

ФОРМУВАННЯ ГУСТОТИ РОСЛИН РІПАКУ ОЗИМОГО ЗАЛЕЖНО ВІД РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ВИРОЩУВАННЯ

С. С. Юрчук

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, проспект Юності, 16, м. Вінниця, 21100, Україна

Актуальність. Формування густоти стояння рослин є визначальним чинником ефективного використання потенціалу при вирощуванні ріпаку озимого в умовах кліматичних ризиків і обмежених ресурсів. Вивчення її залежності від способу сівби, норми висіву та агрофону обґрунтовує адаптивний підхід до підвищення продуктивності посівів. **Мета досліджень** – дослідження впливу способу сівби, норми висіву та рівня мінерального живлення, а також їхньої взаємодії на формування густоти стояння рослин ріпаку озимого, з подальшим обґрунтуванням оптимальних технологічних параметрів для забезпечення стабільної структури посівів та підвищення ефективності агроценозу. **Матеріали та методи.** У досліджах використовували два генотипи ріпаку озимого – сорт Антарія і гібрид Ексагон. Вивчали два способи сівби (звичайний рядковий (15 см) та широкорядний (45 см)), чотири норми висіву 0,4; 0,6; 0,8 та 1,0 млн. схожих насінин/га,у, три варіанти агрофону: контроль (без добрив), внесення мінерального живлення ($N_{120}P_{60}K_{90}$) і добрива ($N_{120}P_{60}K_{90}$) в поєднанні з регулятором росту Карамба. Польові (фенологічні спостереження, обліки густоти на різних фазах розвитку), лабораторні (визначення схожості, польової схожості, показників збереження після зими), математичні та статистичні (дисперсійний, регресійний та графоаналітичний аналіз). **Результати.** Встановлено, що густота стояння рослин ріпаку значною мірою залежить від поєднання технологічних факторів. Гібрид Ексагон більш чутливий до агрофону, порівняно з сортом Антарія, що проявлялося в більш високих показниках збереження рослин і адаптивності до змін технологічних умов. Побудована модель множинної регресії показала статистично достовірну залежність густоти від норми висіву, агрофону та їх взаємодії, що дозволяє прогнозувати оптимальні параметри густоти перед збиранням. **Висновки.** Встановлено, що найбільш стабільна й ефективна густота рослин формується за умови поєднання широкорядної сівби з нормою висіву 0,8–1,0 млн насінин/га та використанням добрив у поєднанні з регулятором росту. Результати мають практичне значення для впровадження і можуть бути використані для вдосконалення норм висіву й системи удобрення з урахуванням біологічних особливостей сорту чи гібрида.

Ключові слова: ріпак озимий, густота рослин, норма висіву, способи сівби, сорт, гібрид, модель множинної регресії

Вступ. Ріпак озимий (*Brassica napus* L.) є однією з провідних олійних культур у світовому та вітчизняному землеробстві, який відіграє вагомий роль у харчовій, технічній і кормовій галузях. Висока рентабельність вирощування, багатофункціональність продукції та здатність до адаптації в умовах помірного клімату зумовлюють зростання інтересу до інтенсифікації технологій вирощування цієї культури [1, 2]. У сучасних агро-економічних умовах важливого значення набуває удосконалення технологічних прийомів, спрямованих на формування оптимальної структури посіву, зокрема – ефективної густоти стояння рослин, яка є одним з ключових чинників урожайності ріпаку.

Проблема ефективного використання

агроекологічного потенціалу, як складової природно-ресурсного комплексу, набуває особливої актуальності в умовах обмеженості ресурсів й кліматичних викликів. Агроекологічний потенціал регіону визначається здатністю ґрунтів, біоти, кліматичних і гідрологічних умов забезпечувати сталу біологічну продуктивність без ризику деградації екосистем. Тому, на перший план виходить питання адаптивності агротехнологій до конкретних умов вирощування культури [3–5].

