

## ВПЛИВ НОРМ ВИСІВУ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН СОРГО ЗЕРНОВОГО В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

**Коваленко Марина Олександрівна**

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3678-5220

marinavlad0050@gmail.com

**Жатова Галина Олексіївна**

кандидат сільськогосподарських наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-8606-6750

gzhatova@ukr.net

*Сорго є культурою з високою економічною цінністю, що використовується для харчових потреб, годівлі тварин та як товар для експорту. З сорго пов'язують можливі сценарії майбутнього аграрного виробництва в умовах кліматичних змін. Саме сорго, як стресогенно-стійка культура, може замінити традиційні зернові культури. Біологічні особливості сорго та перспективи вирощування культури в майбутньому привертають увагу багатьох дослідників в різних регіонах світу. Зважаючи на це, дослідження особливостей вирощування сорго в умовах Північно-східної України є на часі. Пошук оптимальної норми висіву та щільності рослин в агроценозі є основою отримання оптимального стеблестою, досягнення високої врожайності та високого прибутку. Для реалізації максимального потенціалу врожайності необхідна збалансована чисельність особин в популяції рослин, тобто певний рівень густоти посіву.*

*На сьогодні проведено недостатню кількість переконливих досліджень для розуміння ефективності вирощування сучасних удосконалених сортів сорго щодо їх реагування на густоту стеблестою рослин для інтенсифікації виробництва зерна цієї культури. З цією метою в 2020–2022 рр. у Сумському НАУ було закладено досліді з вивчення оптимальних норм висіву сорго зернового та впливу густоти стеблестою (структури агропопуляції) на ріст та розвиток рослин в умовах Північно-Східного Лісостепу України.*

*Вивчали вплив різних норм висіву на ріст та розвиток рослин сортів та гібридів сорго зернового (Янкі, Краєвид, Дніпровський 39, Самаран 6). Отримані дані показали, що зі збільшенням густоти стояння кількість листків на одній рослині істотно зменшувалася за всіма варіантами досліді в усіх сортозразків. Загущення стеблестою (норма висіву 490 тис.га) призводило до збільшення висоти рослин, негативно впливало на площу листової поверхні рослин (зменшується кількість листків та їх площа) та вміст пігментів (хлорофілу а та в) в листках. Оптимальною нормою висіву щодо формування вегетативних органів рослин та асиміляційної поверхні була 165 тис/га. Разом з тим, неоднозначна реакція сортозразків на певні варіанти норм висіву вказує на необхідність проведення додаткових досліджень.*

**Ключові слова:** сорго зернове, сорти, норми висіву, густота стояння рослин, площа листків, розвиток рослин, вміст хлорофілу.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.4>

**Вступ.** Сорго є культурою з високою економічною цінністю, що використовується для харчових потреб, як корм та товар для експорту. З сорго пов'язують можливі сценарії майбутнього аграрного виробництва в умовах кліматичних змін. Очікується, що підвищення температури та посуха як наслідки кліматичних змін, створять гострі проблеми для виробництва, особливо зернових культур. Саме сорго (*Sorghum bicolor* L. Moench) як стресогенно-стійка культура може замінити традиційні зернові у майбутньому. Біологічні особливості та технологічні аспекти вирощування сорго привертають увагу багатьох дослідників в різних регіонах світу та країнах Європи. Зважаючи на це, дослідження особливостей вирощування сорго в умовах Північно-Східної України є на часі.

Пошук оптимальної норми сівби та щільності рослин в агроценозі є основою отримання оптимального стеблестою, досягнення високої врожайності та максималь-

ного прибутку (Widdicombe & Thelen, 2002). Для реалізації максимального потенціалу врожайності необхідна збалансована чисельність особин в популяції рослин, тобто певний рівень густоти посіву. Надмірна кількість рослин може бути згубною для виробництва, призвести до надмірного вилягання та загальної втрати врожаю (Thomison & Jordan, 1995).

За загущення посіву набуває значення конкуренція між рослинами за світло, воду та поживні речовини, що негативно позначається на врожайності (Berenguer & Faci, 2001; Caliscan et al., 2007; Li et al., 2016). Надто низька кількість особин в популяції спричиняє посилення конкуренції з бур'янами (Norsworthy & Oliver, 2002) і також знижує можливості реалізації потенціалу врожайності (Edwards & Purcell, 2005).

Зміна чисельності популяції рослин та їх розташування (зокрема за рахунок ширини міжрядь) має різні, але взаємодоповнюючі впливи щодо використання

доступних ресурсів, і зрештою визначатиме врожайність. Чисельність особин в популяції обумовлює ефективність розподілу ресурсів, у той час як розташування рослин контролює споживання цих ресурсів (Jones, 1987).

