixels, n_2 represents the number of target pixels, $m \times n$ represents the size of an image, θ_1 represents the proportion of the number of background pixels, θ_2 represents the number of target pixels after segmentation by threshold T. T represents the optimal segmentation threshold. The calculation formula is as follows:

$$\theta_1 = \frac{n_1}{m \times n}$$

$$\theta_2 = \frac{n_2}{m \times n}$$

$$n_1 + n_2 = m \times n \quad (3)$$

The gray value t is sequentially taken within the range of the minimum gray value to the maximum gray value, and the variance σ^2 is obtained, when the gray value $t = T$. The value of t at this time is the optimal segmentation threshold T.The formula for calculating the variance is as follows:

$$\sigma^2 = \theta_1 \times \left(\mu_1(t) - \mu_T(t)\right)^2 - \theta_2 \times \left(\mu_2(t) - \mu_T(t)\right)^2 = \theta_1\theta_2\left(\mu_1(t) - \mu_2(t)\right)^2 \quad (4)$$

$\mu_T(t)$ represents the total average gray level of the whole image, $\mu_1(t)$ represents the average gray level of background pixels, $\mu_2(t)$ represents the total average gray level of target pixels.

1.4. Algorithm design

According to the above analysis, this paper proposes a fast segmentation method based on farmland green crop image, the steps are follows:

(a) The image is divided into small pieces of a region; each sub region corresponds to a crop seedling.

(b) Pre-process each sub-piece, using the super green method ExG to get gray scale image.

(c) In order to reduce the influence of noise points on image segmentation accuracy, median filtering method is used to decrease noise in gray image.

(d) Automatic calculation of optimal threshold T by Ostu method. The gray value of each pixel is compared with the threshold value, and the pixel is divided into plant or background according to the comparison results.

(e) The white connected area of the identified plants is analyzed and located, ignore the scattered white areas. Using the method of regional feature extraction, calculate the centroid position of the largest polygon composed of plant regions, and mark the centroid position with small red circle in the image.

(f) If there are other sub-pictures untreated, skip to (b) to continue.

Results. In this experiment, sunflower images collected under different illumination conditions were used as materials (as shown in Fig. 1). The algorithm proposed in this paper was tested and verified. The identification and location of sunflower seedling images in farmland was solved.

The algorithm was implemented by MATLAB, and its version is r2014a. The operating system of the computer was Windows 10, the computer processor was Intel Core i5, and the memory capacity was 4G.

This method was used to recognize the sunflower seedling image (Fig. 2). The binarization segmentation result is shown on Fig. 5.

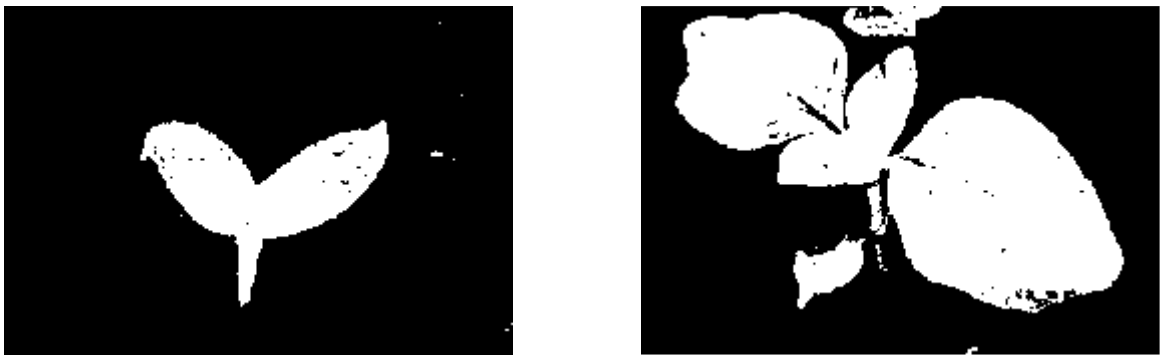

Fig. 5. Image segmentation results.

The results show that the sunflower seedlings in the image can be identified correctly by using the method of this paper, regardless of the illumination intensity and the interference of impurities in the soil background. After obtaining the integral binary image of sunflower seedling plant area, the centroid position of the largest polygon composed of plant area was calculated by region feature extraction method, and marked with small red circle. The marking result is shown on Fig. 6.

Fig. 6. Centroid of the crop image.

Discussion. 100 sunflower seedling images were taken for recognition, in order to verify the effectiveness of the algorithm, and compared with Cr color difference method in YCbCr color space. 10 representative images were extracted from 100 images for processing and analysis (Reference to table 1). The relative error rate was calculated by comparing the segmented seedling area with the actual area (Reference to table 2).

Tabel 1

Segmentation results of seedling area (Pixel)

Num	Extra Green	Cr	Manual caculation
1	2862	2792	2812
2	2571	2490	2550
3	1753	1660	1745
4	2855	2693	2812
5	1832	1776	1816
6	2800	2605	2720
7	2495	2346	2486
8	2865	2690	2800
9	2280	2170	2273
10	2250	2170	2240

Tabel 2

Relative error of segmentation (%)

Num	Extra Green	Cr
1	1.78	0.71
2	0.82	2.35
3	0.46	4.87
4	1.53	4.23
5	0.88	2.20
6	2.94	4.23
7	0.36	5.63
8	2.32	3.93
9	0.31	4.53
10	0.45	3.13

It can be seen from the result of table 2 that the segmentation effect of Extra Green with Ostu threshold segmentation method is better than that of color difference Cr with Ostu threshold one. It can eliminate the disturbance of soil background and light change to some extent, and can adapt to the growth environment of crop seedlings.

Conclusions. In our study, the identification and location of sunflower seedlings in farmland were researched. A fast segmentation method based on green crop image was proposed. It used color characteristics of green crops and background soil, and carried out gray scale and binarization of images. The segmentation and location of green crops from farmland images were realized, which provides scientific basis for the next step of seedling management.

The rate of emergence of a certain area in the farmland can be obtained and provide scientific guidance for supplementing and thinning seedlings. The experimental results showed that the algorithm can effectively extract and locate the green crop seedlings from the image, and realized the non-destructive measurement of crops.

References:

1. Hamuda, E., Glavin, M., & Jones, E. (2016). A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. Computers and Electronics in Agriculture, 125, 184–199.

2. Iqbal, Z., Khan, M. A., Sharif, M., Shah, J. H., ur Rehman, M. H., & Javed, K. (2018). An automated detection and

classification of citrus plant diseases using image processing techniques: A review. Computers and electronics in agriculture, 153, 12–32.

3. Nguyen, L. H., Zhu, J., Lin, Z., Du, H., Yang, Z., Guo, W., & Jin, F. (2019, April). Spatial-temporal multi-task learning for within-field cotton yield prediction. In Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Springer, Cham, 343–354.

4. Lei Yaping, Han Yingchun, Wang Guoping, Feng Lu, Yang Beifang, fan Zhengyi, Wei Xiaowen, Wang zhanbiao, Zhi Xiaoyu and Xiong Shiwu (2017). Low altitude digital image diagnosis technology of cotton seedling by UAV. China Cotton, 5, 23343–354. 25

5. Zhang Meina, Feng Aijing, zhoujianfeng and lvxiaolan (2019). prediction of cotton yield based on visual and spectral images collected by UAV. (English). "Journal of Agricultural Engineering (5), 11.

6. José M. Peña, Jorge Torres-Sánchez, Angélica Serrano-Pérez, Ana I. de Castro and Francisca López-Granados (2015).Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. Sensors (Basel, Switzerland), 15(3), 5609–5626.

7. Di Gennaro, S. F., Toscano, P., Cinat, P., Berton, A., & Matese, A. (2019). A precision viticulture UAV-based approach for early yield prediction in vineyard. In Precision agriculture'19, Wageningen Academic Publishers, 370–378.

8. Filippi, P., Whelan, B. M., Vervoort, R. W., & Bishop, T. F. (2020). Mid-season empirical cotton yield forecasts at fine resolutions using large yield mapping datasets and diverse spatial covariates. Agricultural Systems, 184, 102894.

9. Tedesco-Oliveira, D., da Silva, R. P., Maldonado Jr, W., & Zerbato, C. (2020). Convolutional neural networks in predicting cotton yield from images of commercial fields. Computers and Electronics in Agriculture, 171, 105307.

10. Samiei, S., Rasti, P., Vu, J. L., Buitink, J., & Rousseau, D. (2020). Deep learning-based detection of seedling development. Plant Methods, 16(1), 1–11.

11. Jiang, Y., Li, C., Paterson, A. H., & Robertson, J. S. (2019). DeepSeedling: deep convolutional network and Kalman filter for plant seedling detection and counting in the field. Plant methods, 15(1), 1–19.

12. Feduck, C., McDermid, G. J., & Castilla, G. (2018). Detection of coniferous seedlings in UAV imagery. Forests, 9(7), 432

13. Quan, L., Feng, H., Lv, Y., Wang, Q., Zhang, C., Liu, J., & Yuan, Z. (2019). Maize seedling detection under different growth stages and complex field environments based on an improved Faster R–CNN. Biosystems Engineering, 184, 1–23

14. Khirade, S. D., & Patil, A. B. (2015). Plant disease detection using image processing. In 2015 International conference on computing communication control and automation IEEE, 768–771.

15. Singh, V., & Misra, A. K. (2015). Detection of unhealthy region of plant leaves using image processing and genetic algorithm. In 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications IEEE, 1028–1032.

16. Pujari, J. D., Yakkundimath, R., & Byadgi, A. S. (2015). Image processing based detection of fungal diseases in plants. Procedia Computer Science, 46, 1802–1808.

17. Oo, Y. M. & Htun, N. C. (2018). Plant leaf disease detection and classification using image processing. International Journal of Research and Engineering, 5(9), 516–523.

18. Zhang Yibin & Gu Linling (2018). Global sunflower planting area and pesticide market and varieties in recent years. modern pesticide 17(01), 16–18.

19. Yinjianjun, Shenbaoguo & Chen Shuren (2010). Field weed localization technology based on machine vision. Journal of agricultural machinery, 41(06), 163–166+192

20. Gong Lixiong (2014). Crop image recognition based on COM VI and double threshold Otsu algorithm. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 000(004), 363–368.

21. Chen Xiaobang, Zuo Yayao, & Wang Mingfeng (2019). A method of crop image recognition by UAV. Cn109241817a

22. Tian Haifeng, Wu Mingquan, Niu Zheng, Wang Changyao, & Zhao Xin (2015). Recognition of upland crops under complex planting structure based on radarsat-2 image. Acta AGRICULTURAE engi neering Sinica, 31(023), 154–159.

23. Sun Ming & Ling Yun (2002). Automatic recognition technology of radish seedling based on computer vision. Journal of agricultural machinery, 05, 75–77.

24. Wang sile, Yang Wenzhu & Lu sukui (2015). Identification methods of green plants in the monitoring image of crop growth in field. Jiangsu Agricultural Sciences, 43(11), 487–492.

25. Ke Qiuhong, Zhang Junmei & Tian Ye (2013). Fast extraction of green plants from digital images. Computer applications and software, 30(10), 266–268 + 283.

26. Zhang Zhibin, Luo Xiwen, Hou Fuxiang & Xu Xiaodong (2010). A fast segmentation algorithm for ridge and row structures based on color features. 2010 International Conference on Agricultural Engineering, Shanghai, China.

27. Wang Xue & Guo Xinxin (2018). The method of green crop segmentation based on GR color characteristics. Heilongjiang Science, 9(16), 14–15 + 19

28. Liu Lijuan, liuzhongpeng and Cheng Fang (2013). Study on image recognition and preprocessing of maize leaf disease during growing period. Henan Agricultural Science, 42(10), 91–94.

29. Liu Liqiang, Xiang Jianting and Wu Zequan (2012). Research on rapid identification method of healthy seedlings based on color features. Agricultural science and technology and equipment, 06, 26–28.

30. Zhou Jun, Wang Mingjun & Shao Qiaolin (2013). Adaptive segmentation method of green plants in farmland image. Journal of agricultural engineering, 29(18), 163–170.

31. Su Boni, Hua Xiyao & Fan Zhenqi (2018). Research on image segmentation of rice diseases based on color features. Computer and Digital Engineering, 08, 1638–1642.

Хань Яфен, *аспірант, Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна; Хенанський інститут науки і технологій, м. Хенань, КНР*

Ван Сіньфа, *аспірант, Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна; Хенанський інститут науки і технологій, м. Хенань, КНР*

Оничко Віктор Іванович, *кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна*

Зубко Владислав Миколайович, *кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна*

Лі Гуохоу, *кандидат наук (теорія управління та інженерія), професор, Хенанський інститут науки і технологій, м. Хенань, КНР*

РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЯ СХОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

З розвитком цифрових технологій можна з легкістю отримати велику кількість зображень сільськогосподарських угідь. Завдяки ефективному аналізу таких цифрових зображень, ми отримуємо інформацію стосовно темпів росту сільськогосподарських культур, що може покращити сільськогосподарське виробництво. Ефективність традиційного моніторингу росту культур невисока, особливо на великих сільськогосподарських угіддях, оскільки такий моніторинг займає багато часу. Штучний метод обмежує своєчасність прийняття наукових рішень щодо необхідності обробки сільськогосподарських угідь. Прогресивні цифрові технології та технології обробки зображень відкривають новий спосіб моніторингу, який не завдає шкоди сільськогосподарським культурам. Результати аналізу зображень можуть допомогти агровиробникам швидко і точно оцінювати темпи росту культур, що сприятиме прийнятю швидких та ефективних управлінських рішень. Об'єктом дослідження є отримані зображення сходів соняшнику на сільськогосподарських угіддях. Основний зміст дослідження полягає у розпізнавані зелених сходів на ґрунтовому фоні. Запропоновано метод розпізнавання сходів соняшнику на основі зонації ділянок за кольором і методу Оцу для обчислення порогового зображення. Цей метод простий у застосуванні та може бути пристосований для сегментації зображень сільськогосподарських угідь, що закладає основу для процесу локалізації таких культур. Ґрунтуючись на результатах розпізнавання зображень, завдяки алгоритму сходи культур можуть бути локалізовані. Завдяки швидкій ідентифікації сходів соняшнику, можна визначити ділянки із прогалинами, де зійшли не усі саджанці. Або навпаки, визначити ділянки із ущільненими сходами, де кількість сходів потрібно зменшити. Алгоритм забезпечує основу для точного управління. Отримані результати показують, що алгоритм із компонентом визначення зеленого кольору може швидко та ефективно ідентифікувати сходи соняшнику на ґрунтовому фоні та на основі розпізнавання зображень локалізувати такі сходи. Цей алгоритм не чутливий до вологості ґрунту та умов освітлення, а також менше схильний до впливу залишкового покриву угідь, тому він може застосовуватися до різних типів ґрунту. Окрім цього, такий метод є прикладом неруйнівного моніторингу сходів соняшнику.

Ключові слова: *сегментація зображення; машинний зір; колірні ознаки; визначення зеленого кольору; адаптивний метод порогової обробки зображень.*

Дата надходження до редакції: 01.12.2020 р.

UDC 632

A REVIEW OF RAPID PESTICIDE RESIDUES DETERMINATION IN VEGETABLES AND FRUITS

Li Fang
PhD student
Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine
School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China
lifangday@163.com

Dubovyk Volodymyr
PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor
Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine
ORCID:0000-0002-2880-7047
dvi_docent@ukr.net

Liu Runqiang
Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor
School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China
liurunqiang1983@126.com

With the increasing demand of production, pesticides have been widely used in fruit and vegetable yield. Pesticides are used to kill insects, fungi and other organisms that harm the growth of crops in order to ensure and promote the growth of crops. In particular, pesticides are used to control diseases and insects and regulate plant growth and weeding. From the point at this stage, the use of pesticides in agricultural production is inevitable, and the corresponding, also in rapid increase in the amount of pesticide, pesticide residue problem is along with the production and extensive use of pesticides, pesticide, especially the organic pesticide used in great quantities, cause serious problems of pesticide pollution, a serious threat to human health. That is the abuse of pesticides does harm for environment and human health, particularly in the bioaccumulation effect of pesticide residues on human body, attracting more and more attention from scientists. Therefore, it's imperative to develop high sensitivity, high selectivity, simple, rapid and low-cost methods for pesticide residues detection and analysis. The traditional methods of pesticide residue analysis mainly include gas chromatography high performance liquid chromatography, chromatography-mass spectrometry, etc. These methods have been widely used in pesticide residue detection, and a series of important achievements have been made. Although with high detection sensitivity, these methods have some problems such as complicated sample pretreatment, expensive equipment, time-consuming analysis, and the need for specialized instrument operators and so on, which cannot meet the requirements of rapid and real-time field detection of pesticide residues. Therefore, researchers in various fields have carried out and strengthened the research on rapid detection technology of pesticide residues, seeking to develop convenient, sensitive, accurate and stable new pesticide residue detection technology. In this paper, we mainly reviewed the rapid detection technologies of pesticide in fresh fruits and vegetables in recent years, including new chromatographic analysis, enzyme inhibition, fluorescence sensor, spectrophotometric and biosensor detection technology, and analyzed the development status, advantages, and disadvantages of each method, as well as the development prospect of rapid detection technology in the future.

***Key words**: pesticide residues, rapid detection techniques, cross-fusion technology, fruits and vegetables.*
DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.6

Introduction. Modern agricultural production is inseparable from the usage of pesticides to prevent and control all kinds of crop diseases, insect pests and weeds, following by severe food safety problems due to pesticide residues (Caria et al., 2021; Loganathan & Murugan, 2017). There are many kinds of pesticide, including organophosphorus pesticides, organic nitrogen pesticides (carbamate, triazine and its derivatives). Among them, organophosphorus and organic nitrogen pesticides have occupied the vast majority of the market because of their short half-life in the environment, relatively low toxicity to mammals, wide range of application and low price. As is known to all, residual pesticides are toxic, which can cause various chronic or acute poisoning, leading to physiological diseases such as rashes, asthma, chronic diseases, and neurological diseases (Calaf et al., 2021; Freire & Koifman, 2012; Li et al., 2021; Steenland et al., 1994; Upadhayay et al., 2020; Yu et al., 2021). Therefore, to ensure the quality and safety of agricultural products, efficient and rapid pesticide residue detection methods are researched (Wu et al., 2021). Traditional detection methods include chromatography, chromatography-tandem mass spectrometry and high-performance liquid chromatography and so on (Golge, 2021). They can be the preferred detection methods in the formulation of national standards for pesticide detection in many countries because of the high repeatability and stable test results. However, these methods need large detection equipment and specific operating environment, which are not suitable for the practical production requirements for the rapid field test.

In recent decades, a variety of low time-consuming, convenient and rapid detection methods developed, including but not limited to new chromatographic analysis, enzyme inhibition, fluorescence sensor, spectrophotometric and biosensor detection technology (Ninga et al., 2021; Rojas et al., 2021; Saegusa et al., 2021). What's more, these technologies have made great breakthroughs on the basis of each one, and various rapid detection technologies tend to be more and more cross-fusion, mutual penetration and advantages superposition (Hao & Wang, 2016). With

the rapid development of nanomaterials, multi-cross rapid detection technologies based on nanomaterials have a great breakthrough in sensor technology improvement, and biosensor technology has a huge development advantage in rapid detection technology (He et al., 2019; Lei et al., 2018; Lu et al., 2018; Wu et al. 2017).

Current rapid detection technology of pesticides

1. Chromatographic detection techniques

Chromatography, which is highly sensitive and mature, mainly include gas chromatography, gas chromatography-mass spectrometry, high performance liquid chromatography and other technologies (Hao et al, 2010; Tong et al., 2014; Wu et al., 2009). Although their disadvantage like expensive equipment requirement, high technical personnel, complex pretreatment and testing time, cross-fusion of rapid detection technologies make these methods showing great potential in the market for rapid detection recently. Khan (Khan et al., 2018) proposed a pressurized liquid extraction by ethyl acetate based method for simultaneous analysis of different pesticide residues in tuber crops, and then selectively identified and quantified the residuals by GC-MS selected reaction monitoring. They got the limits of quantification with 0.1–10 ng/g, and recovery rate from 70 % to 120 %.

Chromatographic detection technique is mainly used in laboratory precision detection. This technology shows high selectivity for organophosphorus pesticides, but its scope of action is relatively limited. The current research directions are mostly focused on improving pretreatment technology, enrichment methods and extraction methods. In other aspects, the method for rapid detection in the market needs to be further improved.

2. Enzyme inhibition detection techniques

Enzyme inhibition rapid detection method is based on the inhibitory effect of pesticide residues in food on enzyme. This technology has the advantages of simple and quick operation and simple pretreatment, and a variety of simple instruments have been developed for rapid detection in the market currently. However, this method has great limitations, and with poor stability due to many factors to be controlled (Gumpu et al., 2017; Li et al., 2019). So, there are a large room for improvement in sensitivity and accuracy. Through the effective combination with the biosensor technology, the sensitivity and accuracy of the enzyme inhibition technology have been greatly improved. After the fusion, the enzyme inhibition method with the biosensor technology is more suitable for rapid detection (Badawy, 2021; Singh et al., 2020). The rapid detection principle of enzyme inhibition method is relatively simple. By organophosphorus pesticides inhibiting the activity of acetylcholinesterase, the catalytic process can produce less H_2O_2, and the oxidation ability can be reduced, resulting in visible discoloration reaction of the substrate (Albendin et al., 2021; Lin et al., 2021). The intensity of colorimetric signal is an important factor in the research of enzyme inhibition method to realize the real visual detection. Yang (Yang et al., 2019) proposed an enzyme inhibition method to detect the pesticide residues of the milk. He established a system to study the inhibitory reactions of organic phosphorus and aminoformate residues in milk. The analysis of color reactions of milk showed a good correlation between color intensity and content of tolclofos-methyl, methamidophos and isoprocarb 1-naphthalenyl methyl carbamate, and the detection range of four kinds of pesticides is 0.5 ~ 1.0 mg/kg.