Незважаючи на зростання площ посіву ріпаку озимого в Україні, галузь його вирощування існує переважно на екстенсивній основі. Середній рівень урожайності значно поступається світовим показникам, а відставання складає 40–50 %. Зростання ефектив-

Інформація про автора:

Юрчук Сергій Степанович, науковий співробітник лаб. селекції зернових та олійних культур,

ності виробництва можливе тільки за умов дотримання технологічної дисципліни, застосування інтенсивних агроприємів і залучення матеріальних ресурсів [6]. Важливу роль при цьому відіграє формування густоти стояння рослин, як індикатора реалізації потенціалу генотипу в конкретних умовах агрофону.

Густота посівів є інтегральним показником, що відображає сукупний вплив технологічних і біологічних чинників: норм висіву, рівня мінерального живлення, типу сівби, властивостей сорту або гібрида, погодних умов та регуляторів росту. Встановлення оптимальної густоти є важливим для формування рівномірного, стійкого до вилягання та максимально продуктивного агроценозу. Водночас ефективність зміни кожного з агротехнічних факторів істотно залежить від супутніх умов, що зумовлює необхідність вивчення їх синергічної дії – особливо, у межах адаптивних технологій.

На основі результатів попередніх досліджень [7, 8], встановлено, що висота рослин ріпаку озимого істотно змінюється залежно від способу сівби та щільності стояння рослин у посіві. За широкорядного способу сівби спостерігається тенденція до зменшення висоти рослин, що зумовлено збільшеною площею живлення. За звичайної рядкової сівби ріпак формує вищі рослини з тоншими стеблами та меншою кількістю бічних пагонів, це свідчить про конкуренцію за ресурси в умовах підвищеної густоти [9, 10]. Цей ефект посилюється за надмірної густоти стояння та обмеженої площі живлення. У свою чергу, строки сівби та норми висіву суттєво впливають на якість осіннього розвитку ріпаку та ступінь його перезимівлі [11].

Значне місце у структурі технології вирощування ріпаку посідає система живлення. Озимий ріпак потребує високої забезпеченості ґрунту елементами живлення в доступній формі протягом усього вегетаційного періоду [12, 13]. Зокрема, він характеризується тривалим періодом інтенсивного споживання азоту. Тому фракційне внесення азотних добрив є доцільним з точки зору фізіолого-біохімічних потреб культури. Важливим є також своєчасне застосування азоту до сівби або у ранній фазі розвитку, що забезпечує формування стійкого до зимових

стресів рослинного покриву [14–16].

Ріпак озимий належить до азотофільних культур, для яких характерний тривалий період інтенсивного поглинання азоту. З огляду на це, розподілене (фракційне) внесення азотних добрив забезпечує оптимальне та своєчасне надходження поживного елемента протягом усього вегетаційного періоду [17, 18]. Застосування азоту до сівби або в осінній період (у формі підживлення) дозою 30–40 кг/га діючої речовини є доцільним після вирощування зернових злакових культур як попередників. Запізніле внесення азоту – після фази 4–5 справжніх листків – призводить до надмірного накопичення води в рослинних тканинах, що негативно впливає на процес загартування рослин і знижує їх зимостійкість [19, 20].

Доведено, що застосування регуляторів росту дає змогу повніше реалізувати потенціал культури, зокрема, завдяки впливу на енергетику проростання, рівень гілкування, строк дозрівання, а також стійкість до абіотичних і біотичних факторів [21, 22]. Регулятори росту сприяють покращанню фітосанітарного стану посівів та можуть зменшити витрати на пестициди за інтегрованого підходу до захисту. Результати багаторічних досліджень свідчать про стабільне підвищення урожайності на 10–13 % за умов використання таких препаратів у комплексі з іншими елементами технології [23, 24].