Встановлено, що оптимальна щільність рослин в ценозі залежить від особливостей культури (Biswas & Ahmed, 2014). Норма висіву насіння та ширина міжрядь є важливими факторами при вирощуванні культури сорго, які впливають на густоту стеблестою та параметри врожайності. Разом з тим, вплив ширини міжрядь та структури популяції рослин на врожайність зерна сорго змінюється залежно від низки абіотичних факторів, зокрема сумарної температури, наявності початкової ґрунтової вологи, загальної кількості опадів і особливо – вологості ґрунту під час цвітіння та наливання зерна.

Хоча оптимальна норма сівби та щільність рослин для сорго відрізняються залежно від регіону, дослідження показали, що врожайність насіння загалом зростає зі збільшенням чисельності рослин в популяції. Проте при нижчій, за рекомендовану, густоті рослин, кількість волотей зернового сорго на рослину або кількість насіння на волоть також збільшується.

Myers & Foale (1981) дійшли висновку про відсутність постійного зв'язку між чисельністю популяції рослин і врожайністю, що ймовірно, пов'язане з компенсаторною здатністю рослин до куціння. Доведено, що оптимальний діапазон щільності для врожайності зерна є досить широким для культур із термінальними суцвіттями та потужною здатністю до утворення бічних пагонів за нормальної густоти посіву. Така особливість притаманна, зокрема, культурі сорго. Збільшення чисельності популяції рослин призводить до зменшення кількості бічних пагонів (Caliskan et al., 2007), висоти рослини (Ayub et al., 2003) та діаметра стебла, але при цьому врожайність зерна з одиниці площі зростає (Caliskan et al., 2007; Krishnareddy et al., 2006).

Ширина міжрядь також впливає на здатність рослин реалізувати потенціал врожайності (Silva et al.). Зменшення відстані між рядами покращує боротьбу з бур'янами за рахунок збільшення конкуренції і зменшення надходження світла (Andrade et al., 2002). Зміна ширини міжрядь впливає на перехоплення світла та використання вологи в ґрунті (Berenguer & Faci, 2001; Conley et al., 2005). Реакція рослин на ширину міжряддя залежить від наявності води та часом цвітіння в посушливих регіонах (Silva et al., 2017; Tang et al., 2018).

В досліджах показано, що популяція рослин сорго в посушливих районах має складати приблизно 50–80 тис. рослин/га. Про аналогічні результати повідомляє Gondal et al. (2018) і наводить оптимальну густоту стояння 60–80 тис. рослин/га. Разом з тим повідомляється, що популяція рослин для зрощуваного сорго повинна складати до 250 тис. рослин/га та близько 50 тис. рослин/га в посушливих умовах. (Ajidahun & Sebetha, 2022).

Експеримент з вивчення впливу норми висіву (5; 7,5; 10; 12,5 і 15 кг/га) і ширини міжрядь (30, 45 і 60 см) на основні характеристики рослин сорго показали, що ширина міжрядь не мала істотного впливу на діаметр

стебла, кількість волотей на рослину та масу 1000 зерен. Висота рослин зростала зі збільшенням норми висіву насіння в усіх варіантах ширини міжрядь. Вузькі міжряддя (30 см) і низька норма висіву (5 кг/га) забезпечили стабільно максимальний урожай зерна. Нижча врожайність була зареєстрована в варіантах із більшою шириною міжрядь (60 см) і вищими нормами висіву (7,5; 10; 12,5 і 15 кг/га).

В умовах Лівобережної Лісостепової зони України (ширина міжрядь: 35, 50 та 70 см) максимальний урожай для всіх гібридів був сформований за ширини міжрядь 50 см (Kalenska et al., 2018).

Оптимальна ширина міжрядь та норма висіву насіння сортів сорго зернового становила 45 см та нормою висіву 200 тис. шт./га в умовах Правобережного Лісостепу України, саме такі варіанти забезпечили найінтенсивніший ріст і розвиток рослин. Зменшення ширини міжрядь до 15 см і збільшення до 70 см призводило до зниження основних параметрів росту й розвитку сорго (Pravdyva, 2021).

На сьогодні проведено недостатню кількість переконливих досліджень для розуміння ефективності вирощування сучасних удосконалених сортів сорго щодо їх реагування на густоту стеблестою рослин для інтенсифікації виробництва зерна цієї культури.