By combining with the biological sensing technology, the application scope of the enzyme inhibition method is expanded, and the enzyme sensitivity is enhanced. Enzyme inhibition sensor is one of the most widely used rapid detection technique in the current rapid detection market, but there are still many problems with its own (Wu et al., 2019). Recently, many researchers study the selective purification of enzyme, effective oxidation pretreatment, colorimetric signal enhancement and false positives elimination. The sensitivity of enzyme inhibition method is influenced by the purity of the enzyme, the concentration of substrate and environmental factors, etc., and the stability and sensitivity of the enzyme suppression method are need to be higher (Arduini et al., 2019; Pundir et al., 2019; Sgobbi & Machado, 2018).

3. Fluorescence detection techniques

Fluorescence detection method is based on the different material molecules, the different absorption and reaction of light wavelength. This technology has high sensitivity, but it is limited to the luminous pesticide, and the non-luminous pesticide still needs to be added with fluorescent agent, and is susceptible to the interference of external factors, with poor adaptability (Ouyang et al., 2021; Wang et al., 2021). In recent years, through the fusion of biosensors, this detection technology has also made great progress (Chen et al, 2021; Han et al., 2021; Liang et al., 2021; Lin et al., 2021). The fluorescence sensor has the advantages of simple operation, quick response, high sensitivity and good reproducibility. The fluorescence sensor consists of two parts: the fluorescence signal element and the recognition element. Enzymes, antibodies, aptamers and molecularly imprinted polymers (MIP) are combined with nanomaterials to further enrich the types of fluorescence sensors (Zhou et al., 2018). Carbon Quantum Dots (CQDs) have been proposed as the photo-sensitizer for this purpose, however the optical properties of pure CQDs restrict the detection limit of such an approach. Doping is an effective strategy to introduce novel electronic structure into the CQDs to solve this problem. using ionic liquids as a single source, H. Li (Li et al., 2016) proposed a novel N and S co-doped CQDs by a simple ultrasonic method. The doping in the structure introduces localized states which can trap photo-excited electrons and enhance their PL lifetime. These quantum dots are successfully used as the basis of a simple, efficient sensor for ultrasensitive pesticide detection (Limit of Detection = 5 ppb). J. Hou (Hou et al., 2015) used tyrosinase to catalyze the oxidation of tyrosine methyl ester on the surface of carbon dots to corresponding quinone products, which can quench the fluorescence of carbon dots, and the enzyme inhibition rate is proportional to the logarithm of the methyl parathion concentration in the range 1.0×10−10–1.0×10−4 M with the detection limit (S/N = 3) of 4.8×10−11 M.

The combination of fluorescence detection method and biosensor method has greatly promoted the rapid detection of pesticide residues (Hou et al., 2015; Long et al, 2015; Meng et al., 2013; Upadhyayula, 2012). Q. Luo (Luo et al., 2018) proposed a simple method for the preparation of highly selective and sensitive fluorescent probes based on Rhodamine B (RB) modified silver/gold bimetal nanoparticles (RB-Ag/Au NPs). Because that the coordination ability of Ag/Au NPs and organophosphorus pesticides (Ops) is stronger than that of Ag/Au NPs and RB, RB will be displaced from the Ag/Au NPs surface, accompanied by the fluorescence recovery of RB. It can be applied to the determination of OPs in real fruit and water samples with the limit of detection (LOD) as low as 0.0018 ng/mL.

4. Spectrophotometric colorimetry techniques

Colorimetry determines the content of components to be

measured by measuring the color depth of colored substance solution (Kostelnik & Pohanka, 2018; Liu et al., 2012). This method has high sensitivity and selectivity, and the reaction product is stable. In recent years, more and more researchers have combined spectrophotometric colorimetry with new sensors, and the newly emerging sensing materials have greatly improved the detection sensitivity of spectrophotometric technology. A. Kodir (Kodir et al., 2016) developed a novel pesticide colorimetric sensor based on L-cysteine-modified silver nanoparticles (L-cys-AgNPs). By reducing the silver nitrate solution in the presence of Diospyros blancoi leaf infusion, and then mixing with the l-cysteine solution, the colorimetric sensor was prepared. In the presence of cypermethrin, the color of l-cys-agnps was obvious, and the peak absorbance decreased from 1.15 to 0.17.

The optical colorimetric sensor synthesized from gold nanoparticles has high sensitivity (Li, et al., 2018). Moreover, the gold nanoparticles are stable, and the reaction with pesticides can make the gold nanoparticles aggregate and produce visible color changes (Bettazzi et al., 2021; Hua et al., 2021; Ma et al., 2021; Vilian et al., 2021; Wang et al., 2021). Using this principle, Bala (Bala et al., 2016) built a colorimetric apparatus based on gold nanoparticles to measure the phosphorous in a mixture. The results showed that the linear relationship was good within the concentration range of the uv-vis wavelength from 0.01 nm to 1.3 mm, and the detection limit was 1.3 mm, indicating a high sensitivity. Recently, biosensors based on nanomaterials have developed rapidly in pesticide detection, and more and more new nanomaterials have been used to prepare electrochemical biosensors. By Introduction of nanomaterials It greatly promoted the development of the biosensor technology, and with the progress of material science, all kinds of polymer and nano materials combine to form nanocomposites are also solved the traditional biological sensing technology stability and sensitivity is not high question, nanometer materials to make biological sensing technology has entered a new period of development.

5. Biosensor techniques

Biosensor techniques generally use enzymes, antigens, antibodies, cells and other active sensitive materials as recognition elements (Silva et al., 2020; Tang et al., 2020). The change in concentration will be converted into electrical signals after recognition and then displayed and recorded by amplification. Recently, biosensors based on nanomaterials have developed rapidly in pesticide detection, and more and more new nanomaterials have been used to prepare electrochemical biosensors, which greatly promoted the development of the biosensor technology (Akdag et al., 2020; Ayat et al., 2021; Chouichit et al., 2020; Jain et al., 2021; Lah et al., 2021). Although the stability and sensitivity of traditional biosensors technology is not high, all kinds of polymer and nanomaterials combine to form nanocomposites have solved these questions.

The electrochemical biosensor based on the inhibition of acetylcholinesterase is a promising method for the detection of organophosphorus. The irreversible oxidation peak of the active product thiocholine is an important marker for the detection of organophosphorus (Alex & Mukherjee, 2021; Cao et al., 2020; Caratelli et al., 2020; Davletshina et al., 2020; Silva et al., 2020; Singh et al., 2020). Different from traditional organophosphorus detection methods, this method does not need expensive experimental equipment and well-trained technicians, and the detection cost is low and efficient. To improve sensor sensitivity and reduce detection limits, the researchers used different nanomaterials in the sensor, such as Au nanoparticles (Li & He, 2021; Lipinska et al., 2021; Rashed et al., 2021; Yang et al., 2021), carbon nanotubes (Kathiresan et al., 2021; Li et al., 2021; Qian et al. 2021; Rashid et al., 2021; Siew et al. 2021), graphene (Gan et al., 2021; Rashid et al., 2021; Siew et al., 2021; Sun et al., 2021; Zhou et al., 2021) and magnetic nanomaterials (Da Silva & Brett, 2020; Lu et al., 2020; Shen et al., 2021). The large specific surface area and easy modification characteristics of nanomaterials provide more active sites on the electrode surface, which is more conducive to full contact with the reactants, thus providing detectable electrical signals. Zhao (Zhao et al., 2015) constructed an ultra-sensitive current sensor by using Au nanoparticles (AuNPs)-β-cyclodextrin (β-CD) and Prussian blue-chitosan (PB-CS) and acetylcholinesterase(AChE), and realized the high sensitivity detection of malathion and carbaryl through the synergic action of multiple components, with detection limit as low as 4.14 pg/mL and 1.15 pg/mL, respectively. By cross-linking acetylcholinesterase onto the IL-GR/Co3O4 / CHI electrode constructed from ionic liquid modified graphene (IL-GR) and Co3O4 nanoparticles, Y. Zheng (Zheng et al., 2016) was able to effectively reduce the loss of enzyme activity and improve the detection sensitivity. A linear relationship between the inhibition percentage (I%) and logarithm of the concentration of dimethoate was found in the range from 5.0 × 10−12 to 1.0 × 10−7 M, with a detection limit of 1.0 × 10−13 M (S/N = 3).

In order to further enhance the stability of the biosensors, a nanocomposite material which can significantly enhance the mechanical strength of each component is formed by introducing a polymer into the nanometer material (Bagheri et al., 2017; Cinti et al., 2016; Guler et al., 2017; Huang et al., 2010; Huo et al., 2014; Jeyapragasam & Saraswathi, 2014; Wei & Wang, 2015; Zheng et al., 2015). New biosensors have developed rapidly, and the stability and sensitivity of all kinds of biosensors have been greatly improved, but they are only used for single pesticide and the detection range still is very small. So, they can't be widely used for the rapid detection of a variety of organophosphorus pesticides on the market. The development of nanometer materials made great progress for biological sensor technology in sensitivity and stability, which has significantly outpaced the development of other rapid detection technologies (Jiang et al., 2020; Wang et al., 2016). Therefore, the cross-fusion detection methods combining with biosensor and other rapid detection technologies retain the development advantages, and overcome many limiting factors in the rapid detection technology, making the rapid detection technology develop rapidly and become perfect.

Conclusions. In recent years, with the improvement of market requirements for the rapid detection technology of pesticides, organophosphorus pesticides, as an important part of the pesticide market, whose development speed of the rapid detection technology is very rapid. There are a wide variety of traditional detection technologies for pesticide, and each of them have own pros and cons, with development difficulties (Chen et al., 2021; C. J. Li et al., 2021; J. J. Li et al., 2021; Liang et al., 2021; Lin et al., 2021; Teysseire et al., 2021). At present, the rapid detection methods in the pesticide market tend to be more and more cross-fusion with various detection technologies. With the progress of science and technology, the development of new nanomaterials also makes great contributions to the improvement of rapid detection technology. Especially for the biosensor technol-

ogy, who highly require for new material, the development of nanomaterials directly promotes the progress of this technology (Burratti et al., 2021; Du et al., 2021; M. Li et al., 2021; Ren et al., 2021; X. Y. Zhou et al., 2021). As the cross-fusion of a variety of rapid detection technologies, biosensor technology shows strong combination, and is suitable for a variety of rapid detection method of combining. Through the combination of biosensor detection technology and other rapid detection technologies, many difficulties in the development of rapid detection technology have been overcome. The advantages of rapid detection technology, such as enzyme inhibition detection technology, fluorescence detection and spectrophotometric detection technology, have been amplified, therefore the rapid detection techniques become more extensive and faster (Badawy, 2021; Cao et al., 2020; Singh et al., 2020; Q. S. Wei et al., 2020; N. Yang et al., 2020).

References:

1. Caria, G., Proix, N., Mougin, C., Ouddane, B., & Net, S. (2021). A new, simple, efficient and robust multi-residue method based on pressurised-liquid extraction of agricultural soils to analyze pesticides by liquid chromatography coupled with a high resolution quadrupole time-of-flight mass spectrometer. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. doi: 10.1080/03067319.2021.1889531

2. Loganathan, S., & Murugan, T. (2017). Pesticide-Mediated Toxicity in Modern Agricultural Practices. In Sustainable Agriculture towards Food Security, Springer, 359–373.

3. Calaf, G. M., Bleak, T. C., & Roy, D. (2021). Signs of carcinogenicity induced by parathion, malathion, and estrogen in human breast epithelial cells. Oncology Reports, 45(4). doi: 10.3892/or.2021.7975

4. Freire, C., & Koifman, S. J. N. (2012). Pesticide exposure and Parkinson's disease: epidemiological evidence of association, 33(5), 947–971.

5. Li, Z. H., Sun, J. T., & Zhu, L. Z. (2021). Organophosphorus pesticides in greenhouse and open-field soils across China: Distribution characteristic, polluted pathway and health risk. Science of the Total Environment, 765. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142757

6. Steenland, K., Jenkins, B., Ames, R. G., O'Malley, M., Chrislip, D., & Russo, J. J. A. J. o. P. H. (1994). Chronic neurological sequelae to organophosphate pesticide poisoning. 84(5), 731–736.

7. Upadhayay, J., Rana, M., Juyal, V., Bisht, S. S., Joshi, R. J. P. i. C. P. P., & Action, B. (2020). Impact of Pesticide Exposure and Associated Health Effects, 69–88.

8. Yu, H., Sun, H. Z., Wang, X. R., Liang, Y. B., Guo, M. M., Yu, J. W., & Zhou, L. (2021). Residue behavior and safety evaluation of pymetrozine in tea. Journal of the Science of Food and Agriculture. doi: 10.1002/jsfa.11047

9. Wu, P. L., Wang, P. S., Gu, M. Y., Xue, J., & Wu, X. L. (2021). Human health risk assessment of pesticide residues in honeysuckle samples from different planting bases in China. Science of the Total Environment, 759. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142747

10. Golge, O. (2021). Validation of Quick Polar Pesticides (QuPPe) Method for Determination of Eight Polar Pesticides in Cherries by LC-MS/MS. Food Analytical Methods. doi: 10.1007/s12161-021-01966-w

11. Ninga, E., Sapozhnikova, Y., Lehotay, S. J., Lightfield, A. R., & Monteiro, S. H. (2021). High-Throughput Mega-Method for the Analysis of Pesticides, Veterinary Drugs, and Environmental Contaminants by Ultra-High-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry and Robotic Mini-Solid-Phase Extraction Cleanup plus Low-Pressure Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry, Part 1: Beef. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 69(4), 1159–1168. doi: 10.1021/acs.jafc.0c00710

12. Rojas, C., Aranda, J. F., Jaramillo, E. P., Losilla, I., Tripaldi, P., Duchowicz, P. R., & Castro, E. A. (2021). Foodinformatic prediction of the retention time of pesticide residues detected in fruits and vegetables using UHPLC/ESI Q-Orbitrap. Food Chemistry, 342. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128354

13. Saegusa, H., Nomura, H., Takao, M., Hamaguchi, T., Yoshida, M., & Kodama, Y. (2021). Development and validation of an analysis method for pesticide residues by gas chromatography-tandem mass spectrometry in Daikenchuto. Journal of Natural Medicines, 75(2), 344–360. doi: 10.1007/s11418-020-01473-y

14. Hao, N., & Wang, K. (2016). Recent development of electrochemiluminescence sensors for food analysis. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 408(25), 7035–7048. doi: 10.1007/s00216-016-9548-2

15. He, Y. H., Zhao, F. N., Zhang, C., Abd Ei-Aty, A. M., Baranenko, D. A., Hacimuftuoglu, A., & She, Y. X. (2019). Assessment of magnetic core-shell mesoporous molecularly imprinted polymers for selective recognition of triazoles residual levels in cucumber. Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 1132. doi: 10.1016/j.jchromb.2019.121811

16. Lei, S., Li, X. H., Wang, Y., Sun, L. R., Liu, H., & Zhao, L. S. (2018). Synthesis of magnetic multiwall carbon nanotubes for enantioseparation of three pesticide residues in fruits and vegetables by chiral liquid chromatography. Chirality, 30(12), 1321–1329. doi:10.1002/chir.23029

17. Lu, J. X., Sun, Y. F., Waterhouse, G. I. N., & Xu, Z. X. (2018). A voltammetric sensor based on the use of reduced graphene oxide and hollow gold nanoparticles for the quantification of methyl parathion and parathion in agricultural products. Advances in Polymer Technology, 37(8), 3629–3638. doi: 10.1002/adv.22147

18. Wu, S., Li, D. D., Gao, Z. M., & Wang, J. M. (2017). Controlled etching of gold nanorods by the Au(III)-CTAB complex, and its application to semi-quantitative visual determination of organophosphorus pesticides. Microchimica Acta, 184(11), 4383–4391. doi: 10.1007/s00604-017-2468-9

19. Hao, C. Y., Nguyen, B., Zhao, X. M., Chen, E., & Yang, P. (2010). Determination of Residual Carbamate, Organophosphate, and Phenyl Urea Pesticides in Drinking and Surface Water by High-Performance Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry.

Journal of Aoac International, 93(2), 400–410.

20. Tong, H. F., Tong, Y. L., Xue, J., Liu, D. J., & Wu, X. B. (2014). Multi-residual Pesticide Monitoring in Commercial Chinese Herbal Medicines by Gas Chromatography-Triple Quadrupole Tandem Mass Spectrometry. Food Analytical Methods, 7(1), 135–145. doi:10.1007/s12161-013-9609-5

21. Wu, Y., Kang, Q. H., Gao, K. Y., & Li, Z. B. (2009). Determination of 44 Organophosphorous Pesticides Residual in Chestnut Using Solid Phase Extraction and On-line Gel Permeation Chromatography/Gas Chromatography-Mass Spectrometry. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 37(5), 753–757.

22. Khan, Z., Kamble, N., Bhongale, A., Girme, M., Chauhan, V. B., & Banerjee, K. J. F. c. (2018). Analysis of pesticide residues in tuber crops using pressurised liquid extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry, 241, 250–257.

23. Gumpu, M. B., Nesakumar, N., Nagarajan, S., Ramanujam, S., Krishnan, U. M., Babu, K. J., & Rayappan, J. B. B. (2017). Design and Development of Acetylthiocholine Electrochemical Biosensor Based on Zinc Oxide-Cerium Oxide Nanohybrid Modified Platinum Electrode. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 98(5), 662–671. doi: 10.1007/s00128-017-2045-2

24. Li, Y. Q., Li, Y. Z., Yu, X. L., & Sun, Y. (2019). Electrochemical Determination of Carbofuran in Tomatoes by a Concanavalin A (Con A) Polydopamine (PDA)-Reduced Graphene Oxide (RGO)-Gold Nanoparticle (GNP) Glassy Carbon Electrode (GCE) with Immobilized Acetylcholinesterase (AChE). Analytical Letters, 52(14), 2283–2299. doi:10.1080/00032719.2019.1609490

25. Badawy, S. M. (2021). Optimization of reaction time for detection of organophosphorus pesticides by enzymatic inhibition assay and mathematical modeling of enzyme inhibition. Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes, 56(2), 142–149. doi: 10.1080/03601234.2020.1853455

26. Singh, A. P., Balayan, S., Hooda, V., Sarin, R. K., & Chauhan, N. (2020). Nano-interface driven electrochemical sensor for pesticides detection based on the acetylcholinesterase enzyme inhibition. International Journal of Biological Macromolecules, 164, 3943–3952. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.08.215

27. Albendin, M. G., Manuel-Vez, M., & Arellano, J. M. (2021). In vivo cholinesterase sensitivity of gilthead seabream (Sparus aurata) exposed to organophosphate compounds: Influence of biological factors. Ecological Indicators, 121. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107176

28. Lin, X. F., Yu, Q. R., Yang, W., He, C. X., Zhou, Y., Duan, N., & Wu, S. J. (2021). Double-enzymes-mediated fluorescent assay for sensitive determination of organophosphorus pesticides based on the quenching of upconversion nanoparticles by Fe3+. Food Chemistry, 345. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128809

29. Yang, X.-m., Gu, Y.-p., Wu, S.-j., Feng, L., & Xie, F. (2019). Research on a rapid detection method of pesticide residues in milk by enzyme inhibition. Paper presented at the E3S Web of Conferences.

30. Wu, Y., Jiao, L., Xu, W. Q., Gu, W. L., Zhu, C. Z., Du, D., & Lin, Y. H. (2019). Polydopamine-Capped Bimetallic AuPt Hydrogels Enable Robust Biosensor for Organophosphorus Pesticide Detection. Small, 15(17). doi: 10.1002/smll.201900632

31. Arduini, F., Cinti, S., Caratelli, V., Amendola, L., Palleschi, G., & Moscone, D. (2019). Origami multiple paper-based electrochemical biosensors for pesticide detection. Biosensors & Bioelectronics, 126, 346–354. doi: 10.1016/j.bios.2018.10.014

32. Pundir, C. S., Malik, A., & Preety. (2019). Bio-sensing of organophosphorus pesticides: A review. Biosensors & Bioelectronics, 140, 5–17. doi: 10.1016/j.bios.2019.111348

33. Sgobbi, L. F., & Machado, S. A. S. (2018). Functionalized polyacrylamide as an acetylcholinesterase-inspired biomimetic device for electrochemical sensing of organophosphorus pesticides. Biosensors & Bioelectronics, 100, 290–297. doi: 10.1016/j.bios.2017.09.019

34. Ouyang, Q., Wang, L., Ahmad, W., Rong, Y. W., Li, H. H., Hu, Y. Q., & Chen, Q. S. (2021). A highly sensitive detection of carbendazim pesticide in food based on the upconversion-MnO2 luminescent resonance energy transfer biosensor. Food Chemistry, 349. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129157

35. Wang, S., Chen, H. Y., Xie, H. L., Wei, L. N., Xu, L., Zhang, L., & Fu, H. Y. (2021). A novel thioctic acid-carbon dots fluorescence sensor for the detection of Hg2+ and thiophanate methyl via S-Hg affinity. Food Chemistry, 346. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128923

36. Chen, Y., Zhu, Y. Y., Zhao, Y. H., & Wang, J. (2021). Fluorescent and colorimetric dual-response sensor based on copper (II)-decorated graphitic carbon nitride nanosheets for detection of toxic organophosphorus. Food Chemistry, 345. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128560

37. Han, Y., He, X., Yang, W. X., Luo, X. L., Yu, Y., Tang, W. Z., & Li, Z. H. (2021). Ratiometric fluorescent sensing carbendazim in fruits and vegetables via its innate fluorescence coupling with UiO-67. Food Chemistry, 345. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128839

38. Liang, N. N., Hu, X. T., Li, W. T., Mwakosya, A. W., Guo, Z., Xu, Y. W., & Shi, J. Y. (2021). Fluorescence and colorimetric dual-mode sensor for visual detection of malathion in cabbage based on carbon quantum dots and gold nanoparticles. Food Chemistry, 343. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128494

39. Zhou, Y.-z., Wang, X., & Liu, B.-l. J. S. (2018). IProgress of functionalized nano probe based on aptamer in food safety and detection. ndustry, T. o. F., (10), 62.

40. Li, H., Sun, C., Vijayaraghavan, R., Zhou, F., Zhang, X., & MacFarlane, D. R. J. C. (2016). Long lifetime photoluminescence in N, S co-doped carbon quantum dots from an ionic liquid and their applications in ultrasensitive detection of pesticides, 104, 33–39.