Крім того, адаптивна ефективність агроприємів значною мірою залежить від погодних умов – кількості опадів, температурного режиму, тривалості вегетації, що особливо актуально в умовах зміни клімату. Насіння ріпаку демонструє високу чутливість до низьких температур ще на етапі проростання, що впливає на строки яровизації та динаміку переходу до генеративної фази [25, 26].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю удосконалення технології вирощування ріпаку озимого в умовах ресурсних обмежень, зростаючих кліматичних ризиків і вимог до стабільності врожаю. Визначення закономірностей формування густоти стояння рослин залежно від способу сівби, норми висіву, мінерального живлення та їх взаємодії дозволяє створити науково обґрунтовану базу для підвищення ефективності

агротехнологій. Комплексне врахування цих продуктивністю, екологічною стійкістю агросистем і економічною доцільністю виробництва. Таким чином, результати дослідження мають важливе теоретичне та прикладне значення для розробки адаптивних схем сівби ріпаку озимого, здатних забезпечити високу врожайність за умов змінного середовища.

Метою дослідження є встановлення закономірностей формування густоти стояння рослин ріпаку озимого залежно від способу сівби, норм висіву, рівня мінерального живлення та їх взаємодії, з метою оптимізації параметрів технології вирощування й забезпечення стійкої структури посівів.

Завданням досліджень аналіз впливу способів сівби на динаміку формування структури посівів, збереження рослин після перезимівлі та густоту перед збиранням, порівняння реакції різних генотипів (сорту Антарія та гібрида Ексагон) на зміну технологічних чинників у процесі формування густоти й визначення оптимальних агротехнічних умов для забезпечення високої адаптивності та продуктивності посівів ріпаку озимого.

Матеріали та методи. Дослідження впливу способу сівби, норм висіву, мінерального живлення та їх взаємодії на формування густоти рослин ріпаку озимого проводили упродовж 2010–2014 рр. на дослідних полях Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН України (Вінницька область), що розташовані в Лісостеповій агрокліматичній зоні з типовими умовами зволоження й темно-сірими типовими ґрунтами. Технологія вирощування ріпаку озимого відповідала загальноприйнятим рекомендаціям для зони Лісостепу і забезпечувала оптимальні умови для реалізації потенціалу культури. Попередником у сівозміні виступала озима пшениця, що є типовим фоном для вирощування ріпаку озимого у регіоні.

У дослідженнях порівнювали два способи сівби: широкорядний (з міжряддям 45 см) та звичайний рядковий (15 см). Вивчалось чотири рівні норм висіву – 0,4; 0,6; 0,8 та 1,0 млн. схожих насінин/га, а також три варіанти агрофону: контроль (без внесення добрив); мінеральне живлення ($N_{120}P_{60}K_{90}$); мінеральне живлення ($N_{120}P_{60}K_{90}$) у поєднанні з регулятором росту Карамба (1,0 л/га). Дослідження проводили на двох генотипах ріпа-

чинників сприяє досягненню рівноваги між ку озимого – сорти Антарія та гібриди Ексагон, які відрізняються інтенсивністю стартового росту, біоморфологічними ознаками та рівнем адаптивності.

Облік і аналіз польової схожості, збереження рослин після зими та густоти стояння рослин перед збиранням здійснювали згідно з методичними рекомендаціями для польових досліджень із хрестоцвітими культурами [27]. Статистичну обробку результатів виконували методом дисперсійного та регресійного аналізу з використанням програмного забезпечення MS Excel і Statistica 10.0, що дозволило оцінити вплив основних факторів і побудувати множинні моделі прогнозування.

Результати та обговорення. Оптимальна густота стояння рослин є одним із основних факторів формування високопродуктивних агроценозів ріпаку озимого. Густота посівів безпосередньо впливає на рівень конкуренції між рослинами за елементи світла, живлення, вологу, а також визначає ефективність використання площі живлення, стійкість до вилягання та потенціал врожайності. У сучасних умовах інтенсивного розвитку технологій вирощування важливим завданням є встановлення закономірностей формування густоти рослин за різних норм висіву, агрофонів та застосування регуляторів росту.

За результатами досліджень, в якому вивчено динаміку формування густоти посівів ріпаку озимого сорту Антарія широкорядним способом сівби при поєднанні чотирьох норм висіву (0,4–1,0 млн схожих насінин/га) з трьома агрофонами: контроль (без добрив), мінеральне живлення – $N_{120}P_{60}K_{90}$, а також $N_{120}P_{60}K_{90}$ + регулятор росту Карамба (1,0 л/га).