З цієї метою в 2020–2022 рр. у Сумському НАУ було закладено досліди з вивчення оптимальних норм висіву сорго зернового та впливу густоти стеблестою (структури агропопуляції) на ріст та розвиток рослин в умовах Північно-східного Лісостепу України.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводилися на навчально-науковому полігоні кафедри агротехнологій та ґрунтознавства Сумського національного аграрного університету. Розмір облікової ділянки 1,5 x 9 = 13,5 м<sup>2</sup>. Двофакторний польовий дослід був закладений методом рендомізованих ділянок. Фактор А – сорти та гібриди сорго зернового: Янкi, Краєвид, Дніпровський 39, Самаран 6. Фактор В – норма висіву насіння (табл. 1). Кількість варіантів у досліді – 12, загальна кількість ділянок у досліді – 36. Всі основні і допоміжні дослідження проводили у триразовій повторності. Попередник – пшениця озима. Агротехніка вирощування сорго зернового в польовому досліді була загальноприйнята для зони Північно-східного Лісостепу.

Таблиця 1

Схема досліді

Фактор А сорт/гібрид	Фактор В (норма висіву насіння)		
Янкi	165 тис/га	330 тис/га	490 тис/га
Краєвид			
Дніпровський 39			
Самаран 6			

Матеріал досліджень – сорти та гібриди сорго зернового.

Сорт Краєвид. Оригіатор – Державна установа Інститут сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України. Напрямок використання: зерновий, фуражний, харчовий. Реко-

мендована зона для вирощування: Степ. Група стиглості: середньоранній. Урожайність: 3,2–4,6 тон/га. Рік реєстрації: 2004.

Сорт Дніпровський 39. Оригіатор – Синельниківська селекційно-дослідна станція Інституту сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України. Напрямок використання: фуражний, харчовий. Рекомендована зона для вирощування: Степ. Група стиглості: середньостиглий. Урожайність: 6,5–7,0 тон/га. Рік реєстрації: 2000.

Гібрид Янкі. Оригіатор – Адванта Сідз Інтернешнал (США). Напрямок використання: зерновий. Якість: висококормовий. Рекомендована зона для вирощування: Лісостеп. Група стиглості: ранньостиглий. Потенціал врожайності – до 10 т/га. Рік реєстрації: 2016.

Сорт Самаран 6. Оригіатор – Інститут сільського господарства степової зони НААН України. Напрямок використання: харчовий. Рекомендована зона для вирощування: Степ. Група стиглості: ранньостиглий. Продуктивність: 3,5–4,8 тон/га. Сорт посухостійкий, стійкий до вилягання, хвороб і шкідників. Рік реєстрації: 2006.

Закладення та проведення дослідів, відбір ґрунтових і рослинних зразків, підготовку їх до аналізу проводили відповідно до методичних вказівок та Державних стандартів України [Volkodav, 2000; Hrytstaienko et al., 2003].

Упродовж вегетаційного періоду в основні фази розвитку сортів і гібридів сорго проводили біометричні виміри: висоти рослин, площі листової поверхні. Густоту посівів визначали два рази за вегетацію на фіксованих ділянках, які виділили після появи сходів. Перший підрахунок проводили у фазу повних сходів, другий – перед збиранням урожаю. За даними першого обліку визначали польову схожість насіння і формували густоту згідно схеми дослідів, а другого – збереженість рослин за вегетаційний період.

Висоту рослин, площу асиміляційної поверхні листків визначали в основні фази росту та розвитку рослин сорго. Висоту рослин вимірювали до фази цвітіння – від поверхні ґрунту до верху самого довгого (витягнутого) листка, після фази викидання волоті – від поверхні ґрунту до верхньої кінцівки волоті.

Статистична обробка даних здійснювалась шляхом дисперсійного аналізу за допомогою комп'ютерних програм «MSTAT» та «Agrobases».

**Результати.** Висота рослин є важливим морфологічним параметром сорго. Відомо, що затінення збільшує висоту рослин сорго та довжину міжвузлів стебла. (Кеврон, 2017) Висота рослин залежить від густоти стеблестю та сортових особливостей. Низькорослі генотипи показують кращі результати за високої щільності стояння, а високорослі генотипи кращі за нижчою

Проведені дослідів показали, що висота рослин варіювала залежно від сорту та норм сівби. Аналіз наведених даних дає можливість зробити висновок, що всі досліджувані сорти і гібриди сорго зернового належать за габітусом до компактною групи, а через це сортозразки практично не відрізняються між собою за висотою (табл. 2).