41. Hou, J., Dong, J., Zhu, H., Teng, X., Ai, S., & Mang, M. J. B. (2015). A simple and sensitive fluorescent sensor for methyl parathion based on l-tyrosine methyl ester functionalized carbon dots, Bioelectronics, 68, 20–26.

42. Hou, J. Y., Dong, J., Zhu, H. S., Teng, X., Ai, S. Y., & Mang, M. L. (2015). A simple and sensitive fluorescent sensor for methyl parathion based on L-tyrosine methyl ester functionalized carbon dots. Biosensors & Bioelectronics, 68, 20–26.

doi: 10.1016/j.bios.2014.12.037

43. Long, Q., Li, H. T., Zhang, Y. Y., & Yao, S. Z. (2015). Upconversion nanoparticle-based fluorescence resonance energy transfer assay for organophosphorus pesticides. Biosensors & Bioelectronics, 68, 168–174. doi: 10.1016/j.bios.2014.12.046

44. Meng, X. W., Wei, J. F., Ren, X. L., Ren, J., & Tang, F. Q. (2013). A simple and sensitive fluorescence biosensor for detection of organophosphorus pesticides using H2O2-sensitive quantum dots/bi-enzyme. Biosensors & Bioelectronics, 47, 402–407. doi: 10.1016/j.bios.2013.03.053

45. Upadhyayula, V. K. K. (2012). Functionalized gold nanoparticle supported sensory mechanisms applied in detection of chemical and biological threat agents: A review. Analytica Chimica Acta, 715, 1–18. doi: 10.1016/j.aca.2011.12.008

46. Luo, Q., Lai, J., Qiu, P., Wang, X. J. S., & Chemical, A. B. (2018). An ultrasensitive fluorescent sensor for organophosphorus pesticides detection based on RB-Ag/Au bimetallic nanoparticles, 263, 517–523.

47. Kostelnik, A., & Pohanka, M. (2018). Superficially Bound Acetylcholinesterase Based on a Chitosan Matrix for Neurotoxic Compound Assay by a Photographic Technique. Analytical Letters, 51(10), 1622–1632. doi:10.1080/00032719.2017.1381846

48. Liu, W., Zhang, D. H., Tang, Y. F., Wang, Y. S., Yan, F., Li, Z. H., & Zhou, H. S. (2012). Highly sensitive and selective colorimetric detection of cartap residue in agricultural products. Talanta, 101, 382–387. doi: 10.1016/j.talanta.2012.09.045

49. Kodir, A., Imawan, C., Permana, I. S., & Handayani, W. (2016). Pesticide colorimetric sensor based on silver nanoparticles modified by L-cysteine. Paper presented at the 2016 International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM).

50. Li, X. X., Cui, H. X., & Zeng, Z. H. (2018). A Simple Colorimetric and Fluorescent Sensor to Detect Organophosphate Pesticides Based on Adenosine Triphosphate-Modified Gold Nanoparticles. Sensors, 18(12). doi: 10.3390/s18124302

45. Bettazzi, F., Ingrosso, C., Sfragano, P. S., Pifferi, V., Falciola, L., Curri, M. L., & Palchetti, I. (2021). Gold nanoparticles modified graphene platforms for highly sensitive electrochemical detection of vitamin C in infant food and formulae. Food Chemistry, 344. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128692

51. Hua, Z., Yu, T., Liu, D. H., & Xianyu, Y. L. (2021). Recent advances in gold nanoparticles-based biosensors for food safety detection. Biosensors & Bioelectronics, 179. doi: 10.1016/j.bios.2021.113076

52. Ma, L. Y., Patil, A., Wu, R. H., Zhang, Y. F., Meng, Z. H., Zhang, W. L., & Wang, J. (2021). A capacitive humidity sensor based on all-protein embedded with gold nanoparticles @ carbon composite for human respiration detection. Nanotechnology, 32(19). doi: 10.1088/1361-6528/abe32d

53. Vilian, A. T. E., Umapathi, R., Hwang, S. K., Lee, M. J., Huh, Y. S., & Han, Y. K. (2021). Simple synthesis of a clew-like tungsten carbide nanocomposite decorated with gold nanoparticles for the ultrasensitive detection of tert-butylhydroquinone. Food Chemistry, 348. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128936

54. Wang, R. R., Mao, Y., Wang, L., Qu, H., Chen, Y., & Zheng, L. (2021). Solution-gated graphene transistor based sensor for histamine detection with gold nanoparticles decorated graphene and multi-walled carbon nanotube functionalized gate electrodes. Food Chemistry, 347. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128980

55. Bala, R., Sharma, R. K., & Wangoo, N. J. A. (2016). Development of gold nanoparticles-based aptasensor for the colorimetric detection of organophosphorus pesticide phorate. Anal Bioandl Chem., 408(1), 333–338.

56. Silva, T. S. E., Soares, I. P., Lacerda, L. R. G., Cordeiro, T. A. R., Ferreira, L. F., & Franco, D. L. (2020). Electrochemical modification of electrodes with polymers derived from of hydroxybenzoic acid isomers: Optimized platforms for an alkaline phosphatase biosensor for pesticide detection. Materials Chemistry and Physics, 252. doi: 10.1016/j.matchemphys.2020.123221

57. Tang, J., Li, J. J., Xiong, P. Y., Sun, Y. F., Zeng, Z. Y., Tian, X. C., & Tang, D. P. (2020). Rolling circle amplification promoted magneto-controlled photoelectrochemical biosensor for organophosphorus pesticides based on dissolution of core-shell MnO2 nanoflower@CdS mediated by butyrylcholinesterase. Microchimica Acta, 187(8). doi: 10.1007/s00604-020-04434-0

58. Akdag, A., Isik, M., & Goktas, H. (2020). Conducting polymer-based electrochemical biosensor for the detection of acetylthiocholine and pesticide via acetylcholinesterase. Biotechnology and Applied Biochemistry. doi: 10.1002/bab.2030

59. Ayat, M., Ayouz, K., Yaddadene, C., Berouaken, M., & Gabouze, N. (2021). Porous silicon-modified electrode for electrochemical pesticide biosensor. Journal of Coatings Technology and Research, 18(1), 53–62. doi: 10.1007/s11998-020-00381-w

60. Chouichit, P., Whangsuk, W., Sallabhan, R., Mongkolsuk, S., & Loprasert, S. (2020). A highly sensitive biosensor with a single-copy evolved sensing cassette for chlorpyrifos pesticide detection. Microbiology-Sgm, 166(11), 1019–1024. doi: 10.1099/mic.0.000979

61. Jain, M., Yadav, P., Joshi, B., Joshi, A., & Kodgire, P. (2021). A novel biosensor for the detection of organophosphorus (OP)-based pesticides using organophosphorus acid anhydrolase (OPAA)-FL variant. Applied Microbiology and Biotechnology, 105(1), 389–400. doi: 10.1007/s00253-020-11008-w

62. Lah, N. F. C., Ahmad, A. L., & Low, S. C. (2021). Molecular imprinted membrane biosensor for pesticide detection: Perspectives and challenges. Polymers for Advanced Technologies, 32(1), 17–30. doi:10.1002/pat.5098

63. Alex, A. V., & Mukherjee, A. (2021). Review of recent developments (2018-2020) on acetylcholinesterase inhibition based biosensors for organophosphorus pesticides detection. Microchemical Journal, 161. doi:10.1016/j.microc.2020.105779

64. Cao, J., Wang, M., Yu, H., She, Y. X., Cao, Z., Ye, J. M., & Lao, S. B. (2020). An Overview on the Mechanisms and Applications of Enzyme Inhibition-Based Methods for Determination of Organophosphate and Carbamate Pesticides. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(28), 7298–7315. doi: 10.1021/acs.jafc.0c01962

65. Caratelli, V., Ciampaglia, A., Guiducci, J., Sancesario, G., Moscone, D., & Arduini, F. (2020). Precision medicine in Alzheimer's disease: An origami paper-based electrochemical device for cholinesterase inhibitors. Biosensors & Bioelectronics, 165.

doi: 10.1016/j.bios.2020.112411

66. Davletshina, R., Ivanov, A., Shamagsumova, R., Evtugyn, V., & Evtugyn, G. (2020). Electrochemical Biosensor Based on Polyelectrolyte Complexes with Dendrimer for the Determination of Reversible Inhibitors of Acetylcholinesterase. Analytical Letters. doi: 10.1080/00032719.2020.1821700

67. Li, M., & He, B. S. (2021). Ultrasensitive sandwich-type electrochemical biosensor based on octahedral gold nanoparticles modified poly (ethylenimine) functionalized graphitic carbon nitride nanosheets for the determination of sulfamethazine. Sensors and Actuators B-Chemical, 329. doi: 10.1016/j.snb.2020.129158

68. Lipinska, W., Siuzdak, K., Karczewski, J., Dolega, A., & Grochowska, K. (2021). Electrochemical glucose sensor based on the glucose oxidase entrapped in chitosan immobilized onto laser-processed Au-Ti electrode. Sensors and Actuators B-Chemical, 330. doi: 10.1016/j.snb.2020.129409

69. Rashid, S., Nawaz, M. H., Rehman, I. U., Hayat, A., & Marty, J. L. (2021). Dopamine/mucin-1 functionalized electro-active carbon nanotubes as a probe for direct competitive electrochemical immunosensing of breast cancer biomarker. Sensors and Actuators B-Chemical, 330. doi: 10.1016/j.snb.2020.129351

70. Yang, H. S., Bao, J., Huo, D. Q., Zeng, Y., Wang, X. F., Samalo, M., Hou, C. J. (2021). Au doped poly-thionine and poly-m-Cresol purple: Synthesis and their application in simultaneously electrochemical detection of two lung cancer markers CEA and CYFRA21-1. Talanta, 224. doi: 10.1016/j.talanta.2020.121816

71. Kathiresan, V., Thirumalai, D., Rajarathinam, T., Yeom, M., Lee, J., Kim, S., & Chang, S. C. (2021). A simple one-step electrochemical deposition of bioinspired nanocomposite for the non-enzymatic detection of dopamine. Journal of Analytical Science and Technology, 12(1). doi:10.1186/s40543-021-00260-y

72. Li, J., Huang, X., Shi, W. S., Jiang, M. Y., Tian, L., Su, M. J., & Gu, H. Y. (2021). Pt nanoparticle decorated carbon nanotubes nanocomposite based sensing platform for the monitoring of cell-secreted dopamine. Sensors and Actuators B-Chemical, 330. doi: 10.1016/j.snb.2020.129311

73. Qian, L. T., Durairaj, S., Prins, S., & Chen, A. C. (2021). Nanomaterial-based electrochemical sensors and biosensors for the detection of pharmaceutical compounds. Biosensors & Bioelectronics, 175. doi: 10.1016/j.bios.2020.112836

74. Rashed, M. A., Harraz, F. A., Faisal, M., El-Toni, A. M., Alsaiari, M., & Al-Assiri, M. S. (2021). Gold nanoparticles plated porous silicon nanopowder for nonenzymatic voltammetric detection of hydrogen peroxide. Analytical Biochemistry, 615. doi: 10.1016/j.ab.2020.114065

75. Siew, Q. Y., Pang, E. L., Loh, H. S., & Tan, M. T. T. (2021). Highly sensitive and specific graphene/TiO2 impedimetric immunosensor based on plant-derived tetravalent envelope glycoprotein domain III (EDIII) probe antigen for dengue diagnosis. Biosensors & Bioelectronics, 176. doi: 10.1016/j.bios.2020.112895

76. Gan, X. Y., Qiu, F., Jiang, B. Y., Yuan, R., & Xiang, Y. (2021). Convenient and highly sensitive electrochemical biosensor for monitoring acid phosphatase activity. Sensors and Actuators B-Chemical, 332. doi: 10.1016/j.snb.2021.129483

77. Sun, P., Xu, K. B., Guang, S. Y., & Xu, H. Y. (2021). Controlling assembly-induced single layer RGO to achieve highly sensitive electrochemical detection of Pb(II) via synergistic enhancement. Microchemical Journal, 162. doi: 10.1016/j.microc.2020.105883

78. Zhou, X. Y., Wang, C. C., Wu, L. N., Wei, W., & Liu, S. Q. (2021). An OliGreen-responsive fluorescence sensor for sensitive detection of organophosphorus pesticide based on its specific selectivity towards T-Hg2+-T DNA structure. Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 247. doi: 10.1016/j.saa.2020.119155

79. Zhou, Y. L., Lv, Y. B., Dong, H., Liu, L. T., Mao, G. L., Zhang, Y. T., & Xu, M. T. (2021). Ultrasensitive assay of amyloid-beta oligomers using Au-vertical graphene/carbon cloth electrode based on poly(thymine)-templated copper nanoparticles as probes. Sensors and Actuators B-Chemical, 331. doi: 10.1016/j.snb.2020.129429

80. Da Silva, W., & Brett, C. M. A. (2020). Novel biosensor for acetylcholine based on acetylcholinesterase/poly (neutral red) - Deep eutectic solvent/Fe2O3 nanoparticle modified electrode. Journal of Electroanalytical Chemistry, 872. doi: 10.1016/j.jelechem.2020.114050

81. Lu, J., Hu, Y. H., Wang, P. X., Liu, P. Q., Chen, Z. G., & Sun, D. P. (2020). Electrochemical biosensor based on gold nanoflowers-encapsulated magnetic metal-organic framework nanozymes for drug evaluation with in-situ monitoring of H2O2 released from H9C2 cardiac cells. Sensors and Actuators B-Chemical, 311. doi: 10.1016/j.snb.2020.127909

82. Shen, Y. F., Xu, L. Z., & Li, Y. B. (2021). Biosensors for rapid detection of Salmonella in food: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(1), 149–197. doi: 10.1111/1541-4337.12662

83. Zhao, H., Ji, X., Wang, B., Wang, N., Li, X., Ni, R., & Ren J. bioelectronics. (2015). An ultra-sensitive acetylcholinesterase biosensor based on reduced graphene oxide-Au nanoparticles-β-cyclodextrin/Prussian blue-chitosan nanocomposites for organophosphorus pesticides detection. Biosens Bioelectron, 65, 23–30.

84. Zheng, Y., Liu, Z., Zhan, H., Li, J., & Zhang, C. J. A. m. (2016). Studies on electrochemical organophosphate pesticide (OP) biosensor design based on ionic liquid functionalized graphene and a Co 3 O 4 nanoparticle modified electrode. 8(26), 5288–5295.

85. Bagheri, H., Afkhami, A., Khoshsafar, H., Hajian, A., & Shahriyari, A. (2017). Protein capped Cu nanoclusters-SWCNT nanocomposite as a novel candidate of high performance platform for organophosphates enzymeless biosensor. Biosensors & Bioelectronics, 89, 829–836. doi: 10.1016/j.bios.2016.10.003

86. Cinti, S., Neagu, D., Carbone, M., Cacciotti, I., Moscone, D., & Arduini, F. (2016). Novel carbon black-cobalt phthalocyanine nanocomposite as sensing platform to detect organophosphorus pollutants at screen-printed electrode. Electrochimica Acta, 188, 574–

581. doi:10.1016/j.electacta.2015.11.069

87. Guler, M., Turkoglu, V., & Basi, Z. (2017). Determination of malation, methidathion, and chlorpyrifos ethyl pesticides using acetylcholinesterase biosensor based on Nafion/Ag@rGO-NH2 nanocomposites. Electrochimica Acta, 240, 129–135. doi: 10.1016/j.electacta.2017.04.069

88. Huang, B. A., Zhang, W. D., Chen, C. H., & Yu, Y. X. (2010). Electrochemical determination of methyl parathion at a Pd/MWCNTs-modified electrode. Microchimica Acta, 171(1–2), 57–62. doi: 10.1007/s00604-010-0408-z

89. Huo, D. Q., Li, Q., Zhang, Y. C., Hou, C. J., & Lei, Y. (2014). A highly efficient organophosphorus pesticides sensor based on CuO nanowires-SWCNTs hybrid nanocomposite. Sensors and Actuators B-Chemical, 199, 410–417. doi: 10.1016/j.snb.2014.04.016

90. Jeyapragasam, T., & Saraswathi, R. (2014). Electrochemical biosensing of carbofuran based on acetylcholinesterase immobilized onto iron oxide-chitosan nanocomposite. Sensors and Actuators B-Chemical, 191, 681–687. doi: 10.1016/j.snb.2013.10.054

91. Wei, M., & Wang, J. J. (2015). A novel acetylcholinesterase biosensor based on ionic liquids-AuNPs-porous carbon composite matrix for detection of organophosphate pesticides. Sensors and Actuators B-Chemical, 211, 290–296. doi: 10.1016/j.snb.2015.01.112

92. Zheng, Y. Y., Liu, Z. M., Jing, Y. F., Li, J., & Zhan, H. J. (2015). An acetylcholinesterase biosensor based on ionic liquid functionalized graphene-gelatin- modified electrode for sensitive detection of pesticides. Sensors and Actuators B-Chemical, 210, 389–397. doi: 10.1016/j.snb.2015.01.003

93. Jiang, X. C., Shi, L. H., Luo, B., Wang, D. M., Wang, Z. L., Fan, M. K., & Gong, Z. J. (2020). Transmission Surface Enhanced Infrared Spectroscopy Based on AgNPs-Cu Foam Substrate for the Detection of Thiram Pesticides. Spectroscopy and Spectral Analysis, 40(6), 1809–1814. doi:10.3964/j.issn.1000-0593(2020)06-1809-06

94. Wang, Y., Sun, C. J., Zhao, X., Cui, B., Zeng, Z. H., Wang, A. Q., & Cui, H. X. (2016). The Application of Nano-TiO2 Photo Semiconductors in Agriculture. Nanoscale Research Letters, 11. doi: 10.1186/s11671-016-1721-1

95. Li, C. J., Zhu, H. M., Guo, Y. H., Xie, Y. F., Cheng, Y. L., Yu, H., & Yao, W. R. (2021). Investigation of the transformation and toxicity of trichlorfon at the molecular level during enzymic hydrolysis of apple juice. Food Chemistry, 344. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128653

96. Li, J. J., Xiong, P. Y., Tang, J., Liu, L. P., Gao, S., Zeng, Z. Y., & Zhuang, J. Y. (2021). Biocatalysis-induced formation of BiOBr/Bi2S3 semiconductor heterostructures: A highly efficient strategy for establishing sensitive photoelectrochemical sensing system for organophosphorus pesticide detection. Sensors and Actuators B-Chemical, 331. doi: 10.1016/j.snb.2021.129451

97. Teysseire, R., Manangama, G., Baldi, I., Carles, C., Brochard, P., Bedos, C., & Delva, F. (2021). Determinants of non-dietary exposure to agricultural pesticides in populations living close to fields: A systematic review. Science of the Total Environment, 761. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143294

98. Burratti, L., Ciotta, E., De Matteis, F., & Prosposito, P. (2021). Metal Nanostructures for Environmental Pollutant Detection Based on Fluorescence. Nanomaterials, 11(2). doi: 10.3390/nano11020276

99. Du, H., Xie, Y. Q., & Wang, J. (2021). Nanomaterial-sensors for herbicides detection using electrochemical techniques and prospect applications. Trac-Trends in Analytical Chemistry, 135. doi: 10.1016/j.trac.2020.116178

100. Li, M., Zhu, J. P., Wu, Q., & Wang, Q. W. (2021). The combined adverse effects of cis-bifenthrin and graphene oxide on lipid homeostasis in Xenopus laevis. Journal of Hazardous Materials, 407. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124876

101. Ren, B., Jia, B., Zhang, X. D., Wang, J., Li, Y. H., Liang, H. L., & Liang, H. W. (2021). Influence of multi-walled carbon nanotubes on enantioselective bioaccumulation and oxidative stress toxicity of indoxacarb in zebrafish(Danio rerio). Chemosphere, 267. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128872

102. Yang, N., Zhou, X., Yu, D. F., Jiao, S. Y., Han, X., Zhang, S. L., & Mao, H. P. (2020). Pesticide residues identification by impedance time-sequence spectrum of enzyme inhibition on multilayer paper-based microfluidic chip. Journal of Food Process Engineering, 43(12). doi: 10.1111/jfpe.13544

103. Wei, Q. S., Zhong, B. C., Zhu, J. C., Hu, S. S., He, J., Hong, Q., & He, Q. (2020). Effect of pesticide residues on simulated beer brewing and its inhibition elimination by pesticide-degrading enzyme. Journal of Bioscience and Bioengineering, 130(5), 496–502. doi: 10.1016/j.jbiosc.2020.07.003

Лі Фанг, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Школа ресурсів й оточуючого середовища, Хенаньський інститут науки і технології, м. Хенань, КНР

Дубовик Володимир Іванович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Ліу Рункіанг, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Школа ресурсів й оточуючого середовища, Хенаньський інститут науки і технології, м. Хенань, КНР

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШВИДКОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ ПЕСТИЦИДІВ В ОВОЧАХ ТА ФРУКТАХ

Зі збільшенням попиту на виробництво сільськогосподарської продукції, збільшується використання пестицидів, які на сьогоднішній день забезпечують збереження врожаю фруктів та овочів. Пестициди використовують для контролю чисельності шкідливих організмів, забезпечуючи тим самим оптимальні умови для росту та розвитку сільськогосподарських культур. Сучасне виробництво сільськогосподарської продукції неможливе без застосування пестицидів. Але зловживання під час використання пестицидів завдає шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людей, особливо внаслідок

біоакумуляції пестицидних речовин в організмі людини. Тому питання створення високочутливих, селективних, простих, швидких та недорогих методів виявлення та аналізу залишків пестицидів є актуальним. Традиційні методи аналізу залишків пестицидів ґрунтуються на різних видах хроматографії (газова, рідинна), мас-спектрометрії тощо. Ці методи широко застосовують для виявлення залишків пестицидів. І хоча вони мають високу точність, поряд з цим є ряд недоліків: складна попередня підготовка зразка до аналізу, висока вартість обладнання, трудомісткий аналіз та потреба у спеціалізованих операторах приладів. Тому науковці у різних областях проводять дослідження технології швидкого виявлення залишків пестицидів. У цій роботі ми розглядаємо технології виявлення пестицидів у свіжих фруктах та овочах за останні роки. Розглядаються такі методи, як хроматографічний аналіз, інгібування ферментів, флуоресцентні датчики, спектрофотометричний та біосенсорний методи. Проаналізовано стан їх розвитку, переваги та недоліки кожного методу, а також перспективи розвитку технології швидкого виявлення залишків пестицидів у майбутньому.