Аналіз даних свідчить, що норма висіву і агрофон суттєво впливають на формування густоти рослин ріпаку озимого впродовж вегетації. Найвищу польову схожості та густоту перед збиранням було досягнуто при використанні повного мінерального живлення в поєднанні з регулятором росту Карамба, що свідчить про синергічну дію цих факторів на життєздатність і стійкість рослин.

Так, за внесення $N_{120}P_{60}K_{90}$ + Карамба (1,0 л/га) при нормі висіву 1,0 млн насінин/га було зафіксовано найвищу кількість рослин

на час збирання – 75 шт./м², що відповідає 88,2 % збереження. Водночас навіть за ниж-

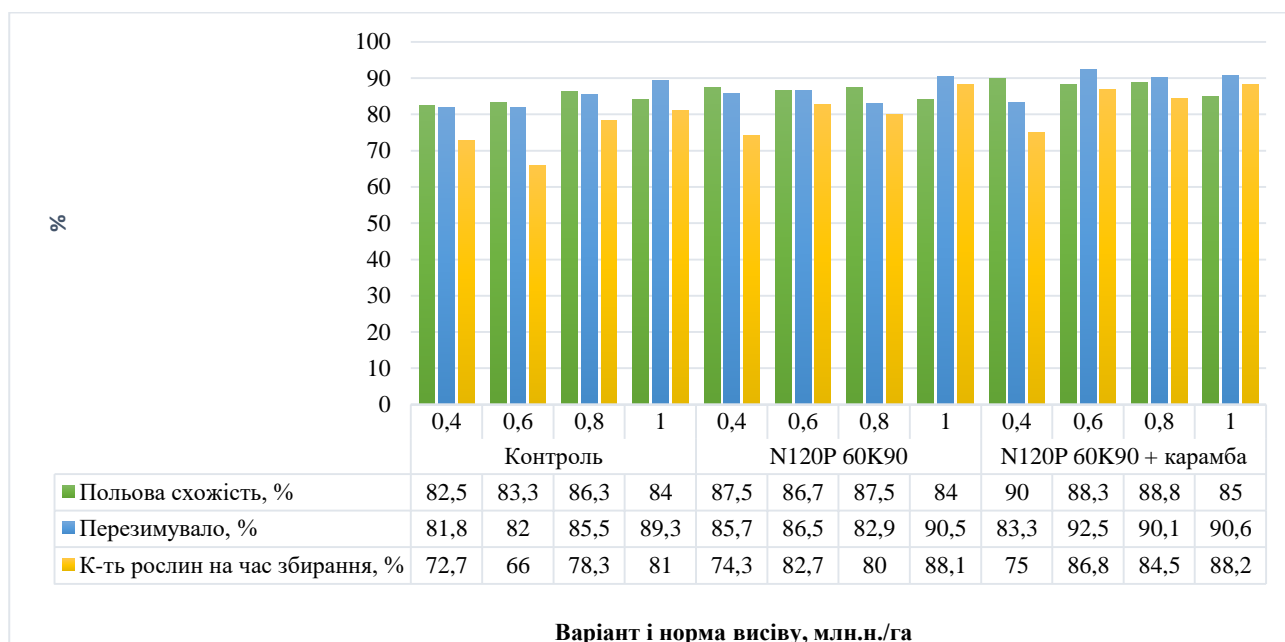


Рис. 1 Вплив норм висіву, добрив та регулятора росту на формування густоти стояння рослин ріпаку озимого сорту Антарія за широкорядного способу посіву (у середньому за 2010–2014 рр.).

чих норм висіву (0,6–0,8 млн/га) густота посіву в кінці вегетації зберігалася на високому рівні – понад 80 %.

У контрольному варіанті без удобрення та регулятора росту спостерігалася тенденція до зниження польової схожості (до 82,5 %) та істотного прорідження посівів під час зимового періоду – особливо за мінімальних норм висіву (0,4–0,6 млн/га), де збереження рослин до збирання не перевищувало 72–74 %.