Цей параметр був найменшим у сортів на варіанті з нормою висіву 165 тис/га і варіював від 109 см (Краєвид) до 125,6 см. (Дніпровський 39). Висота збільшувалася зі збільшенням норми висіву і досягала максимальних значень в варіанті 490 тис/га: Самаран – 119,6 см, Краєвид – 116,7 см.

Таблиця 2

**Висота рослин сорго зернового в фазу молочної стиглості, залежно від норм висіву, см (середнє за 2021–2022 рр.)**

Сорт/гібрид	Норма висіву (тис/га)		
	165	330	490
<b>Висота рослин, см</b>			
Янкі	96,3	97	91,6
Краєвид	109	112,3	116,7
Дніпровський 39	125,6	134	130,7
Самаран 6	112,3	112	119,6
НІР <sup>005</sup> А*		4,72	
НІР <sup>005</sup> В*		4,09	
НІР <sup>005</sup> загальна		6,18	

\*А – сорт; \*В – норма висіву

Рослини гібриду Янкі відзначалися іншою реакцією на норму висіву: висота знижувалася тільки в варіанті 490 тис./га – на 5 %.

Разом з тим цей параметр рослин збільшувався зі збільшенням густоти стояння рослин і досягав максимуму при нормі висіву 330 тис/га в сорту Янкі – 97 см, а також в сорту Дніпровський 39–134 см. Фактор А був визначальним щодо показника висоти рослин і частка його впливу становила 76%, а норма висіву – фактор В – лише 10% (рис. 1). Такі результати пояснюються значними морфологічними відмінностями сортів незалежно від особливостей вирощування.

Листки є основними еко-фізіологічними органами рослини, продуцентами асимілянтів (вуглеводів). Майже 90% біомаси рослини виробляється листками. Оскільки листки є органами фотосинтезу та місцем створення основної частини біомаси, кількість листків впливає на врожайність.

Результати обліків кількості листків на одній рослині залежно від особливостей сортозразків та норми висіву наведені в табл. 3.



**Рис. 1. Частка впливу факторів на висоту рослин сорго**

Таблиця 3

**Кількість листків рослин сорго залежно від норм сівби, шт. (середнє за 2021–2022 рр.)**

Сорт/гібрид	Норма висіву (тис/га)		
	165	330	490
	Кількість листків, шт.		
Янкі	23	22	15
Краєвид	22	17	16
Дніпровський 39	22	21	15
Самаран 6	27	16	14
НІР <sub>005</sub> А*	3,72		
НІР <sub>005</sub> В*	3,22		
НІР <sub>005</sub> загальна	6,44		

\*А – сорт; В – норма висіву

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що зі збільшенням густоти стояння кількість листків на одній рослині істотно зменшувалася за всіма варіантами досліду. Активна реакція на норми висіву була відзначена у всіх сортозразків: зменшення кількості листків на одну рослину відбувалося зі збільшенням норми висіву. За максимальної норми висіву 490 тис./га цей показник коливався від 7 шт. у сорту Дніпровський 39 (різниця між крайніми варіантами цього сорту становила 32%) до 13 шт. на рослину у сорту Самаран 6 (різниця між варіантами була 48 %).

Площа листків є ключовою ознакою, яка використовується в дослідженнях, характеризує співвідношення між асиміляційною поверхнею рослини та рівнем врожайності. Зростання площі листків визначає здатність культури перехоплювати світло і часто використовується для оцінки росту і розвитку рослин. Чим ближче відстань між рослинами, тим меншою буде загальна площа листової поверхні, через взаємне затінення листків. При визначенні площі листків у рослин сорго встановлено, що у сорту Самаран, Дніпровський 39 та гібриду Янкі фіксували зменшення площі листків зі збільшенням норми висіву (від 0,82 до 0,57), від 1,01 до 0,62 та від 0,9 до 0,52 м<sup>2</sup> (табл. 4)

Таблиця 4

**Площа листової поверхні рослин сорго залежно від норм висіву, м<sup>2</sup> (середнє за 2021–2022 рр.)**

Сорт/гібрид	Норма висіву (тис/га)		
	165	330	490
	Площа листової поверхні, м <sup>2</sup>		
Янкі	0,82	0,79	0,57
Краєвид	1,04	0,62	1,06
Дніпровський 39	1,01	0,63	0,62
Самаран 6	0,9	0,43	0,52
НІР <sub>005</sub> А*	0,23		
НІР <sub>005</sub> В*	0,20		
НІР <sub>005</sub> загальна	0,39		

\*А – сорт; В – норма висіву

Менш виразною була реакція рослин сорту Краєвид на фактор норм висіву. Визначення впливу окремих факторів, що вивчалися в досліді на асиміляційну площу рослин показало, що найбільший вплив мав фактор В – норми висіву – 23% (рис. 2). Особливості сортів були вторинними і вплив фактора А становив 14%.