Ключові слова: *залишки пестицидів; методи швидкого виявлення; технологія перехресного синтезу; фрукти та овочі.*

Дата надходження до редакції: 01.12.2020 р.

UDC 633.11:631.527:631.524.86:631.523:632.482.112

RESEARCHSTATUS AND PROSPECT OF GENES RELATED WITH RESISTANCE TO POWDERY MILDEW OF WHEAT

Tao Ye
PhD student
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0002-4675-1294
200984912@qq.com

Vlasenko Volodymyr
Doctor (Agricultural Sciences), Professor
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0002-5535-6747
vlasenkova@ukr.net

Osmachko Olena
PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0003-0591-2650
lenaosmachko1978@ukr.net

Bakumenko Olha
PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0003-1625-7401
lady.bakumenko88@gmail.com

Wheat (Triticum aestivum L.) is one of the major grain crops in the world. Wheat powdery mildew is a fungal disease caused by the infection of Blumeria graminis F. sp. tritici. It is one of the most severe wheat diseases globally, seriously affecting the yield and quality of wheat. At present, the main ways to control powdery mildew are the use of fungicides and the cultivation of disease-resistant varieties. The extensive spraying of fungicides causes pesticide residues and environmental pollution. At present, no matter wild type or artificially bred wheat powdery mildew resistant varieties are scarce, so it is urgent to cultivate resistant varieties quickly and efficiently. Traditional cross breeding has a long time and low efficiency. Still, it is a fast and effective way to get disease-resistant sorts by using modern molecular biological means to transfer disease-resistant genes into cultivated varieties. Although the cultivation of resistant varieties is the most economical and effective way to control powdery mildew in wheat, there are some limitations in the cultivation of resistant varieties by introducing resistance genes by conventional means in actual production. With the increase of disease each year, this situation will be more and more unable to meet the needs of wheat genetic improvement. It is urgent to explore a new way of breeding to improve the wheat to powdery mildew lasting broad-spectrum resistance. The disease-resistant breeding needs from cloning in plant and pathogen affinity interactions play a vital role in the study of disease genes and their mechanism of action. At present, in the wheat by manipulating disease genes make infected material gain lasting broad-spectrum resistance is less. In the case of disease genes and mutations after its disease-resistant mechanism are still not clear. So the breeding of resistant varieties need mining and utilization of resistance genes. The paper summarizes the harm and distribution of wheat powdery mildew, the genes resistance mechanism of wheat powdery mildew, and functional analysis, wheat powdery mildew resistance genes in the field of molecular biology research status, and VIGS, RNAi, such as for the prevention and control of wheat powdery mildew, explore new powdery mildew resistance genes and resistance regulation, breeding disease-resistant varieties of wheat provide the feasible scheme.

Key word: *wheat, powdery mildew of wheat, resistance genes of wheat powdery mildew, VIGS, RNAi.*
DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.7

Introduction. Wheat (*Triticum aestivum* L.), 2n = 6x = 42, AABBDD is *Gramineae*, *Triticeae*, Triticum, and is one of the earliest cultivated plants the world. It originated from the Middle East near the Mediterranean Sea and was introduced into China later. It is reported that wheat cultivation in China has a history of at least four or five thousand years (Cao, 2008). At present, wheat is also the second largest crop after rice, which is cultivated all over the world. Wheat production and output rank the first in the world, with 43 countries and more than one third of the population taking it as the staple food (Huang & Roder, 2004). Wheat has high nutritional value and can provide about one-fifth of the calories and protein of human needs (He Zhonghu et al., 2018). As the world population continues to increase, wheat will become more and more critical. In addition, wheat is the most important food for trade and international aid. According to UN COMTRADE, the world's wheat export in 2016 amounted to 148 million tons. China is the world's largest wheat production and consumption of the country, annual production accounts for about one-fifth of the global total, the world's largest output (Sun Zhilu, 2019). China's agricultural production level is constantly improving, but pests and diseases are still an essential factor to limit agricultural production. Powdery mildew is one of the wheat diseases with the most extensive range and a great influence on

yield. Wheat powdery mildew is by living nutrition obligate parasitic fungi of wheat powdery mildew caused a worldwide disease, can often result in 13 %–34 % of yield loss, on the pathogenesis of heading and filling stage, a severe loss will generate 50 % of output, in extreme infected cases can lead to dry leaves, and even plant death (Cao et al., 2011). In the past 40 years, wheat powdery mildew has spread rapidly from local areas in the southwest and southeast coastal regions to almost all wheat areas in China due to the improvement of wheat production conditions and the variation of pathogen virulence structure, causing considerable losses to China's grain production (Liu Wancai et al., 2016). The most economical and effective method to control wheat powdery mildew is to cultivate resistant varieties. The discovery of resistance genes and resistance control genes is significant for the breeding of new wheat resistant varieties.

The aim of this article is to conduct an in-depth analysis of scientific information to do about the resistance of bread wheat to powdery mildew, taking into account the use in China Gene PM46, and to determine the possibility of creating new genetic resources in breeding for immunity.

1. Research progress of wheat powdery mildew

1.1. Harm and distribution of powdery mildew in wheat. Wheat is susceptible to a variety of diseases throughout its life. These diseases are widely distributed and highly adaptable, which pose a significant threat to wheat yield (Zhao Mingyue et al., 2016). Illnesses caused by fungal pathogens alone reduce wheat yield by 15 to 20 % per year (Figueroa et al., 2018). Generating billions of dollars in damage to the global economy (Dean et al., 2012). After powdery mildew infection, wheat plants are prone to lodging. Their leaves dry and die quickly, which seriously affects the average growth and development of wheat (Dean et al., 2012; Morgounov et al., 2012). Powdery Mildew caused by Powdery wheat mildew can cause severe yield loss and grain quality deterioration in a short time (Morgounov et al., 2012). Wheat powdery mildew reduced winter wheat by 13 % and spring wheat by 20 % (Griffey et al., 1993; Conner et al., 2003; Lackermann et al., 2011).

According to statistics, wheat powdery mildew is distributed from 60 °N to 44 °N and can occur in many wheat-growing areas all year round. The crop yield loss in Russia, Brazil, and China is as high as 35 %, 62 % and 40 %, respectively. Since 2004, wheat powdery mildew has occurred over 6 million hectares every year in China. Studies have shown that it is a crucial disease mainly occurring on the leaves. In severe cases, the stalk, leaf sheath, and ear of wheat will also be infected, and even the leaves will dry up and the whole plant will die. The pathogen of wheat powdery mildew is the obligate parasite of living nutrition, causing only parasitism on living wheat (Singh et al., 2008). Wheat powdery mildew can occur in all wheat growth stages and continuously threaten wheat growth (Kang et al., 2019). When humidity is above 70 %, air temperature is 15–20 °C, nitrogen fertilizer is excessive, and the wheat planting density is high, wheat plants are green and weak, and white powder disease is likely to occur. In a dry land, with insufficient water, fertilizer, or lodging in the wheat field, the disease resistance of wheat will be weakened, powdery mildew often will be more serious (Panstruga & Lefert, 2003).

But belongs to ascomycetes subphylum fungi, conidia are elliptic, the obturator shell of pathogenic bacteria is black spherical, containing 9–30 ascus. Ascospore is round to elliptic. The ascospore shell is usually formed in the late wheat growth stage and can release ascospore after maturity (Fig. 1). Powdery mildew is widely distributed, with rapid toxicity variation and complex and changeable physiological species of pathogenic bacteria (Luo et al., 2002; Cui, 2008).

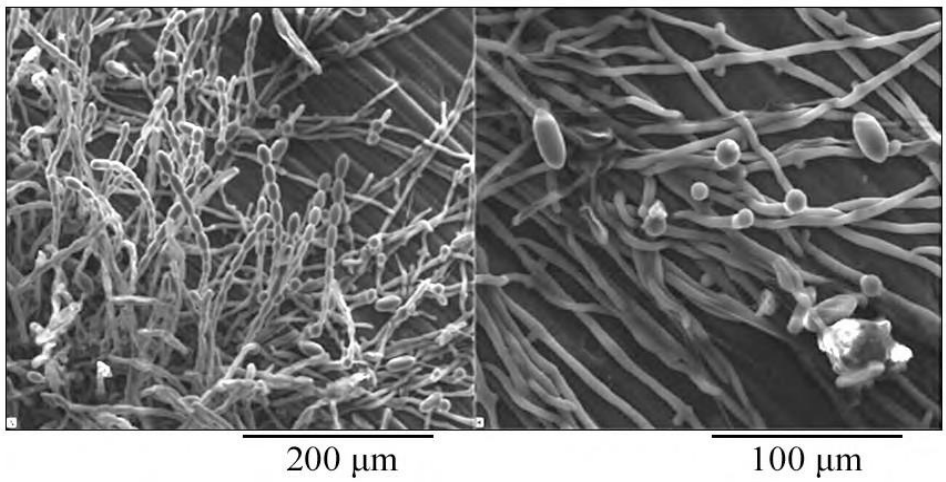

Fig. 1. The scanning electron micrograph of *B. graminis* (Luo et al., 2002).

1.2. Growth cycle of wheat Powdery mildew. Wheat powdery mildew infected wheat in a suitable environment and began to reproduce. The invasion process is as follows: first, A single conidium is blown onto the leaf, and about 1 hour later, the primary bud tube appears at one end of the obsidian (Fig. 2). The primary bud helps identify the host surface cells, attach them tightly to the leaf surface, and extract water from the host surface. Over the next few hours, a second bud tube grows from the other end of the spore, elongates toward the leaf surface, and forms an enlarged structure at its back called an aptamina, which attaches to the epidermis. After about 12 h, powdery mildew penetrates the cell wall of the host cell by invading the nail. Through the interaction between powdery mildew and host cells, about 50–70 % of the spores can successfully penetrate the cell wall, depending on the environmental conditions, the host cells, and the spores themselves (with the most significant impact).

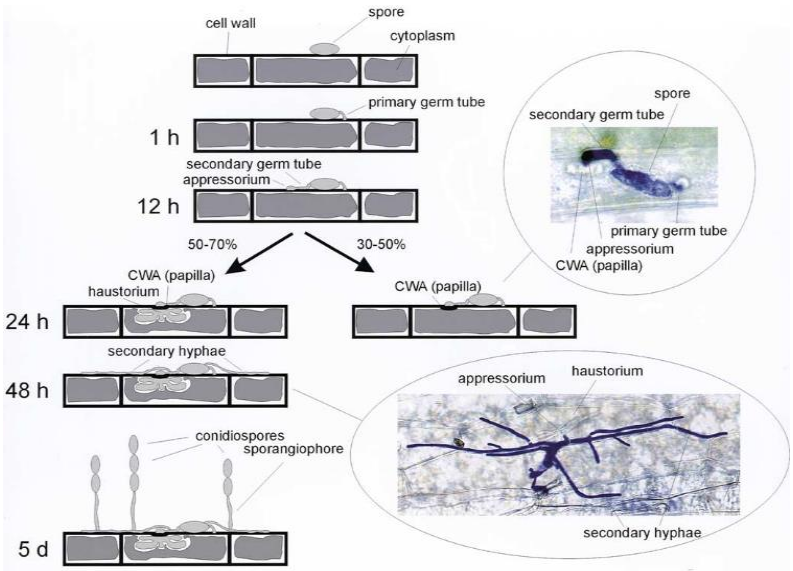

Fig. 2. Schematic diagram of powdery mildew bacteria development and scheme of the asexual life cycle of the powdery mildew fungus (Panstruga & Schulze, 2003).

The spores that successfully penetrate the cell wall, powdery mildew bacteria will form haustorium after 24 hours, which is a particular infection structure with finger-like protrusions. Houston can invade the plasma membrane of the host, also known as the organ in which the pathogen takes nutrients. After the successful establishment of the haustorium, airborne hyphae began to grow in the epidermal cells of the leaves and gradually infected other cells nearby, then formed more haustorium, and finally formed the colony of white hyphae net. After about 4–5 days of growth, hyphae will form short upright sporophytes with 5–10 conidia chains, and yet, a large number of mature conidia will be released to start the next infection cycle. This clonal propagation is the primary propagation mode of powdery mildew when the conditions are suitable (Cao et al., 2011). However, in winter, powdery mildew had sexual reproduction and existed in the closed capsule form on the leaves of the aged host (Yanrong & Geng, 2020). When released from the ascus, the ascospore behaves like conidia and begins a new round of infection (Qu Yunfeng, 2019).

2. Advances in plant disease resistance

2.1. Molecular mechanism of plant disease resistance. Plants in the natural environment in the growth and development of the whole process will be subject to various pathogenic microorganisms invasion, and pathogenic microorganisms mainly include pathogenic fungi, bacteria and viruses, etc. For a long time in the co-evolution of plants and pathogens, various defense systems have gradually evolved to inhibit the destruction of pathogens. When pathogenic bacteria invade the plant, a series of signals can be generated immediately in the plant body and transmitted to activate the plant's defense system to resist the invasion of pathogenic bacteria. Plant defense system mainly includes two immune defense line; the first line of defense is the body's immune response (Pathogen–Associated Molecular Patterns, PAMPs, PAMP–Triggered Immunity, PTI), the process is Triggered by the Pathogen Associated Molecular Patterns, when Pathogen invasion to the surface of a plant, grows on the plant cell membrane on the surface of the pattern recognition receptors can identify the Pathogen Associated Molecular Patterns PAMP, through the signal transduction, triggering an immune system response. The second line of defense is effector-triggered (ETI). Effect factors trigger this process. When pathogenic bacteria invade the surface of plants, plant disease-resistant genes secrete Effector factors that can recognize pathogenic bacteria and trigger immune system response mediated by Effector factors (Li et al., 2011).

The path of plant resistance to pathogen invasion is a very complex network. Signaling molecules play an essential role in this network. Still, the same signaling molecule can be produced in different response pathways, and the same pathogen can also stimulate other signaling molecules (Zhang & Zeng, 2019; Yang & Gao, 2016). When a pathogen enters a plant, the inside body of the plant can produce a series of signal molecules immediately, carry on transmission, excite plant oneself defense system then, make plant has the ability to resist pathogen thereby. Many signaling molecules play a role in stimulating and regulating plants' defense systems, including Ca^{2+}, salicylic acid (SA), jasmonic acid (JA), ethylene (ET), and reactive oxygen species (ROS). Ca^{2+} can not only maintain the osmotic pressure of plants but also participate in regulating the signal transduction pathway of pathogenic bacteria in plants. It is an essential second messenger molecule of plant cells. Pathogenic bacteria induce Ca^{2+} crosses the cytoplasmic membrane, resulting in intracellular Ca^{2+} As the concentration increases, the osmotic pressure increases, and the corresponding protein kinases are activated (Fan & Jiang, 2005). Salicylic acid can activate the production of some related proteases, thus making plants resistant to disease. Experiments have shown that salicylic acid content will accumulate in large quantities after plants are invaded by pathogenic bacteria (Ding Lina & Yang Guoxing, 2016). Also, salicylic acid in the process of plant resistance to pathogen invasion and H_2O_2 is closely related, and H_2O_2 can determine the host disease resistance response in plants. Simultaneously, salicylic acid may inhibit catalase activity (Grant & Lamb, 2006). Jasmonic acid and ethylene are ubiquitous in plants. They are not only the growth regulators in plants but also the signal molecules in plants in response to the invasion of pathogens. Studies have shown that salicylic acid, jasmonic acid, and ethylene have a close cross-

connection in response to pathogenic bacteria's invasion (Dong, 1998).

2.2. Research progress of genes related to plant susceptibility. Plants for pathogen resistance and disease, now most of the scholars in the fields of disease research, few people engaged in disease research, the study of disease genes is very few, but the plant disease resistance and disease of plants and pathogen interaction are equally important (Penninckx et al., 1996; Zhang Jianxia et al., 2008).

The concept of susceptibility factors was first proposed by British scholars Schulze and Vogel in 2000 (Luo Sulan & Zheng Xueqin, 2000). Subsequently, in 2002, Eckardt made a further discussion on the concept of susceptible genes, regarding them as essential factors for the successful invasion, growth, development, and reproduction of pathogenic bacteria (Schulze Lefert, & Vogel, 2000). Hy trialability gene (S gene), which can facilitate pathogen infection and facilitate affinity in plants, is currently defined as a susceptibility gene (Eckardt, 2002).

In the interaction between host and pathogen, infection genes assist pathogen invasion through the following three aspects to increase the degree of plant infection. First: When pathogens invade the host, susceptibility genes can help the host identify the pathogens and their affinity. For example, the host specialization toxin (HST) is capable of producing specialization in plants due to the interaction between the susceptibility gene and the virulent gene product of the pathogen (Liu Chao et al., 2018). Secondly, susceptibility genes can encode negative regulators with immune signals. For example, the CPR1/CPR30 gene in Arabidopsis can encode and translate F-box protein and has the ability to regulate the accumulation of SNC1 protein negatively. When the CPR1/CPR30 gene is mutated, the plant's disease resistance ability is significantly improved (Shang Ming Qing & Liu Aixin, 1998). Third: in pathogen and host mutual affinity, after invading the host, the disease gene can assist the growth and reproduction of pathogenic bacteria, for the metabolism and structure of pathogenic bacteria to provide the necessary nutrients. For example, in arabidopsis thaliana, pepper, tomato, and lettuce and other higher plants widely exist A kind of disease genes, the host of the translation initiation eIF4G and poly real viruses effect VPg, polymerase NIb and PABP (poly real A binding protein) translation initiation complex formation, combining the RNA virus m 5 'end cap structure, help complete the translation and viral RNA synthesis of viral proteins, when they had mutations, can improve the host resistance to the virus (Guo et al., 2012). Many experimental results showed that when the susceptible genes were mutated or lost, the resistance of plants to pathogen invasion was greatly enhanced. Finally, the invasion ability of pathogens was weakened.

The first gene was discovered by Vogel, an American researcher, John, an essential gene in *Arabidopsis thaliana* infection. Vogel named the gene PMR6. Deleting the PMR6 gene resulted in a mutation that showed high resistance to powdery mildew (Robaglia & Caranta, 2006). Subsequently, the disease susceptibility genes were cloned on many crops. After the $OsSSI_2$ gene was silenced in rice, the plant resistance to blast and leaf Bsr was significantly improved. After the mutation of the BSR-D1 gene, a large amount of hydrogen peroxide would accumulate in the cells, thus improving the disease resistance of rice (Vogel et al., 2002). After the interference of the GHWRKY106-1 gene with RNA interference technology in cotton, the expression of PRs, a protein related to disease course, would be significantly enhanced in cotton, thus improving the disease resistance of cotton (Jiang & Shimono, 2009). When the HVBI-1 gene was overexpressed in barley, the disease resistance of barley would be weakened, while when the HVBI-1 gene was silenced, the disease resistance of barley would be enhanced (Li & Zhu, 2017). When the TaS3 and Blufensin1 genes were silted, wheat resistance to powdery mildew and stripe rust was significantly enhanced (Li & Zhao, 2015). At present, the cloned plant susceptibility genes mainly include transcription factors, enzymes, transmembrane proteins, and other types (Eichmann & Bischof, 2010).

2.3. Research progress of powdery mildew resistance genes in wheat. In 1930, an Australian scholar reported for the first time that there was an anti-powdery mildew gene in wheat Thew, and it was dominant, thus revealing a wave of genetic research on wheat powdery mildew. The first powdery mildew gene was named Pm1 in 1950 and was located on the 7AL chromosome of wheat. So far, more than 90 powdery mildew resistance genes and their alleles, called PM1-65, have been identified (Lei Xiuyu, 2013). About half of these powdery mildew resistance genes are derived from normal wheat. Also, about one-third of the related species derived from wheat include one-grain wheat, emem-grain wheat, rough-goatgrass, and Timofeewili wheat. The remainder is derived from haretodes and haretodes rye (Chantret & Pavoine, 1999). Now, most of the resistance genes have lost resistance to powdery mildew or are very weak (Song et al., 2014; Zou et al., 2017). Only a small number of genes or alleles remain resistant to powdery mildew (Liu, 2016). In the main wheat-growing areas, Pm8 resistance was lost (Wang, 2017; Sun, 2015). The resistance of Pm2 and Pm4b was also gradually lost in the Yellow and Huai wheat region (Chi Wenjuan et al., 2007). At present, only Pm1c, Pm12, Pm21, Pm24, and Pm35 genes still have a strong resistance to powdery mildew, among which Pm21 is a rare broad-spectrum resistance gene (Zhang et al., 2004). Moreover, some disease resistance genes have been applied in wheat breeding, such as Nannong 9918 carrying powdery mildew resistance gene Pm21, Liangxing99 carrying powdery mildew resistance gene Pm52, Bannong AK58 moving powdery mildew resistance gene Pm8, etc. (Jingwei Zou et al., 2016), and achieve more significant economic benefits. Researchers study of wheat powdery mildew in the past was mainly focused on positioning and cloning of disease resistance gene mining. The current research results show that the resistance genes and powdery mildew in the evolution process, the resistance of the resistance genes out quickly, as the disease has progressed, this situation will be more and more can't meet the needs of wheat genetic improvement, is an urgent need to explore new ways of wheat powdery mildew resistance breeding to improve wheat lasting broad-spectrum resistance to powdery mildew.

3. Research progress of Pm46 gene

3.1. Gene discovery and research status. Wheat powdery mildew resistance inheritance is diverse, which is controlled by both main effect quality genes and quantitative traits of micro-effect polygenes. Since Waterhouse, an Australian scholar, first reported in 1930 that the wheat variety Thew carried a dominant powdery mildew resistance gene, scientists have identified several genes in wheat and related genera resistant to powdery mildew. These resistance genes are mainly dominant, and only a few are recessive (Li Jiao, 2019). International designation for the powdery mildew resistance gene in wheat is Pm. To solve the

damage of wheat powdery mildew, breeders transferred the powdery mildew resistance genes into wheat to cultivate the disease-resistant varieties. For example, a new variety of wheat resistant to powdery mildew (Jauhar & Chibbar, 1999) can be obtained by transferring a rye chromosome with the Pm8 gene into normal wheat (Huerta Espino & Chen, 2015; Jauhar & Chibbar, 1999). Some anti-powdery mildew genes also have a polygenic effect. For example, the resistance gene Lr34 was obtained using the mapping cloning method, which encodes a transferase subfamily protein at an ATP binding site and can also be used for rust and powdery mildew (Lillemo et al., 2008). Adult resistant genes Pm39 and Pm46 have also been proved to be "one-cause-multipotent" and resistant to wheat rust and powdery mildew (Lan et al., 2014).