Отже, результати дослідження підтверджують, що найкраща реалізація потенціалу густоти спостерігається за оптимального поєднання норми висіву 0,8–1,0 млн шт./га із застосуванням мінерального живлення та регулятора росту. Такі умови забезпечують стабільне формування продуктивного стеблостою, підвищують енергію проростання, зимостійкість та зменшують ризики прорідження посівів, що є важливою передумовою для отримання високих і стабільних урожаїв.

Результати дослідження, де об'єктом вивчення виступав високопродуктивний гібрид ріпаку озимого Ексагон, який характеризується інтенсивним стартовим ростом і чутливістю до умов живлення свідчать про тісний взаємозв'язок між нормою висіву, агрофоном та здатністю гібрида формувати стійку густоту посівів упродовж вегетаційного періоду. На контрольному варіанті (без добрив і регулятора росту) спостерігалася зако-

номірне зростання кількості сходів та збережених рослин із підвищенням норми висіву. Водночас, за низької норми (0,4 млн/га), польова схожість становила лише 82,5 %, а до часу збирання зберігалася 69,7 % рослин, що недостатньо для зотримання високого врожаю (рис. 2).

Застосування мінерального живлення сприяло стабілізації ростових процесів і підвищенню зимостійкості рослин: за норми висіву 1,0 млн/га зберігалася 84,1 % рослин, а польова схожість перевищувала 88 %. Варіант мінерального живлення з регулятором росту Карамба виявився найбільш ефективним – за всіх норм висіву. Відзначено найвищі показники перезимівлі (до 88,6 %) і максимальну густоту перед збиранням – до 85,2 %.

Особливо показовими були результати за норми висіву 0,8 млн насінин/га на фоні повного мінерального живлення з Карамбою (1,0 л/га) – густота посівів на час збирання становила 59 рослин/м², це – оптимальний показником для забезпечення великої врожайності без надмірного загущення. Висока ефективність комбінованої технології пов'язана з кращим розвитком кореневої системи, більш рівномірним ростом у ранній фазі та підвищенням адаптивного потенціалу рослин.

Таким чином, результати дослідження

підтверджують, що для гібрида Ексагон оптимальними умовами для формування густоти