Рис. 2. Вплив факторів на площу листової поверхні

Як рослина С4 типу, сорго має високу фотосинтетичну ефективність, а також високу ефективність синтезу вуглеводів порівняно з рослинами С3. Хлорофіл як основний компонент пігментної системи листків є важливим інформативним показником загального стану рослини. Визначення вмісту хлорофілу в листках можна використовувати для дослідження фізіологічного статусу рослин. Вміст хлорофілу – важлива ознака, пов'язана зі здатністю до фотосинтезу та стадіями розвитку культури. існує певний зв'язок між вмістом хлорофілу і продуктивністю рослин. Основна роль при цьому належить хлорофілу «а». Цей показник вважається характеристикою ценозу і співвідношення пігментів в листках може бути використане для прогнозування продуктивності.

Колівання вмісту цього пігменту пов'язані з дією несприятливих факторів. Як правило, зі збільшенням рівня дії стресогенних факторів будь-якої природи вміст хлорофілу має тенденцію до зменшення. Тому вивчення вмісту хлорофілу та його ролі в урожайності та виробництві сорго є вкрай важливим.

При проведенні аналізу вмісту пігментів в листках сорго було виявлено, що максимальний вміст хлорофілу «а» був у рослин сорту Самаран 6–0,91 мг/г на варіанті з нормою висіву 165 тис./га. (табл. 5).

У всіх сортів спостерігали тенденцію до зниження вмісту цього пігменту зі збільшенням норми висіву: на 13% – сорт Самаран 6, на 6% – гібрид Янкі та сорт Дніпровський, 5% – сорт Краєвид.

Вміст хлорофілу «а» знижувався зі збільшенням норм сівби від 0,91 (сорт Самаран 6) до 0,79 мг/г. Що стосується вмісту хлорофілу «в», то зниження цього пігменту прослідковувалось більш чітко: від 1,35–1,25 мг/г (Янкі), від 1,27–1,21 мг/г (Краєвид), 1,31–1,20 мг/г (Дніпровський 39), 1,26–1,23 мг/г – Самаран. Найменші значення вмісту цього пігменту були на варіанті з найбільшою нормою висіву – 490 тис./га.

**Обговорення.** Диференційоване просторове використання ресурсів, а саме сонячної радіації, води та поживних речовин, тісно пов'язане з густотою стояння рослин в посіві. Система конфігурації рядів або загушення рослин змінює кількість світла, що надходить до нижнього ярусу листків, і впливає на конкуренцію видів за світло, воду та поживні речовини. Подовження стебла, викликане затіненням або підвищеною густотою посіву, збіль-

Вміст фотосинтетичних пігментів у рослин сорго залежно від норм висіву насіння, мг/г.

Сорт/гібрид	Норма висіву (тис/га)					
	165		330		490	
	Вміст хлорофілу "а", мг/г	Вміст хлорофілу "b", мг/г	Вміст хлорофілу "а", мг/г	Вміст хлорофілу "b", мг/г	Вміст хлорофілу "а", мг/г	Вміст хлорофілу "b", мг/г
Янкі	0,88	1,35	0,79	1,31	0,83	1,25
Краєвид	0,84	1,27	0,82	1,23	0,80	1,21
Дніпровський 39	0,90	1,31	0,86	1,28	0,81	1,20
Самаран 6	0,91	1,26	0,85	1,23	0,79	1,23

шує висоту, допомагаючи конкурувати з сусідніми рослинами за сонячне світло, зменшує галузнення (кущіння) і викликає ранній початок старіння листків.

В наших досліджах відмінності за кількістю та площею листків між сортами визначалися взаємодією сорту та факторів навколишнього середовища, що співпадає з результатами дослідів деяких науковців (Saber & Siti Aishah, 2013).

Повідомляють, що сорти з довшою тривалістю вегетації мають вищі значення площі листової поверхні (Lukeba et al., 2013), оскільки утворюють більшу кількість листків великого розміру. Між кількістю, довжиною і площею листків існує лінійна залежність (Parmar & Chandra, 2002).

Затінення спричиняє зміни у співвідношенні насамперед фоторецепторів червоного світла (фітохромів), які опосередковують реакції уникнення затінення. Генотипи сорго, у яких відсутній фітохром В (phyB-1), демонструють фенотипи уникнення затінення, тобто зниження кущіння, раннє цвітіння, посилений ріст пагонів, накопичення гібереліну та посилений біосинтез етилену (Franklin & Whitelam, 2005).