In 1979, Canadian scientists Dyck and Samborski found a leaf rust resistance gene at the adult stage from Pakistani wheat. Later, they introduced the resistance gene into wheat variety Thatcher by successive backcross and obtained a resistant strain RL6077 (Thatcher*6/PI 250413) (Dyck & Samborski, 1979). Later, it was found that RL6077 was also resistant to stripe rust and stem rust (Dyck et al., 1994; Singh, 1992). In 2009, Lagudah confirmed that there was no Lr34 gene in RL6077 using molecular markers and speculated that RL6077 contained a new multi-disease resistance gene (Lagudah et al., 2009). Hiebert by observing the chromosome pairing behavior, refuted the previous views on the translocation of the Lr34 gene on 7DS to other stains (Hiebert et al., 2010). Further, genome-wide SSR molecular markers were used to analyze the osmotic chromosome fragments from donor wheat PI 250413 in RL6077, and it was found that 5 polymorphic SSR molecular markers (Xcfd71, Xbarc98, Xcfd23, Xwmc457, and Xwmc48) were associated with the leaf rust resistance genes in Thatcher/RL6077 and RL6058/RL6077 populations. Then linkage analysis using a third isolated population from RL6077 showed that the 4DL SSR marker Xcfd71 was closely linked to the resistance gene. The new gene in RL6077 was officially named Lr67 because no rust-resistant genes have been reported on the 4DL. Herera-Foessel located stripe rust resistance genes Yr46 and Lr67 in RL6077 to the same region of the 4DL chromosome. Subsequently, Herera-Foessel also found that the Lr67/Yr46 site could provide stem rust and powdery mildew resistance and presented the symptoms of tip necrosis, so it was named as the polypotent site: Lr67/Yr46/Sr55/Pm46/Ltn3. (Herera-Foessel et al., 2011; Herera-Foessel et al., 2014) The full length of the predicted Pm46 resistant protein gene consists of 1545 bases encoding 514 amino acids, contains 12 predicted transmembrane helices and is most similar to the STP13 family of H+/monosaccharide co-transporters, which promotes hexose cross-membrane transport. Their corresponding pleiotropic or tight chain gene, named Sr55, Pm46, and Ltn3, can be used to provide a broad spectrum of durable wheat resistance (Zhang, 2017). In terms of geographical distribution, the PM46 gene was found mainly in local varieties in the Punjab of India and was rarely carried in other regions. There are few reports of the PM46 gene in Wheat varieties in China. Wang Zhiwei used molecular marker CSTM4_67G to detect 42 wheat varieties and higher generations grown in Yunnan province and found that Yunmai 75, Yun15D4-15, Yimai 1, Yimai 3, Fengmai 32, and Fengmai 35 contained dual-resistant adult rust-resistant gene Lr67/Yr46/Sr55, accounting for 14.29 % of the tested materials (Wang Zhiwei et al., 2020). Both barley and wild barley themselves carry the Lr67 lineal homologous gene (HvSTP13), but neither has the G144R mutation-specific for the disease-resistant allele. Milne introduced G144R variation into HvSTP13 and obtained stable transgenic barley lines. Disease identification showed that transgenic barley showed leaf rust resistance at the seedling stage and plant stage, suggesting that the Lr67 gene mediates conservative disease resistance in barley and wheat (Milne et al. 2019).

3.2. Disease resistance mechanism of PM46 gene. The research of John, Moore with Sybil, Herera-Foessel et ales showed that Lr67res protein might reduce hexose transport by forming an inactive heterodimer protein complex that produces a dominant-negative interference mechanism. This is consistent with dominant or semi-dominant resistance phenotypes given by Pm46 genes and with phenotypic susceptibility due to deletion of this locus. Dimer-mediated dominant negative interference with transporter activity has been found in other plant sugar transport families (Dyck & Samborski, 1979). The partial resistance of Lr67res protein to different vivisection pathogens in wheat and barley may be due to the host cells' resistance to extracellular hexose detection, thus increasing the ratio of hexose/sucrose in extracellular hexose. This, in turn, induces a sugar-mediated signal response, creating an environment that is more hostile to the growth of the pathogen. The inhibition of hexose detection by Lr67res is similar to the invertase activity response induced by ubiquitous plant pathogens invading cell walls, which will change the extracellular hexose/sucrose ratio and cause hexose-mediated defense response (Jiang & Shimono, 2009).

Sugars contribute to various physiological processes and act as substrates and signaling molecules in plant defense responses (Moore & Herrera-Foessel, 2015). Activation of sucrose transport by some bacterial virulence protein-coding genes promotes host susceptibility, whereas eliminating these genes induces host resistance (Liesche et al., 2011). It remains determined whether the Pm46 gene is also detrimental to host resistance to inanimate nutritive pathogens in field-grown crops. Nevertheless, as a valuable tool for developing broad-spectrum resistance in crops, the Pm46 gene provides a favorable breeding strategy for combining different forms of broad-spectrum resistance.

4. Advances in GDSL gene research

GDSL lipase (EC 3.1.1.3) is a hydrolyzer, which can hydrolysate a variety of substrates such as thiolates, aryl esters, phospholipids, and amino acids. GDSL lipase has a unique structural characteristic with GDSL conserved amino acid sequence at the N' end of the protein, different from other lipase types with GxSxG conserved sequence. Upton and Buckley first identified the conserved domain and named it (PFAM PF00657). Subsequent studies have found that this type of lipase is widely present in prokaryotes and eukaryotes. With the development of more plant genome sequencing and bioinformatics, GDSL lipase is found to be a large gene family. At present, GDSL lipase is widely known to be involved in the average growth and development of plants, organ morphogenesis, secondary metabolism, stress, and other physiological activities, and plays an important role in the lipid metabolism of oil crop seeds (Proels & Huckelhoven, 2014). However, systematic understanding of the structure, classification, evolution, expression, and function of the family's genes is lacking.

4.1. Gene structure and species of GDSL lipase family. Plant GDSL lipase gene family is a large, Volokita for different land plants such as amino acids coded 604 GDSL lipase gene

sequence comparison and analysis, found that plant GDSL family members in the phylogenetic tree form three big family (subfamily A, B, and C), each branch contain A GDSL genes from different plants (Chen et al., 2010). Most plants GDSL family genes by four-five exons and introns (Akoh et al., 2004), Volokita for hundreds of different plants, such as GDSL lipase gene of the structure are analyzed, the results found that there are conservative, 6 introns in the six introns in three distribution different: in the family of introns 1 and 6 in the family of three are conservative, did not change, exists in most several GDSL lipase genes; Introns 5 are conserved in subfamilies A and B, while introns 2, 3, and 4 are specific in subfamilies A, B, and C, respectively. Members of the GDSL family are distributed across the chromosomes of plants, but not evenly. Some GDSL lipase genes are distributed in clusters on chromosomes. Take the arabidopsis genome as an example. Two or more GDSL lipase genes are clustered or arranged in tandem on a total of 12 chromosomal loci. Some other parts of the genes on the same chromosome, or on different chromosomes duplicate, lead to more copy phenomenon (Chepyshko et al., 2013). In addition, the gene degeneration mechanism will be the main force to drive the evolution of the GDSL family.

4.2. GDSL is involved in growth development and stress response. Pathogens can induce the expression of GDSL lipase genes in some plants, hormones such as salicylic acid, ethylene, jasmonic acid, and abiotic stress factors, indicating that they may be involved in plant resistance and stress response (Ling et al., 2006). It reported the news of salicylic acid inducing arabidopsis GDSL lipases GLIP1 disease-resistant activity, GLIP1 mutant plants of saprophytic fungi spore canola raw chain grid (*Alternaria brassicicola*) is more sensitive than the wild type, the recombinant expression GLIP1 protein with lipase activity, integrity. It can directly damage the fungal spores and inhibit its germination. Besides, the lipase can also induce the plant to produce resistance to the fungus system (Lee et al., 2009). Further studies found that excessive expression of GLIP1 in plants can enhance resistance to various pathogenic fungi and bacteria, and GLIP1 induces phylogenetic resistance of plants through ethene-mediated signaling pathways (Oh et al., 2005). Similarly, the expression of GLIP2 in *Arabidopsis thaliana* can be caused by salicylic acid, jasmonic acid, and ethylene, and has an inhibitory effect on fungal spore germination. However, GLIP2 may mediate plant disease resistance by down-regulating auxin signaling pathways (Kwon et al., 2009). It conducted a similar study on the CaGLIP1 homolog of pepper and found that its expression was induced by salicylic acid, jasmonic acid, ethylene, bacterial infection, high salt, drought, injury and other stress factors (Hong et al., 2008). Unexpectedly, capsicum plants with down-regulated CaGLIP1 expression have increased background resistance to *Xanthomonas campestris* Pv. It can be seen that, as a large plant gene family, lipases have diverse functions. Different lipases in the same species can differentiate into different functions, and the functions of homologous lipases in other species may also be different.

5. VIGS and RNAi technology

5.1. Technical principle of VIGS. VIGS is a technique that USES recombinant virus specificity reduces endogenous gene activity, based on post-transcriptional gene silencing (PTGS) (Wang Ya-ru & Yao Yun-cong., 2015). Usually VIGS viral vector can be combined with the host plants of the target gene, using PTGS as a natural antiviral defense line to fight the virus proliferation, genetic transformation mediated by agrobacterium infect plants, inserted into the part of the viral genome, its RNA degradation mechanism and the way of RNA interference are very similar, both in the virus genome to add multiple cloning sites, to their target genes into the host plant. VIGS vector inoculation in plants is usually achieved through agrobacterium tumefaciens infection by integrating t-DNA containing the viral genome into the host genome of at least one cell for standard transcription translation. This leads to the production of double-stranded RNA (dsRNA) from the viral ssRNA template, and Dicer proteins cut this viral dsRNA into short interfering RNA (siRNAs) duplicates, approximately 21–24 nucleotides in length. These siRNAs, in turn, are incorporated as single-stranded RNA molecules into RISC (RNA-induced silencing complex), which screens and destroys RNA complementary to siRNA (Yao et al., 2009; Zhang et al.,2014; Kumagai et al.,1995). In the particular case of VIGS, the viral RNA and target gene mRNA were cleaved. The virus-derived silencing signals are further amplified and spread systematically throughout the plant (Fig.3). It is assumed that siRNAs of about 21nt length mediate short-range transport, while RNA-dependent RNA polymerase 6 (RDR6) requires long-range transport, possibly amplifying the silencing signal. The systematic propagation of silencing signals occurs regardless of the successful movement of virus particles in the plant. When VIGS was applied to susceptible plants, the target gene mRNA of host plants was degraded in most plants (Baulcombe, 1999).

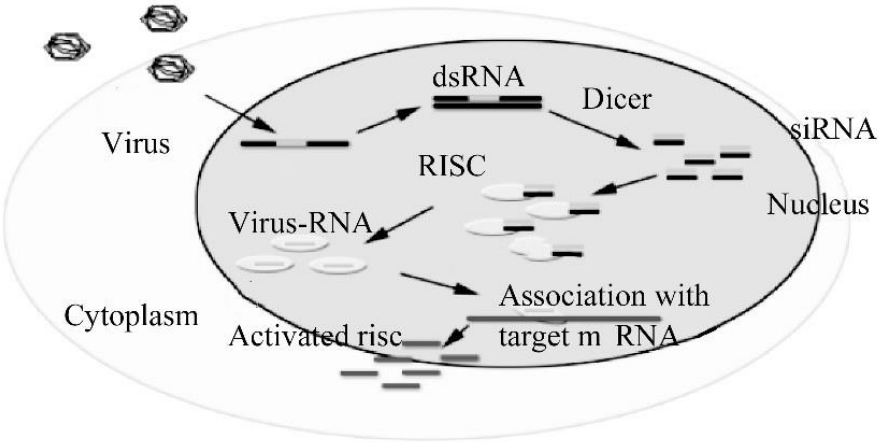

Fig. **3** The Molecular Mechanism of VIGS Technology (Baulcombe, 1999).

5.2. Application of VIGS technology. Large-scale sequencing of functional genomics in non-model plants provides primary data for studying the structural evolution of genomes or the history of repeated events in plant lineages. These new data have also contributed significantly to gene discovery and pave the way for further understanding of gene function evolution, plant-pathogen interactions, biosynthetic and developmental pathways. However, genetic tools are mainly limited to model plants such as *Arabidopsis thaliana*, rice (*Oryza sativum*), or tobacco (*Nicotiana tabacum*), and therefore methods for analyzing gene function in other non-model plants are minimal (Ratcliff et al., 2001; Baumlein et al.,1991; Turnage et al., 2002). It is particularly challenging for most plants to establish a repeatable stable genetic transformation program. As a result, VIGS, which can silence specific genes, is a powerful technique that has been successfully used in a variety of species. As the tools of functional genomics are increasingly used in plant species such as *Zea mays*, *Hordeum vulgare*, and wheat, it is tough to analyze gene function by conventional methods. VIGS technology enables the rapid study of gene function. Since almost all VIGS vectors originally used in dicotyledonous plants were derived from viruses that originally host Solanaceae, some VIGS vectors were successfully extended to other Solanaceae plants (especially tomatoes, bell peppers, and petunias) (Holzberg et al., 2002). Tobacco Brittle Virus (TRV) has a high susceptibility to a wide range of hosts and mild post-infection symptoms and is preferred as a VIGS resource for dicotyledons. More recently, VIGS are effective against rosaceae plants such as arabidopsis, peas, and cassava (Lacomme et al., 2003). TRV's experimental host range has now been extended to several species of buttercup. Recently, a new VIGS vector system was developed from Apple Latent Spherical Virus (ALSV), which can also be used in a variety of higher dicotyledonous plants, including night plants, arabidopsis, and legumes. Monocotyledons such as barley, rice, wheat, and maize are also susceptible to TRV (He Zhengbo et al., 2019). VIGS has become an essential reverse genetic tool for revealing the gene function of species that have difficulty achieving stable genetic transformation or achieving transformation.

5.3. Principles of RNAi technology. As a gene knockout technique, RNA interference (RNAi) has been widely used to analyze the gene functions of various organisms. It is a post-transcriptional gene silencing phenomenon induced by double-stranded RNA (Fire et al., 1998; Sunkar et al., 2012). Because of its high specificity and effectiveness, it has become a useful tool for gene function analysis. Detailed molecular mechanism of RNAi as shown: first of all, long dsRNA by RNase Ⅲ Dicer identify family members, and was cut into 21 nucleotides in length. When each siRNA is disbanded, one of the two strands is preferentially incorporated into the RNA-induced silencing complex (RISC). The antisense strand of siRNA was hybridized with the mRNA as a guide, and RISC cleaved the mRNA near the center (Fig. 4) (Mao et al., 2007).

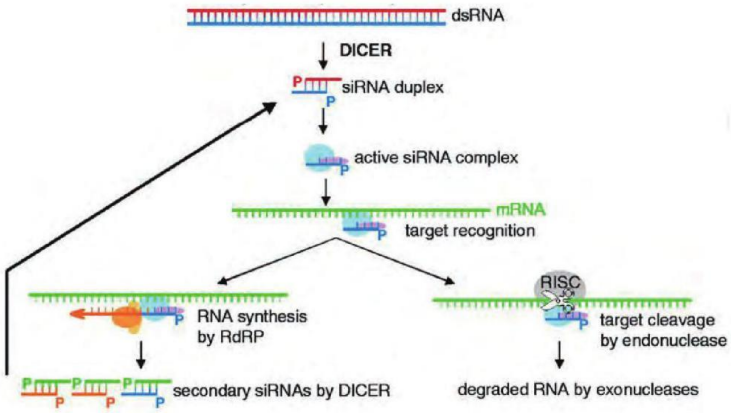

Fig. 4. The Mechanism of RNAi (Mao et al., 2007).

5.4. Application of RNAi technology. As a highly significant gene suppression technology, RNAi technology has been widely used in crop genetic improvements, such as disease resistance, quality improvement, and abiotic stress tolerance. Fire demonstrated for the first time that RNAi could be used for pest control by injecting C. elegans with bacteria that express dsRNA targeting (Wang Weiwei et al., 2017). Mao designed specific dsRNA according to CYP6AE14, the cytopigment gene of cotton bollworm, and introduced it into cotton, and obtained transgenic plants with apparent insect resistance to cotton bollworm (Zhong et al., 2016), which further confirmed the feasibility of using RNAi technology to cultivate insect-resistant crops. At the same time, Bt insecticidal protein Cry3Bb1 and DvSnf7 insecticidal resistant corn have been commercially cultivated (Mao & Zeng, 2014). Yang Xiangdong with colleagues constructed a P3 gene RNAi vector of Soybean Mosaic Virus SC-3 strains and introduced it into cultivated soybean varieties, and found that transgenic soybean plants had good resistance to multiple Soybean Mosaic Virus (SMV) strains such as SC-3, SC7, SC15, SC18 and SMV-R and Watermelon Mosaic virus under field conditions, and the resistance traits could be stably inherited (Yang et al., 2018). Zhong Xiaofang with colleagues introduced the RNA interference fragment of HG-RPS-23 gene into soybeans and obtained a new transgenic soybean material that could significantly improve the resistance to the physiological subspecies of soybean cystodes 3 (Zhong, 2004). By blocking the expression of ACC oxidase, ethylene formation in tomatoes could be significantly reduced and shelf life could be extended, while synthesis of fruit softening substances such as -mannosidase and -acetylhexanase could be inhibited, which could increase the shelf life of tomatoes (Oropeza et al., 2020). At present, RNAi transgenic crops are mainly completed by agrobacterium-mediated method, which has the ad-

vantages of simple operation and low cost. Agrobacterium contains Ti plasmids and Ri plasmids, and a section of t-DNA (transferring-DNA) is attached to the plasmids. After agrobacterium enters the cells, it can integrate this section of t-DNA into the genome of the infected plant and inherit it stably (Li Junxiang & GU Qisheng, 2020; Yang Jing, 2019). At present, RNAi technology in plant research is widely used in many fields, such as disease resistance, insect resistance, quality improvement and breeding, abiotic stress such as drought, salinity, cold tolerance in the areas of study were made certain progress, in the study of crops at various stages of crop growth and development, biological and abiotic stress response has extensive application prospect.

Conclusion. Wheat is one of the grain crops with the largest planting area, the largest yield, and the highest nutritional value in the world. During the growth and development of wheat, it is always in a struggle with the stress of adversity. Both biological anxiety and abiotic stress have a significant influence on the growth of wheat. The lesser degree of stress is manifested as slow development and reduced disease resistance. The more severe degree of stress can result in a significant reduction or even no harvest of wheat. The cultivation of resistant varieties is the most economical and effective way to control powdery mildew in wheat. Still, there are some limitations in the cultivation of resistant varieties by introducing resistance genes by conventional means in actual production. With the increase of disease each year, this situation will be more and more unable to meet the needs of wheat genetic improvement, it is urgent to explore a new way of wheat breeding resistance to powdery mildew to improve the wheat to powdery mildew lasting broad-spectrum resistance.

Multiple benefits can be gained through future critical research efforts, including the following:

1. The use of gene Pm46 in China is less, and its application in breeding is worth expecting, so the use of this gene in wheat breeding in China should be strengthened.

2. In-depth analysis of the mechanism of action of Pm46 can provide a theoretical basis for us to obtain broad-spectrum resistance in wheat by manipulating susceptibility genes or harmful resistance regulation genes.

3. Whether Pm46 is also detrimental to host resistance to non-vivisection pathogens in field-grown crops remains to be determined.

4. The effective utilization of the existing multi-effect resistance genes, identification and cloning of new genes will lay a solid foundation for the breeding of concurrent resistant and durable resistant wheat varieties in China.

If these researches can achieve breakthrough results, it will be another breakthrough direction for wheat disease resistance breeding to obtain new genetic resources.

References:

1. Cao, Y. P., (2008). Origin, evolution of wheat and Wheat Genetic Resources in China. Wheat Research, (03), 3–12.

2. Huang, X. Q., & Roder, M. S. (2004). Molecular mapping of powdery mildew resistance genes in wheat: Review. Euphytica, 137(2), 203–223.

3. He Zhonghu, Zhuang Qiaosheng, & Cheng Shunhe (2018). Wheat Industry Development and Scientific and Technological Progress in China. Acta Agronomica Sinica, 83(01), 105–112.

4. Sun Zhilu (2019). Empirical Analysis of international Wheat Trade Market Forces in the Context of trade opening. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences), 4, 1–14.

5. Cao, S. Q., Luo, H. S., & Jin, S. L. (2011). Effect of wheat powdery mildew in Tianshui, Gansu province on infection cycle during summer and sexual period. Plant Protection, (01), 121–125.

6. Liu, Wancai, Liu Zhendong, & Huang Chong (2016). Statistics and analysis of major crop pests and diseases in recent 10 years. Plant Protection, 42, 1–9.

7. Zhao Mingyue, Ouyang Fang, & Zhang Yongsheng (2016). Analysis of occurrence and Damage characteristics of Wheat diseases and Insect Pests in China from 2000 to 2010. Biohazard Science, (01), 4–9.

8. Figueroa, M., Hammond Kosack, & Kim, E. (2018). A Review of Wheat Diseases - A Field perspective. Molecular Plant Pathology, 19(6), 1523–1536.

9. Dean, R., Kan, J. A., & Pretorius, Z. A. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology, 13(7), 414–430.

10. Morgounov, A., Tufan, H. A., & Sharma, R. (2012). Global Incidence of Wheat Rusts and Powdery Mildew during 1969–2010 and Resistance of winter Wheat Variety Bezostaya 1. European Journal of Plant Pathology, 132(3), 323–340.

11. Griffey, C. A., Das, M. K., & Stromberg, E. L. (1993). Effectiveness of adult-plant resistance in reducing grain yield loss to powdery mildew in winter wheat. Plant Disease, 77(6), 618.