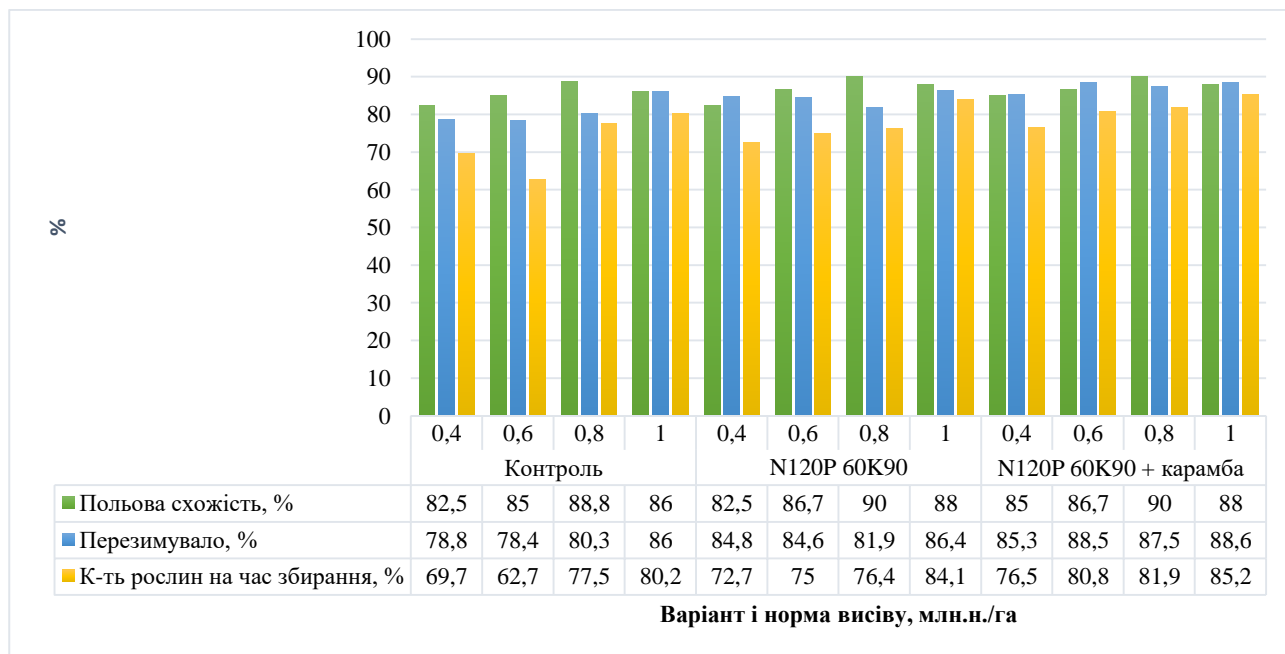


Рис. 2 Вплив норм висіву, доз добрив та регулятора росту на формування густоти стояння рослин ріпаку озимого гібрида Ексагон за широкорядного способу сівби (у середньому за 2010–2014 рр.).

густоти посівів є норма висіву 0,8–1,0 млн/га у поєднанні з мінеральним живленням N₁₂₀P₆₀K₉₀ та обробкою регулятором росту, що забезпечує високий рівень польової схожості, збереження рослин після зими та стабільну структуру посівів до збирання. Це підкреслює доцільність інтеграції елементів регульованого живлення й росту в сучасні технології вирощування озимого ріпаку.

Порівняння результатів дослідження, представлених на рис. 1 і рис. 2, дає змогу простежити відмінності у формуванні густоти стояння рослин між сортом Антарія та гібридом Ексагон в умовах широкорядної сівби залежно від норм висіву та фону живлення.

Гібрид Ексагон мав вищу початкову польову схожість та кращі показники збереження рослин упродовж вегетації порівняно із сортом Антарія на всіх агрофонах і за всіх норм висіву. Наприклад, за норми 1,0 млн схожих насінин/га і внесенні N₁₂₀P₆₀K₉₀ + Карамба (1,0 л/га) фактична густина перед збиранням становила 75 рослин/м² у сорту Антарія (88,2 % збереження) проти 85,2 % у гібрида Ексагон, це свідчить про більший адаптивний потенціал гібрида, який зумовлений гетерозисною природою гібридної форми та кращими стартовими характеристиками.

Для обох генотипів максимальні значення густоти стояння рослин до збирання були досягнуті на фоні повного мінерального живлення у поєднанні з регулятором росту, що підкреслює універсальність ефективності такого агроприйому для ріпаку озимого загалом.

У сорту Антарія підвищення густоти при переході від контролю до N₁₂₀P₆₀K₉₀ + Карамба (1,0 л/га) становило у середньому 7–10 %, у той час як у гібрида Ексагон цей приріст досягав +10–13 %, що підтверджує більшу чутливість гібрида до умов живлення та регуляції росту.

Для обох форм найкращі результати отримано за норми висіву 0,8–1,0 млн схожих насінин/га. За цієї густоти забезпечувалося: максимальне використання потенціалу польової схожості; зниження ризиків перезagęщення та конкуренції між рослинами; висока рівномірність розподілу площі живлення; стабільність структури посіву до збирання.

За нижчих норм (0,4–0,6 млн/га) обидва генотипи мали зниження густоти стояння рослин перед збиранням до 65–75 % від посівної норми, що може бути критичним у стресових умовах.

Отже, гібрид Ексагон переважає сорт Антарія за польовою схожістю, збереженням рослин після перезимівлі та фактичною гус-

тотою рослин перед збиранням на всіх рівнях агрофону та нормах висіву, що свідчить про його вищу адаптивність та стабільність ростових показників.

Застосування мінерального живлення у поєднанні з регулятором росту Карамба є ефективним технологічним прийомом для обох генотипів, оскільки забезпечує максимальне збереження рослин і стабільне формування посіву до кінця вегетації. Оптимальною нормою висіву для забезпечення високої та рівномірної густоти рослин виявилась 0,8 млн насінин/га для обох форм – вона дозволяє досягати більших результатів при меншому використанні насіння та зниженні конкуренції між рослинами.