Кількісне визначення вмісту хлорофілу в листках рослини відображає ефективність фотосинтезу конкретної рослини, а на певному етапі також характеризує стадію зрілості рослини. За несприятливих умов навколишнього середовища знижується не тільки вміст хлорофілу в рослині сорго, а й інші параметри, а саме: висота рослини, кількість листків (Ouyier et al., 2017; Karanigowda et al., 2013). В наших досліджах в якості такого параметру можна розглядати високу норму висіву, яка формує загущений посів і призводить до зниження кількості листків та зниження вмісту хлорофілу.

Ряд дослідників (Maulana & Tesso, 2013) вважають, що пізня сівба може пригнічувати біосинтез хлорофілу

та швидкість фотосинтезу і негативно впливає на ріст і розвиток, що призводить до зниження кінцевої продуктивності рослини цукрового сорго. Зв'язок вмісту хлорофілу в листках і хлорофільного індексу з урожайністю встановлено і на інших культурах. Тіснує кореляцію між сумою фракцій хлорофілу а і b та продуктивністю рослин виявлено під час досліджень, проведених на рослинах пшениці твердої ярої (Rozkov & Pusik, 2013).

Розмір і стабільність фотосинтетичного апарату не тільки важливі для фотосинтетичної функції, але і є джерелом регуляторних сигналів, за межами хлоропластів. Особливу роль відіграє хлорофіл b (Chlb) у регуляції розвитку рослин. Chlb – облігатний компонент фотосинтетичного апарату вищих рослин та основний регулятор процесів біосинтезу. Однак, як показують дослідження, крім пригнічення фотосинтетичної функції, відсутність хлорофілу «b» викликає затримку цвітіння та передчасний запуск програм онтогенетичного та індукованого старіння. Тенденція до зниження вмісту хлорофілу «b» при загущенні посіву в наших досліджах ілюструє негативну реакцію рослин на дію цього фактору.

**Висновки.** Вивчення впливу норм висіву та особливостей сортозразків сорго показало, що ці фактори змінювали кількісні показники параметрів вегетативної сфери рослин. Висока норма висіву (490 тис./га) призводила до збільшення висоти рослин. Зі збільшенням норм висіву зменшується кількість листків та площа листової поверхні у всіх сортів. Негативним був вплив і на вміст пігментів в листках. Оптимальні показники асиміляційного апарату рослин було відмічено в варіанті з найнижчою нормою висіву 165 тис./га. Разом з тим, неоднозначна реакція сортозразків на певні варіанти норм висіву вказує на необхідність проведення додаткових досліджень.

#### Бібліографічні посилання:

1. Andrade, F. H., Calvino P., Cirilo, A. & Baebieri, P. (2002). Yield responses to narrow row depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94(10), 113–118.
2. Ajidahun, J. A. & Sebetha, E. T. (2022) Sorghum Grain Quality as Influenced by Plant Density, Nitrogen Nutrition and Cultivar. *Indian Journal of Agricultural Research*, 56, 177–182. doi: 10.18805/IJARE.A-656
3. Arunakumari, H. & Rekha S. (2016). Plant density and nitrogen in sorghum. *International Journal of Science Natural*, 7(4), 702–706
4. Berenguer, M. J. & Faci J. M. (2001). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. *European Journal of Agronomy*, 15, 43–55.
5. Caliskan, S., Aslan, M., Uremis, I., & Caliskan, M. E. (2007). The effect of row spacing on yield and yield component of full season and double cropped soybean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 147–154.
6. Carriedo, L. G., Maloof, J. N. & Brady, S. M. (2016). Molecular control of crop shade avoidance. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 30, 151–158.

7. Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A. & Miron, J. (2006) Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 120–132.
8. Carlos, J., Dan, F., Fromme, D. & W. James Grichar (2012) Grain sorghum response to row spacing and plant populations in the Texas coastal bend region., *International Journal of Agronomy*, 2012, Article ID 238634. doi: 10.1155/2012/238634
9. Conley, S. P., Stevens, W. G., & Dunn, D. D. (2005) Grain sorghum response to row spacing, plant density, and planter skips. *Crop Management*.
10. Christopher, E. Rouse, Nilda R. Burgos, Vijay Singh & Larry Earnest (2020) Evaluation of sweet sorghum planting density and minimal nitrogen input, under irrigated and non-irrigated conditions, for bioethanol feedstock production, *Biofuels*, 11(5), 577–586. doi: 10.1080/17597269.2017.1378992
11. Dembele, J. S. B., Gano B, Vaksmann, M., Kouressy M., Dembele, L.L., Doumbia, M., Teme, N., Diouf, D. & Audebert, A. (2020) Response of eight sorghum varieties to plant density and nitrogen fertilization in the Sudano-Sahelian zone in Mali. *African Journal of Agricultural Research*, 16(10), 1401–1410. doi: 10.5897/AJAR2020.15025
12. Franklin, K. A. & Whitelam, G. C. (2005). Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot.* 96, 169–175.
13. Jones, O. R. & G. L. Johnson (1991) Row width and plant density effects on Texas High Plains sorghum, *Journal Production Agriculture*, 4, 613–621.
14. Gondal, M., Hussain, A., Yasin, S., Musa, M., & Rehman, H. (2018). Effect of seed rate and row spacing on grain yield of sorghum. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(2), 81–91. doi: 10.3329/sja.v15i2.35154
15. Hrytsaienکو, Z. M Hrytsaienکو, A. A. & Karpenko, V. P. *Metody biologichnykh ta ahronomichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv*. [Methods of biological and agronomic research of plants and soils]. Kyiv, Nichlava, 2003, 320. (in Ukrainian)
16. Kebrom, T. H. & Mullet, J. E. (2016). Transcriptome profiling of tiller buds provides new insights into PhyB regulation of tillering and indeterminate growth in sorghum. *Plant Physiol.* 170, 2232–2250. doi: 10.1104/pp.16.00014
17. Kebrom, T. H. (2017). A growing stem inhibits bud outgrowth—the overlooked theory of apical dominance. *Front. Plant Sci.*, 8, 1874. doi: 10.3389/fpls.2017.01874
18. Kalenska, S. M., & Naidenko, V. M. (2018). Urozhainist sorho zernovoho zalezno vid shyryny mizhriad ta systemy udobrennia [Harvest of grain sorghum depending on the width of the rows and the fertilization system]. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 26, 67–75. (in Ukrainian). doi: 10.47414/np.26.2018.211203
19. Kapanigowda, M. H., Perumal, R., Djanaguiraman, M., Aiken, R.M., Tesso, T., Prasad, P. V.V. & Little, C. R. (2013). Genotypic variation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] exotic germplasm collections for drought and disease tolerance. *Springer Plus*, 2, 2–13.
20. Karazhbei, H. M., & Tehun, S. V. (2012). Produktyvnist sorho zvychainoho dvokolorovoho (*Sorghum bicolor* L.) zalezno vid rivnia mineralnoho zhyvlennia ta hustoty stoiannia. [Productivity of two-color sorghum (*Sorghum bicolor* L.) depending on the level of mineral nutrition and plant density] *Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 67–70. (in Ukrainian).
21. Lafarge, T.A. & Hammer, G. L. (2002). Predicting crop leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning, and leaf area ratio, are stable for a range of sorghum population densities. *Field Crops Research*, 137–151.
22. Lukeba J.-C. L., Vumilia R.K, Nkongolo K.C.K., Mwabila M. L., & Tsumbu, M. (2013) Growth and Leaf Area Index Simulation in Maize (*Zea mays* L.) Under Small-Scale Farm Conditions in a Sub-Saharan African Region”, *American Journal of Plant Sciences*, 4 (3), 575–583. doi:10.4236/ajps.2013.43075
23. Maulana, F. & Tesso, T. T. (2013). Cold temperature episode at seedling and flowering stages reduces growth and yield components in sorghum. *Crop Science*, 53, 564–574.
24. Myers, R. J. K. & M. A. Foale (1981). Row spacing and population density in grain sorghum: a simple analysis. *Field Crops Res.*, 4, 147–154.
25. Oyier, M. O., Owuochi, J.O., Oyoo, M. E., Cheruiyot, E., Mulianga, B. & Rono, J. (2017). Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*, Article ID 8249532, 10 pages. doi: 10.1155/2017/8249532
26. Parmar, N.G. & S.V. Chandra (2002). Growth analysis using curve fitting method in early and late son sunflower. *Planr Breeding and Seed Science* 46(1), 61–69.
27. Pravdyva, L. A. (2021). Features of growth of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] plants depending on the width of rows and seeding rate in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(2), 139–145. doi: 10.21498/2518-1017.17.2.2021.236521
28. Rozhkov, A. O. & Puzik, V. K. (2013.) *Dynamika formuvannia pihmentnykh rehovyn u lystkakh roslyn pshenytsi tverdoi yaroj za dii riznykh variantiv tsenotychnoi napruhy mizh roslynamy v posivakh* [The dynamics of the formation of pigment substances in the leaves of durum spring wheat plants under the influence of different variants of the coenotic tension between plants in crops]. *Bulletin of the Poltava State Academy*, 3, 7–12 (in Ukrainian).
29. Saberi A. R. & Siti Aishah H. (2013) Nutrient Concentration of Forage Sorghum (*Sorghum Bicolor* L) Varieties Under Influenced Of Salinity and Irrigation Frequency. *The International Journal of Biotechnology*. Pak Publishing Group, 2(10), 163–170.
30. Sana Qasim Hussein, & Ali Kareem Hussein. (2021). Effect of Plant Densities on Some Growth Traits of Varieties of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench). *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 4455–4463. Access mode: <https://www.annalsofscb.ro/index.php/journal/article/view/1941>
31. Schwechheimer, C. & Willige, B. C. (2009) Shedding light on gibberellic acid signalling. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 12, 57–62.