12. Conner, R. L., Kuzyk, A. D., & Su, H. (2003). Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. Canadian Journal of Plant Science, 83(4), 725–728.

13. Lackermann, K. V., Conley, S. P., & Gaska, J. M. (2011). Effect of location, cultivar, and diseases on grain yield of soft red winter wheat in Wisconsin. Plant Disease, 95(11), 1401–1406.

14. Singh, R. P., Hodson, D. P., & Huertaespino, J. (2008). Will stem rust destroy the world's Wheat crop. Advances in Agronomy, 98(5), 271–309.

15. Kang, Y. C., Barry, K., & Cao, F. (2019). Genome wide association mapping for adult resistance to powdery mildew in common wheat. Molecular Biology Reports, 53(3), 80–96.

16. Panstruga, R., & Schulze Lefert, P. (2003). Corruption of host seven-transmembrane proteins by pathogenic microbes: a common theme in animals and plants. Microbes and Infection, 5(5), 429–437.

17. Luo, M., Kong, X. Y., Hornaxin. (2002). Expression sequence label analysis of wheat resistance to powdery mildew infection at its initial stage. Acta Genetica Sinica, 6, 520–530.

18. Cui, X. H., & Zhao, Y. F., (2008). Progress in wheat resistance to powdery mildew and its application in breeding. Inner

Mongolia Agricultural Science and Technology, 2, 97–99.

19. Cao, A., Xing, L., Wang, X., Yang, X., Wang, W., Sun, Y., Qian, C., Ni, J., Chen, Y., Liu, D., Wang, X, & Chen P. (2011). Serine/threonine kinase gene Stpk-V, a key member of powdery mildew resistance gene Pm21, confers powdery mildew resistance in wheat. Proc Natl Acad Sci USA, 108, 7727–7732.

20. Yanrong, Geng Miaomiao, & Li Xiaojing. (2020). Identification of resistance to Powdery mildew and molecular marker detection of resistance genes in wheat varieties and germplasm resources in Hebei Province. Journal of Plant Genetic Resources, (1), 25–31.

21. Qu Yunfeng. (2019). Molecular Marker analysis of powdery mildew Resistance genes in Wheat DH51302 and Shimai 26. Harbin: Harbin Normal University.

22. Li, H. J., Wang, X. M., & Song, F. J. (2011). Resistance response of Wheat varieties to powdery mildew and detection of disease resistance gene in China. Acta Agronomica Sinica, (06), 13–24.

23. Zhang, F. Y., & Zeng, Y. J. (2019). Advances in plant resistance research. Forestry Sci-Tech Intelligence, 51(01), 6–8.

24. Yang, Y., & Gao, Z. Y. (2016). Research Progress on plant disease resistance mechanism. Science and Education Guide, (09), 148–149.

25. Fan, W. Y., & Jiang, S. J., (2005). Research progress of plant Disease resistance and disease resistance signal transduction. Chinese Agricultural Science Bulletin, 021(002), 249–252.

26. Ding Lina & Yang Guoxing (2016). Research progress in plant disease resistance mechanism and signal transduction. Bulletin of Biotechnology, 032(010), 109–117.

27. Grant, M., & Lamb, C. (2006). Systemic immunity. Current Opinion in Plant Biology, 9(4), 414–420.

28. Dong, N. (1998). SA, JA, ethylene, and disease resistance in plants. Current Opinion in Plant Biology, 1(4), 316.

29. Penninckx, I., Eggermont, K., & Terras, F.R.G. (1996). Pathogen-induced systemic activation of a plant defensin gene in Arabidopsis follows a salicylic acid-independent pathway. Plant Cell, (8), 2309–2323.

30. Zhang Jianxia, Wang Yuejin, & Xu Weirong (2008). RAPD marker and sequence analysis of grape powdery mildew gene. Journal of Northwest A&F University: Natural Science, 036(002), 111–118.

31. Luo Sulan, & Zheng Xueqin (2000). Sequence Analysis of RAPD marker of grapevine downy mildew gene. Journal of Hainan University (Natural Science edition), 17(2), 18–19.

32. Schulze Lefert, P., & Vogel, J. (2000). Closing the ranks to attack by powdery mildew. Plant Science, 5(8), 1–348.

33. Eckardt, N. (2002). Plant disease susceptibility genes. The Plant Cell, 1, 1983–1986.

34. Liu Chao, Han Lihong, & Chu Honglong (2018). Research progress and prospect of plant disease resistance. Plant Protection, 044(004), 1–8.

35. Shang Ming Qing, & Liu Aixin (1998). Molecular mechanism and Utilization of plant resistance to Disease. Shandong Science, 011(002), 37–42.

36. Guo, L., Li, M., & Wang, W. (2012). Over-expression in the nucleotide-binding site-leucine rich repeat gene DEPG1 increases susceptibility to bacterial leaf streak disease in transgenic rice plants. Molecular Biology Reports, 39(4), 3491–3504.

37. Robaglia, C., & Caranta, C. (2006). Translation initiation factors: a weak link in plant RNA virus infection. Trends in plant science, 11(1), 32–45.

38. Vogel, J.P., Raab, T.K., & Schiff, C. (2002). PMR6, a pectatelyase-like gene required for powdery mildew susceptibility in Arabidopsis. The Plant Cell, 14(9), 2095–2106.

39. Jiang, C., & Shimono, M. (2009). Suppression of the rice fatty-acid desaturase gene OsSSI2 enhances resistance to blast and leaf blight diseases in rice. Molecular Plant-Microbe Interactions, 22(7), 820–829.

40. Li, W., & Zhu, Z. (2017). A Natural Allele of A transcription factor in Rice Confers Broad-spectrum Blast Resistance. Cell, 170(1), 114–126.

41. Li, H. H., & Zhao, Z. Q. (2015). Cloning and expression analysis of Cotton GhWRKY106-1. Molecular Plant Breeding, (11), 2461–2468.

42. Eichmann, R., & Bischof, M. (2010). BAX INHIBITOR-1 is required for full susceptibility of barley to powdery mildew. Molecular Plant-Microbe Interactions, 23, 1217–1227.

43. Lei Xiu-yu. (2013). Practical evaluation of powdery mildew resistance gene molecular markers in wheat. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science and Technology.

44. Chantret, N., Pavoine, M. T., & Doussinault, G. (1999). The race-specific resistance gene to powdery mildew, MIRE, has a residual effect on adult plant resistance of winter wheat line RE714. Phytopathology, 89(7), 533–539.

45. Song, W., Sun, H. J., & Sun, Y. L. (2014). Chromosomal location of powdery mildew resistance gene in wheat variety Wennong 14. Acta Agronomica Sinica, 40(5), 798–804.

46. Zou, J. W., Qiu, D., & Sun, Y. L. (2017). Effectiveness of the powdery mildew resistance gene Pm52 wheat variety Liangxing 99. Acta Agronomica Sinica, 43(3), 332–342.

47. Liu, L. S. (2016). Identification of wheat powdery mildew resistance and molecular detection of resistance genes. Zhengzhou: Henan Agricultural University.

48. Wang, Z. H. (2017). Genetic diversity and expression of CRT gene in Wheat Powdery milt strains in China. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences.

49. Sun, Y. L. (2015). Response of wheat varieties to powdery mildew and detection of disease resistance gene. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences.

50. Chi Wenjuan, Cao Yuanyin, & Zhu Guiqing (2007). Analysis of powdery mildew species dynamics and strain resistance in endemic areas in northern wheat areas from 2004 to 2005. Plant Protection Journal, 34(6), 567–572.

51. Zhang, S. Z., Chen, P. D., & Wang, X. E. (2004). New wheat variety Nong 9918 with high resistance to powdery mildew. China Seed Industry, (05), 47.

52. Jingwei, Zou, Dan Qiu, & Yanling Sun (2016). Pm52 the effectiveness of the gene conferring resistance to powdery mildew in wheat cultivar Liangxing 99. Acta Agronomica Sinica, 43(3), 332–342.

53. Li Jiao. (2019). Research and Application progress of virus-induced gene silencing technology in plants. Molecular Plant Breeding, 17(5).

54. Jauhar, P.P., & Chibbar, R.N.(1999). Chromosome-mediated and direst gene transfers in wheat. Genome. 42, 570–583.

55. Huerta-Espino, J., & Chen, X.M. (2015). Aegilops speltoides into soft red winter wheat. Theor. Appl. Genet., 128, 303–312.

56. Lillemo, M., Asalf, B., & Singh, R.P. (2008). The adult plant rust resistance loci Lr34/Yr18 and Lr46/Yr29 are important determinants of partial resistance to powdery mildew in bread wheat line Saar. Theor. Appl. Genet. 116, 1155–1166.

57. Lan, C., Rosewarne, G.M., & Singh, R.P. (2014). QTL characterization of resistance to leaf rust and stripe rust in the spring wheat line Francolin. Mol. Breeding. 34, 789–803.

58. Dyck, P. L. & Samborski, D. J. (1979). Adult plant resistance in PI250413, an introduction Of Common Wheat. Can. J. Plant Sci., 59, 329–332.

59. Dyck, P. L., Kerber, E. R. & Aung, T. (1994). An inter chromosomal reciprocal translocation Genome In wheat involving leaf rust Resistance gene Lr34., 37, 556–559.

60. Singh, R. P. (1992) Genetic association of leaf rust resistance gene *Lr34* with adult-plant resistance to stripe rust in bread wheat. Phytopathology, 82, 835–838.

61. Lagudah, E.S., Krattinger, S.G., & Herrera-Foessel, S. (2009). Gene-specific markers for the wheat gene *Lr34/Yr18/Pm38* which confers resistance to multiple fungal pathogens. Theoretical and Applied Genetics. 119, 889–898.

62. Hiebert, C.W., & Thomas, J.B. (2010). An introgression on wheat chromosome 4DI in rl6077 (Thatcher*6/PI 250413) confers adult plant resistance to stripe. Theor Appl Genet, 121.

63. Herrera-Foessel, S.A., & Lagudah, E.S. (2011). New slow-rusting leaf rust and stripe rust resistance genes Lr67 and Yr46 in wheat are pleio-Tropic or closely linked. Theor Appl Genet, 122, 239–249.

64. Herrera-Foessel, S., Singh, R.P., & Lillemo, M. (2014). *Lr67/Yr46* confers adult plant resistance to stem rust and powdery mildew in wheat. Theoretical and Applied Genetics, 127, 781–789.

65. Zhang, X. M. (2017). Blufensin1 negatively regulates wheat stripe rust. Proceedings of the 2017 Annual Conference of the Chinese Society of Plant Pathology. Northwest AF University.

66. Wang Zhiwei, Wang Zhilong, Qiao Xiangmei (2020). KASP marker detection of functional genes of rust and scab resistance in Yunnan wheat varieties (line). Journal of Publications (1), 187–193.

67. Milne, R. J., Dibley, K. E., Schnippenkoetter, W., Mascher, M., Lui, A. C. W., & Wang, L. (2019). The wheat *Lr67* gene from the sugar transport protein 13 family confers multipathogen resistance in barley. Plant Physiology,179, 1285–1297.

68. Proels, R.K. & Huckelhoven, R. (2014). Cell-wall Invertases, key enzymes in the modulation of plant metabolism during defence responses. Mol. Plant Pathol., 15, 858–864.

69. Chen, L. Q., Hou, B. H., Lalonde, S., Takanaga, H., Hartung, M. L., Qu, X.Q., Guo, W.J., Kim, J.G., Underwood, W., Chaudhuri, B., Chermak, D., Antony, G., White, F. F., Somerville, S. C., Mudgett, M. B., & Frommer, W. B. (2010). Sugar transporters for intercellular exchange and nutrition of Pathogens. Nature, 468, 527–532.

70. Akoh, C. C., Lee, G. C., Liaw, Y. C., Huang, T. H., & Shaw, J. F. (2004). GDSL family of serine esterases/lipases. Progress in Lipid Research, 43(6), 534–552.

71. Chepyshko, H., Lai, C. P. et al. (2013). Multifunctionality and diversity of GDSL esterase/lipase gene family in rice (*Oryza sativa* L. japonica) genome: New insights from bioinformatics analysis. BMC Genomics, 13(1), 309–327.

72. Ling, H., Zhao, J. Y., & Zuo, K. J. (2006). Isolation and expression analysis of a GDSL-like lipase gene from Brassica. Insect Knowledge, 46(4), 525–532.

73. Lee, D., Kim, B., & Kwon, S. (2009). Arabidopsis GDSL lipase 2 plays a role in pathogen defense genaling. Biochemical and Biophysical Research Communications, 379(4), 1038–1042.

74. Oh, I., Park, A., & Bae, M. (2005). Secretome Analysis reveals an Arabidopsis Lipase involved in Defense against Alter Naria Brassicola. The Plant Cell, 17(10), 2832–2847.

75. Kwon, S., Jin, H., & Lee, S. (2009). GDSL lipase-like 1 regulates systemic resistance associated with ethylene signaling in Arabidopsis. The Plant Journal, 58(2), 235–245.

76. Hong, J., Choi, H., & Hwang, I. (2008). Function of a novel GDSL-type pepper lipase gene, CaGLIP1, in disease susceptibility and abiotic stress tolerance. Planta, 227(3), 539–558.

78. Wang Ya-ru, & Yao Yun-cong (2015). Application of TRV-GFP Carrier on Straw chrysanthemum. Journal of Beijing Agricultural University, 30(4), 39–43.

79. Yao, D. Q., Zhang, W. W., & Yuan, L. H. (2009). VIGS: Revolution in plant functional genomics research. Molecular Plant Breeding, 1, 163–169.

80. Zhang, X. L., Zhang, Z. W., & Na-Ren (2014). Research on VIGS silence system in potato. Journal of North China Agronomy, 29(1), 36–40.

81. Kumagai, M., Donson, J., & Della, G. (1995). Cytoplasmic inhibition of carotenoid biosynthesis with virus-derived RNA.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 92(5), 1679–1683.

82. Baulcombe, D. C. (1999). Fast forward genetics based on virus-induced gene silencing. Current Opinion in Plant Biology, 2(2), 109–113.

83. Ratcliff, F., Martin-Hernandez, A.M., & Baulcombe, D.C. (2001). Technical advance: tobacco rattle virus as a vector for analysis of gene function by silencing. The Plant Journal, 25(2), 237–245.

84. Bäumlein, H. W., Boerjan, W., Nagy, I., Bassfüner, R., Vanontagu, M., Inzé, D., & Wobus, U. (1991). A novel seed protein gene from Vicia fabais developmentally regulated in transgenic tobacco and Arabidopsis the plants. Journal of Molecular and General Genetics, 225(3), 459–467.

85. Turnage, M. A., Muangsan, N., & Peele, C. G. (2002). Gemini virus-based vectors for gene silencing in Arabidopsis. The Plant Journal, 30(1), 107–114.

86. Holzberg, S., Brosio, P., & Gros,s C. (2002). Barlestripe Mosaic virus-induced gene silencing in a Monocot plant. The Plant Journal, 30(3), 315–327.

87. Lacomme, C., Hrubikova, K., & Hein, I. (2003). Enhancement of virus-induced gene silencing through viral-based production of inverted-repeats. The Plant Journal, 34(4), 543–553.

88. He Zhengbo, Chen Bin, Feng Guozhong, & Li Jiao (2019). Research and Application progress of virus-induced gene silencing technology in plants. Molecular. Plant Breeding, 17(5).

89. Fire, A., Xu, S., & Mary, K. (1998). Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans. Nature, 391(6669), 806–811.

90. Sunkar, R., Li, Y.F., & Jagadeeswaran, G. (2012). Functions of microRNAs in plant stress responses. Trends Plant Sci. 17, 196–203.

91. Mao, Y., Cai, W., & Wang, J. (2007). Sila cotton Bollworm P450 Monooxy genase gene by plant-mediated RNAi Impairs Larval tolerance of Gossypol. Nature Biotechnology, 25(11), 1307–1313.

92. Wang Weiwei, Liu Ni, & Lu Qin (2017). Recent research progress of RNAi technology. Bulletin of Biotechnology, 33(11), 35–40.

93. Zhong, X. F., Yang, X. D., Zhang, J. H. (2016). Study on resistance of RNAi transgenic soybeans with HG-RPS-23 gene to soybean cyst nematode. Northeast Agricultural Science, 41(3), 25–30.

94. Mao, J., & Zeng, F. (2014). Plant-mediated RNAi of a gap gene-enhanced tobacco tolerance against the Myzus persicae. Transgenic Research, 23(1), 145–152.

95. Yang, X., Niu, L., & Zhang, W. (2018). RNAi-mediated SMV P3 cistron silencing confers significantly enhanced resistance to multiple Potyvirus strains and isolates in transgenic soybean. Plant Cell Reports, 37(1), 103–114.

96. Zhong (2004). RNA silencing: genomic immune system. J Immunology, 2, 83–90.

97. Oropeza, A., Cervantes, S., & Albert, V. (2020). Agrobacterium tumefaciens mediated transformation of the aquatic carnivorous plant Utricularia gibba. Plant Methods, 2020, 16.

98. Li Junxiang, & GU Qisheng. (2020). Progress in the study of fungal genetic transformation mediated by agrobacterium tumefaciens. Jiangsu Agricultural Sciences, 48(3), 43–49.

99. Yang Jing (2019). Research Progress of agrobacteria-mediated monocotyledonous plant Genetic Transformation. Seed Technology, 37(18), 10–12.

100. John, W., Moore, Sybil, Herrera-Foessel. (2015). A recently evolved hexose transporter variant confers Resistance to multiple pathogens in wheat. Nature Genetics. doi: 10.1038 / ng.3439

101. Liesche, J. (2011). Sucrose transporter regulation at the transcriptional, post-transcriptional. Plant Physiol., 168, 1426–1433.

***Тао Є**, аспірантка, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна*

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

***Осьмачко Олена Миколаївна**, кандидат с.-г. наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна*

***Бакуменко Ольга Миколаївна**, кандидат с.-г. наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ГЕНІВ СТІЙКОСТІ ДО БОРОШНИСТОЇ РОСИ ПШЕНИЦІ

Пшениця (Triticum aestivum L.) одна з основних зернових культур у світі. Борошниста роса пшениці – грибкове захворювання, спричинене інфекцією Blumeria graminis F.sp. tritici. Це одна з найважливіших хвороб пшениці у світі, яка серйозно впливає на врожайність та якість пшениці. Наразі основними способами боротьби з борошнистою росою є використання фунгіцидів та вирощування стійких до хвороб сортів. Оброблення фунгіцидами спричиняє накопичення залишків пестицидів та забруднення навколишнього середовища. Наразі джерел резистентності до борошнистої роси дикорослих видів та штучно виведених сортів пшениці не вистачає, тому необхідно терміново та ефективно створювати стійкі сорти. Традиційне схрещування має тривалу і низьку ефективність. Тим не менше, це швидкий та ефективний спосіб отримання стійких до хвороб сорти, використовуючи сучасні молекулярно-біологічні засобів для перенесення стійких до хвороб генів у культивовані сорти. Незважаючи на те, що вирощування стійких сортів є найбільш економічним та ефек-

тивним способом контролю борошнистої роси у пшениці, існують певні обмеження при введення генів стійкості звичайними способами для вирощування стійких сортів у товарному виробництві. Зі збільшенням захворюваності з кожним роком ця ситуація буде дедалі більше нездатною задовольнити потреби генетичного вдосконалення пшениці. Необхідно терміново дослідити новий спосіб створення стійких сортів пшениці до борошнистої роси, що забезпечуватиме тривалий широкий спектр дії.

Резистентність до хвороби через селекційне клонування рослин та взаємодії спорідненості патогенів відіграють ключову роль у вивченні фітопатогенів та їх механізму дії. Наразі у пшениці шляхом маніпулювання генами хвороби інфікований матеріал отримав тривалий широкий спектр дії меншої резистентності. У випадку захворювання генів та мутацій після такої резистентості до хвороби механізм досі незрозумілий. Отже, для селекції стійких сортів потрібні добування та використання генів стійкості. У статті підсумовується шкодочинність та розповсюдження борошнистої роси пшениці, механізм стійкості генів резистентності до борошнистої роси пшениці, а також функціональний аналіз, гени стійкості до борошнистої роси пшениці у галузі досліджень молекулярної біології, а також VIGS, RNAi, агробактеріальний принцип та застосування технічних засобів, таких як профілактика та боротьба з борошнистою росою пшениці, дослідження нових генів резистентності до борошнистої роси та регулювання стійкості, селекція стійких до хвороб сортів пшениці, що забезпечують бажану схему.

Ключові слова: *пшениця, борошниста роса пшениці, гени стійкості до борошнистої роси пшениці, VIGS, RNAi.*

Дата надходження до редакції: 01.12.2020 р.

UDC 631.8:631.89:631.445.4

EFFECT OF AMMONIUM SULFATE AND PHOSPHOGYPSUM APPLICATION ON NUTRIENTS DYNAMICS AND ACIDITY OF BLACK SOIL

Zakharchenko Elina
PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: 0000-0002-9291-3389
elina.zakharchenko@snau.edu.ua

Tunguz Vesna
PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor
University of East Sarajevo, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
ORCID: 0000-0003-2587-0590
vesna.tunguz@gmail.com

The problem of phosphogypsum accumulation in dumps of chemical plants has been an urgent problem for several decades. The ecological situation is aggravated by the fact that more and more areas are allocated for its conservation. A negative point in the application of phosphogypsum is the intake of radionuclides and fluorine into the soil and plants, small particles could be dispersed to the atmosphere by wind. But given the presence of macro-, mezo- and microelements in it and the high price of mineral fertilizers, it is now considered as a good fertilizer and ameliorants, especially for alkaline soils. The goal of the research was to study the effectiveness of phosphogypsum application (from Sumykhimprom) and ammonium sulfate in increasing doses of nitrogen 50–150 on the dynamics of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and hydrolytic acidity of typical middle loam black soil. An increase in nitrogen led to growing the content of hydrolyzed, nitrate and ammonium forms of nitrogen in the soil. The maximum availability of N-NO_3 in the soil is characteristic for the first period of sampling, in the tillering stage. At this period, the maximum difference is observed between the control and fertilized variants of the experiment. The application of phosphogypsum with N_{150} almost threefold increased the content of nitrates in the soil. Variants with lower doses of nitrogen also affect the accumulation of nitrates in layers 0–20 and 20–40 cm. After harvesting, an insignificant difference was found between the control and fertilized variants (except for N_{150}) with a general decrease in the level of nitrate availability to 0.1–0.2 mg/100 gm of soil. The impact of fertilizers was less on the content of labile phosphorus and exchangeable potassium. A year after fertilization, a significant increase in the value of hydrolytic acidity is observed in the fertilized variants.

It is especially noticeable at a dosage with nitrogen of 120–125. In these variants, the hydrolytic acidity in both the arable and subsoil layers exceeds 4 mmol$^+$/100 gm of soil. Changes in the content of water-soluble calcium are insignificant which can be explained by the fact that the solubility of calcium sulfate is not high enough and it takes more time for calcium to appear in an ionic form.

Key words: *ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, hydrolyzed nitrogen, ammonium sulfate, phosphogypsum, mobile phosphorus, exchangeable potassium, hydrolytic acidity.*

DOI: https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.4.8

Introduction. The production of phosphate fertilizers is a complex technological process. The main raw materials in the world for its are apatites and phosphorites. In apatites there are some chemical components as fluorine and uranium which constrain the use of phosphogypsum as a fertilizer that is waste of thecnological processes. Phosphogypsum accumulates in chemical plants every year and this can affect the increase in greenhouse gas emissions (Kumar et al., 2020; Yuan et al., 2018). If it gets into lakes, rivers, bogs, seas and oceans, it causes large-scale environmental disasters (Zrelli et al, 2018).

Phosphate raw materials from different countries may differ in the content of chemical elements and radionuclides, its long-term use should be controlled by measuring radionuclides, phosphorus and sulfur in water basins and groundwater (Hilton, 2020; Tirado & Allsoop, 2012; Papastefanou et al., 2006; Olszewski et al., 2016; Tucher et al., 2018). Each country has its own standards for the content of toxic substances in fertilizers and there are also standards written for phosphogypsum.

The application of one ton of phosphogypsum as fertilizer, 265 kg of calcium, 215 kg of total sulfur, 20 – phosphorus oxide and 9.8 kg of silicon oxide are supplied to the soil (Korobka, et al., 2016). That is, phosphogypsum can be evaluated both as a fertilizer and an ameliorant.

Since in the near future a shortage of phosphorus raw materials is predicted, therefore, attention to phosphogypsum as a source of phosphorus does not subside (Gazzar-El, 2006; Mahmoud et al., 2020). The effectiveness of phosphogypsum of more than fifty crops has already been studied since the 80s of the last century and for the last three years it was enough to conduct research on the creation of sulfur-containing fertilizers on its basis.

Phosphogypsum is most effective on sodium-enriched alkaline soils, and it has also been proven to be effective on irrigated land (Belal et al., 2019). On degraded lands, it appears as a valuable source of phosphorus and sulfur, which is important for oil and grain crops. On meadow black soil, its advantage in autumn application compared to ammonium phosphate has been proven and an aftereffect on subsequent crops of crop rotation is also observed (an increase in alfalfa yield was 47 %) (Hilton, 2020). When phosphogypsum was used on ordinary carbonate black soil of 4 t/ha, an increase in the phosphorus content by almost two times and sulfur of the sulfate form by ten times were observed.

The effectiveness of phosphorus fertilizers, the behavior

of phosphorus in the soil depends precisely on the physicochemical characteristics, granulometric and mineralogical structure of the soil (Mühlbachová et al., 2018). German scientists have found that the regulation of pH by liming can reduce the rates of phosphorus fertilizers than the recommended ones. In soils where phosphorus has been reduced or not applied in recent decades, the availability of phosphorus becomes too low for optimal crop production (Tucher et al., 2018).

The patented methods of rolling phosphogypsum on urea in the production of granular fertilizers also show its effectiveness in preventing nitrogen loss from fertilizer and soil, reduces the fertilizer caking ability, and fertilizer granules become more durable (Deng et al., 2009; Mullahodzaev & Olifson, 2012). Phosphogypsum has also been studied in combination with ammonium nitrate and urea to create nitrogen-containing sulfur fertilizers in various ratios (Vashishtha et al. 2010; Mamataliyev, 2017).

The use of phosphogypsum for composting pig manure with corn stalk increases nitrous oxide (N_2O) emissions, but significantly reduces ammonia emissions, thus increasing the mineral content and total nitrogen in the compost (Li et al., 2018). The effect of phosphogypsum in the composting of sewage sludge was manifested in a decrease in ammonia and methane emissions and an increase in nitrous oxide. The positive effect of adding phosphogypsum on nitrogen retention in compost has been proven (Li et al., 2018).

The application of phosphogypsum together with lime gives a double effect, lime reduces the acidity of phosphogypsum (Carvalho & Nancente, 2014). Phosphogypsum, in comparison with the applied mineral fertilizer with phosphorus and sulfur content, is more effective in reducing the negative effect of exchangeable aluminum in the soil, but the effect depends on the type of research soil (Bouray et al., 2020). The effect of phosphogypsum and similar concentrations in soluble fertilizers may depend on the balance between calcium and sulfate ions. The high general solubility of phosphogypsum has been established, and as an additive to mineral fertilizers, it could increase microbiological activity in order to contribute to the rapid transformation of phosphorus into more accessible forms (Nayak et al., 2011).

The co-application of limestone and phosphogypsum significantly increases the calcium content throughout the soil profile. Liming maintains high magnesium levels with and without phosphogypsum, and the same trend has been observed for organic matter. In aftereffect, significant accumulation of sulfate is observed for the application of phosphogypsum (Nayak et al., 2011). The co-application of limestone and gypsum increased the yield of soybeans and sorghum, their nutrition with calcium.

Phosphogypsum had no significant effect on increasing the yield of soybeans in the case of no-till (Costa & Crusciol, 2016). The combined use of limestone and phosphogypsum improved the physicochemical properties of the soil and increased the yield of soybeans.

An important factor is taking into account the nutritional requirements of plants, the ratio of nutrients in fertilizer. In extreme weather conditions, rational fertilization increases the stress resistance of plants. As a result of the introduction of concentrated fertilizers in recent years and an increase in the yield of high-tech crops, a decrease in the content of sulfur in the soil has been established, and the content of this element in soil affects the formation of protein and stress resistance of plants, it is proved by the experimental data of scientists of the NSC "Institute of Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky". Root application of ammonium sulfate increases the corn yield and resistance to abiotic stress (Gladkih et al., 2016).

Ammonium sulfate as a fertilizer also has disadvantages because it belongs to the third hazard class for peroral and inhalation toxicity, it can also cause irritation to the eyes and skin (Lepeshkin et al., 2010). It has been established that in the conditions of humid Polissia and a high level of groundwater, it is not recommended to apply ammonium sulfate of more than 90–100 kg in nitrogen, therefore fertilizer causes the migration of zinc and copper as a result of the reaction of the soil environment. The introduction of ammonium sulfate leads to an increase in the content of nitrate nitrogen in the soil (Ferrari et al., 2015).

Using of ammonium sulfate, such essential elements for plants, such as nitrogen, sulfur, cobalt, copper, zinc, iron, manganese, lead, potassium, nickel, chromium are supplied (Skwierawska et al., 2008). The application of ammonium sulfate 200 kg/ha nitrogen increased the content of copper and sulfur in toxic doses, but enlarged the content of organic matter (Tkachuk, 2017). At the same time, the application of ammonium nitrate increased the content of lead in the soil, ammonium chloride –content of chlorine.

The use of phosphogypsum as a suspension is effective relative to powdery which improve winter wheat harvest (Tarhoniy & Anyshynets, 1998). The use of phosphogypsum without irrigation was more effective compared to the variants with irrigation because of decreasing of exchangeable sodium in the CEC, the effective dose of ameliorant in this regard was 6 t/ha. The pH decreased with the application of the ameliorant by 0.11–0.23, depending on the dose, 1.4–6 t/ha (Makarova, 2013).

Chemical amelioration with phosphogypsum leads to changes in granulometric composition, increasing in the percentage of physical sand and, accordingly, decreasing physical clay, that is a positive effect for heavy soils structuring (Makarova et al., 2020; Mykhaylyuk & Kozachenko, 2009).

Increasing the potential of grain yield can be regulated by the application of fertilizers, ameliorants, growth regulators, and pesticides (Shvartau & Mykhalska, 2016). Studying the behavior of ions in soil under various conditions will provide information and dosage recommendations and predict the next cycle.

Materials and research methods. The experiment has been carried out in the field of the educational, scientific and industrial complex of Sumy National Agrarian University in 2014–2017. The soil is typical deep black soil, low-humus middle loam on loess. Humus content is 4.1 % according to Tiuryn, pH_{KCl} – 6.7, hydrolytic acidity according to Kappen – 2.62 mg-equ., content of exchangeable ammonium with Nesler's reagent – 1.30, content of labile phosphorus according to Chirikov – 10.59, exchangeable potassium according to Chyrykov – 22.5, $N\text{-}NO_3$ by colorimetric method – 1.4 mg/100 g of soil. Before the beginning of the experiment, a compensatory sowing of buckwheat was carried out. The repetition was 3, the square of each plot was 36 m^2.

Sowing of spring barley was carried out on April 13–20. Sampling was carried out with a Kachynskyi's drill to a depth of 0–20 and 20–40 cm in the main stages of plant development: in the germination stage, bloom stage and at the time of harvest. The content of alkaline-hydrolyzed nitrogen was determined by

Kornfield, the content of nitrate nitrogen was determined colorimetrically with phenoldisulfonic acid, ammonium nitrogen – colorimetrically with Nesler's reagent, water-soluble calcium by a flame photometer method, the content of labile phosphorus and exchangeable potassium according to Chyrykov. All obtained experimental data were processed statistically by Dospiekhov.

Phosphogypsum from chemical plant "Sumykhimprom" was taken near the village of Tokari, Sumy district, Sumy oblast, Ukraine. Phosphogypsum was applied in autumn of 2014, 2015, and 2016. Ammonium sulfate with phosphogypsum were mixed in a ratio of 1 : 2 and there was made a granulate that contains total nitrogen 14.3 %, phosphorus oxide 1.0 %, calcium sulfate 24 %, which was used for the variant 2, for further variants, the ammonium content was added more under the research program.

The experiment scheme is as follows: 1. Control. 2. Phosphogypsum (PG)+ N_{50}. 3. PG+N_{75}. 4. PG+N_{100}. 4. PG+N_{125}. 5. PG+N_{150}. Method of spring barley cultivation is generally accepted for the area.

Results. It is known that the content of mineral nitrogen in the soil depends on many indicators, among which the main role is played by microbiological activity in the soil, that ensures the transformation of nitrogen-containing compounds into available mineral forms of nitrogen. The content of nitrate nitrogen is very dynamic, the content of alkaline-hydrolyzed and ammonium nitrogen is more stable. The table 1 shows the results of determining the content of hydrolyzed nitrogen in layers of 0–20 and 20–40 cm in all variants of the experiment.

Table 1

Content of hydrolized nitrogen in the soil (mg/100 g), in average 2015–2017

Variant	Depth of soil sampling, sm	Hidrolized nitrogen during barley plants development		
		tillering	blooming	harvesting
Control	0–20	15.46	14.03	8.46
	20–40	14.96	14.00	8.00
PG + N_{50}	0–20	16.05	15.01	9.02
	20–40	17.01	14.00	8.01
PG + N_{75}	0–20	17.01	14.09	10.02
	20–40	17.00	14.05	10.00
PG + N_{100}	0–20	17.09	16.04	10.08
	20–40	16.99	15.03	10.00
PG + N_{125}	0–20	18.02	15.05	10.09
	20–40	19.00	14.06	10.01
PG + N_{150}	0–20	19.00	13.04	8.50
	20–40	18.99	14.04	8.05
HIP_{05}				
0–20 cm		0.5	0.5	0.6
20–40 cm		0.3	0.35	0.4

The maximum content of hydrolyzed nitrogen in the soil is observed in the tillering stage and was in the range of 14.96–19.00 mg/100 g of soil. At this time, the difference between the variants of the experience is clear and signifacant. Moreover, the nitrogen content in the soil increases according to nitrogen dose.

During the vegetation of barley, the content of hydrolyzed nitrogen decreases by 8–10 mg/100 g of soil. At the same time, the difference between some variants is smoothed out, which is due to both the microbiological activity of the soil and the activity of the plants root system. Such tendency is typical for both arable and subsoil soil layers.

The content of alkaline-hydrolyzed nitrogen is significantly related to the amount of the ammonium form of this element. As you know, the processes of transformation of this form of nitrogen cause the accumulation of ammonium ion in the soil. The table 2 shows the results of determination of NH_4^+-N in the soil in average for three years in layers of 0–20 and 20–40 cm.

Table 2

Content of ammonium nitrate in the soil (mg/100 g), in average 2015–2017

Variant	Depth of soil sampling, sm	NH_4-N during barley plants development		
		tillering	blooming	harvesting
Control	0–20	4.33	2.36	1.26
	20–40	4.36	2.43	1.33
PG + N_{50}	0–20	5.53	2.90	1.39
	20–40	5.20	2.39	1.20
PG + N_{75}	0–20	6.22	2.69	1.39
	20–40	6.20	2.70	1.29
PG + N_{100}	0–20	6.79	2.59	1.10
	20–40	6.73	2.79	1.39
PG + N_{125}	0–20	7.28	3.19	1.89
	20–40	7.20	3.00	1.80
PG + N_{150}	0–20	7.55	3.09	1.49
	20–40	7.50	3.00	1.70
HIP_{05}				
0–20 cm		0.9	0.10	0.11
20–40 cm		0.5	0.15	0.96

From the data in the table, it can be seen that the dynamics of the content of ammonium nitrogen in the soil is characterized by the same tendency that were observed for hydrolyzed nitrogen.

It is revealed that the maximum content of NH4-N is typical for the first period of sampling in spring (tillering phase). At this time, the amount of ammonium nitrogen in the soil in the control variant was 4.33 mg/100 g of soil and in phosphogypsum+N_{150} – 7.55 mg/100 g of soil. During the growing season, the supply of plants with ammonium nitrogen significantly decreases, and the difference between some variants also decreases.

The content of ammonium nitrogen after harvesting of spring barley was only 1.10–1.89 mg/100 g of soil. However, the differences between the variants are very insignificant. The described patterns are typical for both the arable and subsoil layers. This indicates that the influence of annual conventional tillage to a depth of 25 cm led to the formation of the arable layer, where the processes of transformation of nitrogen-containing compounds occured with the same intensity. Data on the content and dynamics of nitrate nitrogen in soil are shown in the table 3.

Table 3

Content of nitrogen nitrate in the soil (mg/100 g), in average 2015–2017

Variant	Depth of soil sampling, sm	$N\text{-}NO_3$ during barley plants development		
		tillering	blooming	harvesting
Control	0–20	0.49	0.20	0.10
	20–40	0.47	0.20	0.10
PG + N_{50}	0–20	0.63	0.23	0.12
	20–40	0.63	0.21	0.12
PG + N_{75}	0–20	0.87	0.28	0.12
	20–40	0.87	0.27	0.12
PG + N_{100}	0–20	0.98	0.27	0.15
	20–40	0.90	0.26	0.15
PG + N_{125}	0–20	1.19	0.30	0.17
	20–40	1.10	0.30	0.17
PG + N_{150}	0–20	1.39	0.33	0.27
	20–40	1.30	0.35	0.28
HIP_{05}				
0–20 cm		0.15	0.09	0.05
20–40 cm		0.11	0.05	0.05

For NO_3-N, the same tendency as for hydrolyzed and ammonium nitrogen was noted, but at a different quantitative level. The maximum supply of nitrate nitrogen to the soil is typically for the first period of sampling, in the tillering stage. At this time, the maximum difference is observed between the control and fertilized variants of the experiment. Application of phosphogypsum with N_{150} increased the content of nitrates in the soil almost threefold. Variants with lower nitrogen doses also affect the accumulation of nitrates in the soil for both soil layers, but to a lesser extent.

A determination of nitrates in soil at the harvest time concluded that there are insignificant differences between the control and fertilized variants (except for with last variant +N_{150}) with a general decrease in the level of nitrate to 0.1–0.2 mg/100 g of soil.

Result of analyzing the content of labile forms of phosphorus in the soil in the arable and subsoil layers are shown in chart 4. As known, the influence of the root system of plants on soil phosphates, which increases with sufficient nitrogen nutrition. Maximum content of labile forms of phosphorus in the soil is observed during the tillering stage. It was set insignificant differences in the availability of phosphorus in the soil when phosphogypsum is applied along with nitrogen fertilization. Some noticeable differences are observed in the soil layer 20–40 cm.

Table 4

Content of labile form of phosphorus in the soil (mg/100 g), in average 2015–2017

Variant	Depth of soil sampling, sm	$P\text{-}P_2O_5$ during barley plants development		
		tillering	blooming	harvesting
Control	0–20	10.3	7.5	5.3
	20–40	11.1	8.6	5.4
PG + N_{50}	0–20	10.3	8.2	4.9
	20–40	12.5	8.5	5.7
PG + N_{75}	0–20	10.3	8.3	6.5
	20–40	12.6	8.5	5.2
PG + N_{100}	0–20	11.2	8.5	6.4
	20–40	13.6	8.8	5.7
PG + N_{125}	0–20	10.9	8.3	6.4
	20–40	13.4	8.8	5.9
PG + N_{150}	0–20	11.0	8.5	6.5
	20–40	13.2	8.7	5.9
HIP_{05}				
0–20 cm		0.62	0.59	0.50
20–40 cm		0.51	0.43	0.46

Over time, the amount of labile phosphates in the soil decreases. During the bloom stage, the phosphorus content in the soil layers 0–20 and 20–40 cm ranges from 7.5 to 8.8 mg/100 g of soil, depending on the variants. No difference was found between the variants according to the content of this element.

It should be noted that during the growing season in 2015, the arable and subsoil layers of the soil were fairly evenly provided with labile forms of phosphorus. This is probably due to regular tillage, which was carried out annually and ensured the formation of a uniform layer with the same supply of available phosphorus. By the harvesting, the phosphorus content is slightly reduced, but no differences between the variants are observed. The table 5 shows the results of determining exchangeable potassium in the soil.

Table 5

Content of exchangeable potassium in the soil (mg/100 g), in average 2015–2017

Variant	Depth of soil sampling, sm	$K\text{-}K_2O$ during barley plants development		
		tillering	blooming	harvesting
Control	0–20	15.6	8.1	11.8
	20–40	13.4	6.7	11.8
PG + N_{50}	0–20	15.4	8.1	12.3
	20–40	12.5	6.5	12.3
PG + N_{75}	0–20	15.5	7.3	12.0
	20–40	15.2	8.0	11.7
PG + N_{100}	0–20	15.7	11.3	12.7
	20–40	15.4	8.1	12.2
PG + N_{125}	0–20	15.7	10.0	13.0
	20–40	15.8	8.0	12.7
PG + N_{150}	0–20	15.6	9.4	13.4
	20–40	15.4	7.0	13.3
HIP_{05}				
0–20 cm		0.21	0.62	0.38
20–40 cm		0.15	0.41	0.29

Despite the fact that typical black soil is a soil well supplied with labile forms of potassium, there is a very intensive absorption of it by plants during the growing season. As can be seen from the data in the table 5, the content of exchangeable potassium in the soil in the first period of sampling, was expressed in significant values – up to 16 mg/100 g of soil. However, there are no differences between the variants.

Over time, the content of labile potassium in the soil decreases severely and at the bloom stage in the 0–20 cm layer is 8.1–11.3 mg/100 g of soil. In the soil layer of 20–40 cm, the content of labile forms of potassium is lower than in the layer of 0–20 cm, fluctuations in the content are almost absent.

After harvesting, the amount of labile potassium increases. This can be explained by the intense absorption of this element in the middle of the growing season of spring barley. It is also interesting to note that there is a tendency to an increase in the potassium content in both the arable and subsoil layers in the variants using phosphogypsum with $N_{100\text{-}150}$. In our opinion, the insignificant stimulating effect of fertilizers in relation to potassium is justified by the defixing effect of calcium on soil potassium, which causes a slight increase in its content in the soil.

Table 6 shows the results of determining the hydrolytic acidity and water-soluble calcium after harvesting spring barley on average for three years of research.

Table 6

Hydrolytic acidity and content of water-soluble calcium at harvesting time of spring barley in the soil, in average 2015–2017

Variant	Depth of soil sampling, sm	H_H, mg-equ/100 g	Ca water-soluble, mg/100 g
Control	0–20	2.89	5.5
	20–40	3.04	5.0
PG + N_{50}	0–20	2.85	5.5
	20–40	3.37	5.0
PG + N_{75}	0–20	2.99	5.0
	20–40	3.37	4.5
PG + N_{100}	0–20	2.98	4.5
	20–40	3.94	4.0
PG + N_{125}	0–20	3.85	4.5
	20–40	4.20	4.0
PG + N_{150}	0–20	3.94	4.0
	20–40	4.11	4.0
HIP_{05}			
0–20 cm		0.19	0.4
20–40 cm		0.17	0.4

After fertilization, a significant increase in the value of hydrolytic acidity is observed in the fertilized variants. It is especially noticeable at a dosage with nitrogen of 120–150. In these variants, the hydrolytic acidity in both the arable and subsoil layers slightly exceeds 4-4.5 mg-equ/100 g of soil.

Of undoubted interest are the results of the determination

of water-soluble calcium in soil samples taken at the time of harvest. It was found that significant changes did not occur in the soil, but this can be explained by the fact that the solubility of calcium sulfate is not high enough and it takes time for the appearance of calcium in ionic form. Physicochemical absorption takes place and calcium as a bivalent cation is absorbed by the soil-absorbing complex of black soil. Over time, the calcium cation will be available for the following exchange reactions in the soil environment.