32. Silva, J. M. F. D., Dutra, A. S., Camara, F. T. D.a, Pinto, A. A., & Silva, F. E. D.a (2017). Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47, 408–415. doi: 10.1590/1983-40632017v474858
33. Stamm, P. & Kumar, P. P. (2010). The phytohormone signal network regulating elongation growth during shade avoidance. *J. Exp. Bot.*, 61, 2889–2903
34. Tang, C., Sun, C., Du, F., Chen, F., Ameen, A., Fu, T. & Hui Xie G. (2018). Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid Marginal Land. *Sugar Tech.*, 20, 312–322. doi: 10.1007/s12355-017-0553-3
35. Thomison, P. R. & Jordan, D. M. (1995) Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. *Journal of Production Agriculture*, 8, 394–400. doi: 10.2134/jpa1995.0394
36. Volkodav V. V. *Metodyka sortovyprobuvannia s.-h. kultur / V. V. Volkodav, A. V. Andrushchenko, A. V. Pilkevych. [Methodology of crop variety testing]. Kyiv, 2000. – 100 (in Ukrainian)*
37. Yu, K. M. J., McKinley, B. & Rooney, W. L. (2021). High planting density induces the expression of GA3-oxidase in leaves and GA mediated stem elongation in bioenergy sorghum. *Sci Rep.*, 11, 46. doi: 10.1038/s41598-020-79975-8
38. Wang, Y., Sun, J., Ali, Sameh S.; Gao, L.; Xingnan, N., Xia, L., Yanfang, W. & Jianxiong, J. (2020). Identification and expression analysis of *Sorghum bicolor* gibberellin oxidase genes with varied gibberellin levels involved in regulation of stem biomass. *Ind. Crops Prod.*, 145, 111951.

**Kovalenko M.O.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Zhatova H.O.**, PhD (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Influence of sowing rates on the growth and development of grain sorghum in North-Eastern part of Ukraine**

*Sorghum is a crop with high economic value, used for food needs, animal feed and as a commodity for export. Sorghum is associated with possible scenarios of future agricultural production in the conditions of climate change. It is sorghum, as a stress-resistant crop, that can replace traditional grain crops.*

*The biological features of sorghum and the future prospects of crop growing attract the attention of many researchers in different regions of the world. Considering this, the study of the sorghum characteristics in the conditions of North-Eastern Ukraine is relevant. The search for the optimal sowing rate and plant density in the agrocenosis is the basis for obtaining the optimal crop, achieving high yield and maximum profit. To realize the maximum yield potential, a balanced number of individuals in the plant population is necessary, i.e. a certain level of sowing density. For this purpose, in 2020–2022, experiment was carried out with sorghum crop. The aim of it was to study the optimal sowing rates of grain sorghum and the influence of stem density (agropopulation structure) on the growth and development of plants in the conditions of the North-Eastern Forest Steppe of Ukraine. The influence of different sowing rates on grain sorghum varieties and hybrids was investigated (Yanki, Kraevydy, Dniprovskiyi 39, Samaran 6) by analyzing the growth and development characteristics of plants. The obtained data showed that with an increase in the stand density, the number of leaves per plant decreased significantly in all variants of the experiment in all variety samples. Thickening with stalks (sowing rate of 490 th/ha) led to an increase in the height of plants, negatively affected the area of the leaf surface of plants (the number of leaves and their area decreased) and the content of pigments (chlorophyll a and chlorophyll c) in the leaves. The optimal sowing rate for the formation of vegetative organs of plants and the assimilation area was 165 th/ha. At the same time, the ambiguous reaction of the variety samples to certain options sowing rates indicates the need for additional research.*

**Key words:** grain sorghum, sowing rates, growth parameters, plant density, chlorophyll content, plant development.