Discussion. According to the scheme of our experiment, the same researches were not conducted. But for example, on black soils with a pH of 8.3 in the Rostov region, during the germination of oil flax for an application of 5 t/ha of phosphogypsum in autumn, an increase in the content of nitrate nitrogen in the soil by 1.2 mg/kg, potassium 8.8 mg/kg of labile phosphorus, 18 mg/kg potassium, 5.9 S-SO_4 (Akanova et al., 2019). But during the harvest time, the situation changes, the difference in the content of N-NO_3 decreases and in general the content of potassium in the area fertilized with phosphogypsum decreases by 19 mg/kg (we got the same tendency). Using phosphogypsum, an improvement in the physical properties of the soil is noted, such as a decrease in soil density by 0.11–0.13 gm/cm^3 (Akanova et al., 2019).

Fertilizer ammonium sulfate provides the plant with a macroelement nitrogen and a mesoelement sulfur. Scientists emphasize the advantages of this fertilizer over others like urea and ammonium nitrate, saying that it is the best fertilizer for saline, calcareous soils (Chien et al., 2011; Hafes & Kobata, 2012). Ammonium sulfate does not have potentially toxic aqueous ammonia and nitrites for plants growing in alkaline soils, there is no loss of ammonia due to evaporation when applied to acidic and neutral soils, the availability of phosphorus and some microelements increases as a result of acidification, does not affect the emission of carbon dioxide, nitrate is less leached out compared to other fertilizers. It is more effective in comparison with the application of elemental sulfur, since it takes more time for its conversion to sulfate for plants to be available. The acidifying effect can have a negative effect on acidic soils, and liming is recommended, which will be more financially profit. At the same time, these costs are compensated by the price of sulfur applied as a mesoelement (Khodanitska et al., 2018; Barczak et al., 2019; Skwierawska et al., 2008).

The co-application of nitrogen and sulfur has a positive effect on the yield and quality of grain crop as sulfur increases the efficiency of nitrogen use. Deficiency of sulfur in the soil leads to a decrease in the absorption of nitrates in comparison with the ammonium form due to the fact that there is a decrease in the activity of nitrate reductase (Bona, et al. 2011, Syrova 2020).

Our previous studies have shown that the content of phosphogypsum with ammonium sulfate increased the content of nitrogen, phosphorus and even potassium in spring barley plants during the growing season (Zakharchenko, 2020). But the difference in the effect when N_{50-100} was applied between the variants has not been established during the tillering stage, during the bloom stage the difference between all the experimental variants is significant. The effectiveness of phosphorus from phosphogypsum was insignificant on barley plants, the difference in fertilized variants was greater during the bloom stage. The potassium content was not changed by applied fertilizer, although a slight increase was also observed on fertilized variants with nitrogen above 75.

Phosphogypsum, when applied with urea, reduced the loss of ammonia. If you mix phosphogypsum and urea 2.3:1, then the loss of ammonia from urea would be 85 % less than its separately application (Baurakli, 1990; Rzeczycka et al., 2001). The same conclusion was obtained by other scientists who compared the composting losses of phosphogypsum, superphosphate with chicken and cattle manure – phosphogypsum is better for reducing ammonia (Prochnov et al., 1995).

The activity of calcium increases from the application of phosphogypsum and lime cake or their co-application (Skrylnyk, 2017). An increase in the content of labile forms of phosphorus is noted only at high doses of phosphorus. So, for the application of 24 t/ha of phosphogypsum, compared with the control, an increase in phosphorus of 3 mg /kg of soil was obtained, for the application of 4.8 t/ha of the effect, a decrease in phosphorus in the soil was noted. At the same time, the content of exchangeable potassium increased significantly both with the application of lime and with the application of potassium by 20–26 mg/kg of soil at 4.8 and 24 t/ha. Phosphogypsum increases the absorption capacity and lowers the lime cake.

The application of phosphogypsum on dark chestnut secondary-alkanized soil at a rate of 6 t/ha increased the calcium content by 2.67 times compared to the control without ameliorants, the sodium content in the aqueous extract increased almost by 1.3 times, the anion content doubled and the content of bicarbonate ions did not change. The amount of exchangeable cations during its application increased by 1.3 times (Davydchuk, 2013).

Increased doses of nitrogen application (more than 150 kg) in the form of ammonium sulfate reduced the reaction of the soil environment, the concentration of calcium and magnesium in the arable layer (Fageria et al., 2010 Chien et al, 2011). The results of our experiment also show the tendency to decreasing of water-soluble calcium and increasing of acidity with rising of nitrogen rate in sulfate ion.

Mixed phosphogypsum with nitrogen fertilizer result in an increasing of yield of crop and improving of nutrients regimes in soil. For example, the co-application of biochar and phosphogypsum is more effective than their separate application (Mahmoud et al., 2017). Their mixture increased the nitrogen content of the soil, decreased soil density and increased corn yields.

Conclusions. The use of phosphogypsum in combination with nitrogen fertilization fulfills an important task in maintaining a high level of soil fertility while ensuring the required level of nitrogen nutrition. Due to the effect of interaction and mutual compensation, physicochemical and chemical absorption, phosphogypsum has a positive effect on the supply of calcium to the soil. With an increase in the nitrogen dose, soil acidification occurs in the arable soil layer. In prospect, the study will be continued for obtaining of data about aftereffect of phosphogypsum on plants, taking into account the solubility of the components, accumulation of fluorine and radionuclides.

References:

1. Kumar, S. S., Kumar, A., Singh, S., Malyan, S. K., Baram, S., Sharma, J., Singh, R., & Pugazhendhi, A. (2020). Industrial

wastes: Fly ash, steel slag and phosphogypsum- potential candidates to mitigate greenhouse gas emissions from paddy fields. Chemosphere, 241. 124824. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124824.

2. Yuan, J., Li, Y., Chen, S., Li, D., Tang, H., Chadwick, D., Li, S., Li, W., & Li, G. (2018). Effects of phosphogypsum, superphosphate, and dicyandiamide on gaseous emission and compost quality during sewage sludge composting. Bioresource Technology, 270, 368–376. doi: 10.1016/j.biortech.2018.09.023.

3. Zrelli, E., R., Rabaoui, L., Daghbouj, N. (2018). Characterization of phosphate rock and phosphogypsum from Gabes phosphate fertilizer factories (SE Tunisia): high mining potential and implications for environmental protection. Environ. Sci. Pollut. Res., 25, 14690–14702. doi: 10.1007/s11356-018-1648-4

4. Hilton, J. (2020). Phosphogypsum Leadership Innovation Partnership. IFA NORM Working Group, Paris, 144.

5. Tirado, R. & Allsopp, M. (2012). Phosphorus in agriculture. Problems and solutions. Greenpeace International. Technical report. Amsterdam. 36.

6. Papastefanou, C., Stoulos, S., Ioannidou, A., & Manolopoulou, M. (2006). The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact. Journal of Environmental Radioactivity, 89(2), 188–198. doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.05.005

7. Olszewski G., Boryło A., Skwarzec B. (2016). The radiological impact of phosphogypsum stockpile in Wiślinka (northern Poland) on the Martwa Wisła river water. Journal of Radioanal. Nucl. Chem. 307, 653–660. doi: 10.1007/s10967-015-4191-5

8. Tucher, S. V., Hörndl, D. & Schmidhalter, U. (2018). Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet. Ambio, 47, 41–49. doi: 10.1007/s13280-017-0970-2

9. Korobka, A. N., Orlenko, S. Ju., & Timofeev, M. N. (2016). Teorija i praktika primenenija fosfogipsa nejtralizovannogo v risovodstve: metodicheskie rekomendacii [Theory and practice of using neutralized phosphogypsum in rice growing: guadelines Krasnodar: VNII risa, 40.

10. Gazzar, El. (2006). Response of Flax (Linum Usitatissimum L.) Grown on Clayay Soil to Phosphogypsum and Nitrogen Application. Field Crops Research Institute. Agric. Res. Center, 6, 273–281.

11. Mahmoud, E., Ghoneim, A., Baroudy, A. El., Kader, N. A. El., Aldhumri, S. A., Othman, S., & Khamisy, R. El. (2020). Effects of phosphogypsum and water treatment residual application on key chemical and biological properties of clay soil and maize yield. doi: 10.1111/sum.12583

12. Belal, E. E., Sowfy, D. M. El & Rady, M. M. (2019). Integrative Soil Application of Humic Acid and Sulfur Improves Saline Calcareous Soil Properties and Barley. Plant Performance, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50, 15, 1919–1930. doi: 10.1080/00103624.2019.1648497

13. Mühlbachová, G., Čermák, P., Vavera, R., Káš, M., Pechová, M., Marková, K., Hlušek, J., Lošák, T. (2018). Phosphorus availability and spring barley yields under graded p-doses in a pot experiment. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis, 66(1), 111–118. doi: 10.11118/actaun201866010111

14. Deng, Y. (2009) Method for preparing ammonium sulfate as fertilizer by phosphogypsum through ball milling CN 200910059716. [Electronoc resource]. Access mode: https://patents.google.com/patent/CN101585547B/en

15. Mullahodzhaev, T. I., & Olifson, A. L. (2012). Method of processing phosphogypsum to ammonium sulphate and phosphochalk. INTERFOS. [Electronoc resource]. Access mode: https://patents.google.com/patent/RU2510366C2/en

16. Vashishtha, M., Dongara, P., & Singh, D. (2010). Improvement in properties of urea by phosphogypsum coating. International Journal of ChemTech Research CODEN (USA), 2(1).

17. Mamataliyev, A. A., & Namazov, S. S. (2017). Nitrogen-sulphuric fertilizers based on ammonium nitrate melt and phosphogypsum. International scientific review, 8(39), 11–13.

18. Li, Y., Luo, W., Li, G., Wang, K., & Gong, X. (2018). Performance of phosphogypsum and calcium magnesium phosphate fertilizer for nitrogen conservation in pig manure composting. Bioresource Technology, 250, 53–59. doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.172.

19. Carvalho, M. C. S., & Nascente, A. S. (2014). Limestone and phosphogypsum effects on soil fertility, soybean leaf nutrition and yield. African Journal of agricultural research, 9(17), 1366–1383. doi: 10.5897/AJAR2014.8626

20. Bouray, M., Moir, J., Condron, L., & Lehto, N. (2020). Impacts of Phosphogypsum, Soluble Fertilizer and Lime Amendment of Acid Soils on the Bioavailability of Phosphorus and Sulphur under Lucerne (Medicago sativa). Plants, 9, 883. doi: 10.3390/plants9070883

21. Nayak, S., Mishra, C. S. K. Guru, B. C., & Rath, M. (2011). Effect of phosphogypsum amendment on soil physico-chemical properties, microbial load and enzyme activities. Journal of Environmental Biology, 5, 613–617.

22. Costa, C. H. M., & Crusciol, C. A. C. (2016). Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean oats sorghum rotation and soil chemical properties. European Journal of Agronomy, 74, 119–132. doi.org: 10.1016/j.eja.2015.12.001.

23. Gladkih, Je., Krupoderja, Ju., & Panasenko, Je. (2016). Rol okremyh elementiv zhyvlennja u pidvyshhenni stresostijkosti roslyn za ekstremalnyh pogodnyh umov [The role of individual nutrients in increasing the stress resistance of plants in extreme weather conditions.]. Ljudyna ta dovkillja, 1–2(25), 55–63. (in Ukrainian)

24. Lepeshkin, I. V., Bahatska, O. M., & Mudry, I. V. (2010). Toksykoloho-hihiyenichna otsinka mineralnoho dobryva sulfatu amoniyu ta obgruntuvannya bezpechnoho vykorystannya v silskomu hospodarstvi [Toxicological-hygienical estimation and ground of safety use of mineral sulfate ammonium fertilizer in agriculture]. Yedyne zdorov'ya ta problemy kharchuvannya Ukrayiny, 1–2(22), 48–55 (in Ukrainian).

25. Ferrari, S., Furlani Júnior, E., Godoy, L. J. G. de, Ferrari, J. V., Souza, W. J. O. de, & Alves, E. (2015). Effects on soil

chemical attributes and cotton yield from ammonium sulfate and cover crops. Acta Scientiarum. Agronomy, 37(1), 75–83. doi: 10.4025/actasciagron.v37i1.17972

26. Skwierawska, M., Zawartka, L., Zawadzki, B. (2008). The effect of different rates and forms of sulphur applied on changes of soil agrochemical properties. Plant soil environ., 54(4), 171–177.

27. Tkachuk O. P., Zaitseva T. M., & Dubovoy Y.V. (2018). Vplyv silskohospodarskykh toksykantiv na ahroekolohichnyy stan hruntu [Impact of agricultural toxicants on agroecological soil conditions]. Silske hospodarstvo ta lisnytstvo, 6(2), 102–109. (in Ukrainian).

28. Tarhoniy, P. M., & Anyshynets, T. V. (1998). Vplyv fosfohipsu na vlastyvosti pivdennoho chornozemu u mezhakh Kakhovskoho zroshuvanoho masyvu [Influence of phosphogypsum on the properties of southern chernozem within the Kakhovka irrigated massif. Tavriyskyy naukovyy visnyk, 4(29), 109–112 (in Ukrainian).

29. Makarova, T. K. (2013). Osoblyvosti zastosuvannya fosfohipsu na solontsyuvatykh zroshuvanykh chornozemakh [Features of phosphogypsum on saline irrigated chernozems]. Visnyk natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya, 3(63), 145–153 (in Ukrainian).

30. Makarova, T. K., Maksymova, N. N., Hapich, G. V., & Chushkina, I. V. (2020). Pererozpodil hranulometrychnykh fraktsiy v chornozemi zvychaynomu pid vplyvom tryvaloho zroshennya ta khimichnoyi melioratsiyi fosfohipsom [Redistribution of particle-size fractions in ordinary chernozem affected by long-term irrigation and chemical melioration with phosphogypsum]. Land reclamation and water management, 1, 95–101. doi: 10.31073/mivg202001 (in Ukrainian).

31. Mykhaylyuk, V. I., & Kozachenko, O. I. (2009). Protses osolontsyuvannya v umovakh zroshennya slabomineralizovanymy vodamy i zakhody vidnovlennya rodyuchosti vtorynno-solontsyuvatykh chornozemiv [The process of salinization under irrigation by low-mineralized waters and measures to restore the fertility of secondary saline chernozems]. Visnyk Odeskoho natsionalnoho un-tu, 14(7), 309–318 (in Ukrainian).

32. Shvartau, V. V., & Mykhalska, L. M. (2016). Fiziolohichni osnovy zhyvlennya vysokoproduktyvnykh posiviv zernovykh zlakiv. [Physiological basis of high-yielded cereals nutrition]. Fyzyolohyya rastenyy y henetyka, 48(4), 298–309 (in Ukrainian).

33. Akanova, N. I., Vizirskaya, M. M., Seregin, M. B., & Grebennikova, T. V. (2019). The neutralized phosphogypsum as gypsum-containing meliorant. Russian case-study. International agricultural journal, 2, 12–19. doi: 10.24411/2588-0209-2019-10048 (in Russian).

34. Hafez, E.E.D.M.M. & Kobata, T. (2012) The Effect of Different Nitrogen Sources from Urea and Ammonium Sulfate on the Spikelet Number in Egyptian Spring Wheat Cultivars on Well Watered Pot Soils, Plant Production Science, 15(4), 332–338. doi: 10.1626/pps.15.332

35. Khodanitska, O. O., Shevchuk, O. A., & Tkachuk, O. O. (2018). Efektyvnist zastosuvannya dobryv na pshenytsi ozymiy [The effectiveness of fertilizers on winter wheat]. Zbirnyk naukovykh prats NNTS «Instytut zemlerobstva NAAN», 3(11), 69–75 (in Ukrainian).

36. Barczak, B., Lopuszniak, W., & Moskal, M. (2019). Yield of spring barley in conditions of sulphur fertilization. Journal of Central European Agriculture, 20(2), 636–646. doi: 10.5513/jcea01/20.2.2115

37. Skwierawska, M., Zawartka, L., & Zawadzki, B. (2008). The effect of different rates and forms of sulphur applied on changes of soil agrochemical properties. Plant Soil Environ., 54(4), 171–177.

38. Bona, F. D. D., Fedoseyenko, D., Wiren, N. V., & Monteiro, F. A. (2011). Nitrogen utilization by sulfur-deficient barley plants depends on the nitrogen form. Environmental and Experimental Botany, 74, 237–244. doi: 10.1016/j.envexpbot.2011.06.005

39. Syrová, H., & Ryant, P. (2020). Effect of sulphur foliar application on yield and grain quality of selected malting barley varieties. Acta universitatis agriculturae et silviculturae brunensis mendelianae, 68(2), 351–359.

40. Zakharchenko, E. A. (2020). Vmist pozhyvnykh elementiv v roslynakh yachmenyu yaroho pry vnesenni fosfohipsu ta sulfatu amoniyu v umovakh chornozemu typovoho [Phosphogypsum and sulfate ammonium effect on the content of nutrient in spring barley under black soil condition]. Tendenze attuali della moderna ricerca scientifica: der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΌΓΟΣ» zu den Materialien der internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz, Stuttgart, Deutschland : Europäische Wissenschaftsplattform, 1, 102–104 (in Ukrainian). doi: 10.36074/05.06.2020.v1.40

41. Bayrakli, F. (1990). Ammonia volatilization losses from different fertilizers and effect of several urease inhibitors, $CaCl_2$ and phosphogypsum on losses from urea. Fertilizer Research, 23, 147–150 doi: 10.1007/BF01073430

42. Rzeczycka, M., Mycielski, R., Kowalski, W., & Gałazka, M. (2001). Biotransformation of phosphogypsum in media containing different forms of nitrogen. Acta Microbiologica Polonica, 50(3–4), 281–289.

43. Prochnow, L. I., Kiehl, J. C., Pismel, F. S., & Corrente, J. E. (1995). Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. Scientia Agricola, 52(2), 346–349. doi: 10.1590/S0103-0161995000200024

44. Skrylnyk, Ye., Kutova, A., & Filimonchuk, Ya. (2017). Zastosuvannya defekativ dlya pidvyshchennya rodyuchosti hruntiv. Propozytsiya. [Electronoc resource]. Access mode: https://propozitsiya.com/ua/zastosuvannya-kalciievmisnih-vidhodiv (in Ukrainian)

45. Davydchuk, M. I., Kisorets, P. F., & Hantsevska, N. A. (2013). Vplyv kaltsiyevmisnykh khimichnykh meliorantiv na fizyko-khimichni ta ahrokhimichni vlastyvosti temno-kashtanovoho vtorynno osolontsovanoho gruntu [Influence of calcium-containing chemical ameliorants on physicochemical and agrochemical properties of dark chestnut secondary saline soil. Naukovi pratsi. Ekolohiya [Ecology], 220(232), 50–54 (in Ukrainian).

46. Fageria, N. K., Santos, dos A. B. & Moraes, M. F. (2010). Influence of Urea and Ammonium Sulfate on Soil Acidity Indices in Lowland Rice Production. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41(13),1565–

1575, doi: 10.1080/00103624.2010.485237

47. Chien, S. H., Gearhart, M. M. & Villagarcia, S. (2011). Comparison of Ammonium Sulfate With Other Nitrogen and Sulfur Fertilizers in Increasing Crop Production and Minimizing Environmental Impact: A Review. Soil Science, 176, 327–335. doi: 10.1097/SS.0b013e31821f0816

48. Mahmoud, E., Baroudy, A. El., El-Kader, N. A., Othman, S. & Khamisy, R. E. (2017). Effects of Phosphogypsum and Biochar Addition on Soil Physical Properties and Nutrients Uptake by Maize yield in Vertic Torrifluvents. International Journal of Scientific & Engineering Research, 8(8), 1–27.

Захарченко Еліна Анатоліївна, *кандидат сільськогосподарських наук, доцент,Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна.*

Тунгуз Весна, *кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Університет Східного Сараєво, м. Сараєво, Боснія і Герцеговина.*

ВПЛИВ СУЛЬФАТУ АМОНІЮ ТА ФОСФОГІПСУ НА ДИНАМІКУ ПОЖИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА КИСЛОТНІСТЬ ЧОРНОЗЕМУ

Проблема накопичення фосфогіпсу у відвалах хімічних заводів в світі і, зокрема, в Україні, стоїть гостро вже декілька десятиліть. Екологічна ситуація кандидат сільськогосподарських наук, доцент, погіршується тим, що під його збереження відводяться все нові і нові площі. Негативним моментом при внесенні фосфогіпсу є надходження радіонуклідів та фтору у грунт та рослини, дрібні часточки розвіюються при високій швидкості вітру. Але, враховуючи наявність в ньому макро-, мезо- та мікроелементів, високу ціну на мінеральні добрив, зараз він вважається гарним добривом та меліорантом, особливо на солонцевих ґрунтах. Метою дослідження було дослідити ефективність сумісного внесення фосфогіпсу (Сумихімпром) та сульфату амонію у зростаючих дозах азоту 50–150 на динаміку азоту, фосфору, калію, кальцію та показник гідролітичної кислотності чорнозему типового середньосуглинкового. Збільшення азоту приводило до збільшення вмісту гідролізованої, нітратної та амонійної форм азоту в ґрунті. Максимальна забезпеченість ґрунту нітратним азотом характерна для першого строку відбору зразків, у фазу кущення. В цей час спостерігається і максимальна різниця між контролем та удобреними варіантами досліду. Внесення фосфогіпсу з N_{150} майже у три рази збільшив вміст нітратів у ґрунті. Варіанти з меншими дозами азоту також впливають на накопичення нітратів у шарах 0–20 і 20–40 см. Після збирання врожаю встановлено незначна різниця між контролем та удобреними варіантами (крім N_{150}) при загальному зниженні рівня забезпеченості нітратами до 0,1–0,2 мг/100 г ґрунту. Вплив добрив був меншим на вміст рухомого фосфору та обмінного калію. На удобрених варіантах спостерігається суттєве підвищення величини гідролітичної кислотності. Особливо воно помітно при дозуванні з азотом 120–125. На цих варіантах гідролітична кислотність як в орному, так і в підорному шарах перевищує 4 мг-екв/100 г ґрунту. Зміни у вмісті водорозчинного кальцію незначні, що можна пояснити тим, що розчинність сірчанокислого кальцію недостатньо висока і потрібен час для появи кальцію в іонному вигляді.

Ключові слова: *амонійний азот, нітратний азот, легкогідролізований азот, сульфат амонію, фосфогіпс, рухомий фосфор, обмінний калій, гідролітична кислотність.*

Дата надходження до редакції: 23.12.2020 р.