Таким чином, результати дослідження вказують на необхідність диференційованого підходу до вибору технологічних прийомів вирощування, що має базуватись на біологічних особливостях сорту або гібрида, а також враховувати тип сівби, характер мінерального живлення та застосування регуляторів росту. Виявлена варіабельність густоти посівів у відповідь на зміну норми висіву та агрофону свідчить про нелінійний характер впливу цих факторів і зумовлює доцільність математичного моделювання.

нях агрофону та нормах висіву, що свід-

З цією метою було побудовано модель множинної регресії з урахуванням взаємодії між нормою висіву та агрофоном, що дозволяє кількісно оцінити їх вплив на формування густоти стояння рослин перед збиранням та передбачити поведінку гібрида за різних умов вирощування.

Статистичну залежність представимо у вигляді рівняння:

$$Y = a + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + b_3 \times (X_1 \times X_2), \quad (1)$$

де:

Y – фактична густина стояння рослин перед збиранням, шт./м²;

X₁ – норма висіву, млн схожих насінин/га;

X₂ – агрофон:

1 – контроль (без добрив),

2 – добрива (N₁₂₀P₆₀K₉₀),

3 – добрива (N₁₂₀P₆₀K₉₀) + регулятор росту Карамба (1,0 л/га);

X₁ × X₂ – інтерактивний (перехресний) ефект взаємодії агрофону з нормою висіву;

a, b₁, b₂, b₃ – регресійні коефіцієнти, що визначають силу впливу відповідних змінних.

Наведено вихідні дані для моделі (табл. 1).

На основі емпіричних даних моделювання

Таблиця 1. Вихідні дані (усереднені значення)

X ₁ млн/га	X ₂ агрофон	Y Густина стояння рослин/м ²	X ₁ млн/га	X ₂ агрофон	Y Густина стояння рослин/м ²	X ₁ млн/га	X ₂ агрофон	Y густина стояння рослин/м ²
0,4	1	27,9	0,4	2	30,8	0,4	3	34,2
0,6	1	38,0	0,6	2	42,7	0,6	3	45,3
0,8	1	48,6	0,8	2	53,6	0,8	3	59,0
1,0	1	54,6	1,0	2	59,5	1,0	3	64,0

отримано такі значення коефіцієнтів:

$$Y = 16,8 + 41,2 \times X_1 + 3,5 \times X_2 + 5,3 \times (X_1 \times X_2), \quad (2)$$

де:

16,8 – константа моделі, яка відображає базове значення прогнозованої густоти стояння при нульових значеннях незалежних змінних (умовна початкова точка без практичного змісту);

41,2 – приріст густоти (шт/м²) за кожне збільшення норми висіву на 1 млн/га за незмінного агрофону;

3,5 – вплив кожного рівня агрофону на густоту при фіксованому нульовому рівні норми висіву (також умовна величина);

5,3 – інтерактивний ефект, який відо-

бражає зміну прогнозу за одночасного зростання X₁ і X₂, тобто додатковий приріст густоти, зумовлений синергією між нормою висіву та якістю агрофону. Цей коефіцієнт є особливо важливим, оскільки демонструє, що ефективність кожного підвищення норм висіву зростає при поліпшенні агрофону, що узгоджується з логікою: краще забезпечення живленням та регуляція росту підвищують реалізацію потенціалу насіння.

Використовуючи формули моделі (1) і (2), спрогнозуємо густоту стояння рослин перед збиранням за умов:

- норма висіву X₁=0,8 млн/га;

- агрофон X₂=3 (добрива + ретардант

(регулятор росту Карамба)).

Тоді, підставляючи дані у рівняння,
 $Y=16,8+41,2 \times 0,8+3,5 \times 3+5,3 \times (0,8 \times 3)$;

$Y=16,8+32,96+10,5+12,72=72,98$ рослин/м².

Отже, модель прогнозує, що в зазначених умовах густина стояння становитиме близько 73 рослин на м², що свідчить про ефективне збереження рослин та стабільну структуру посіву. Варто зазначити, що емпіричне значення густоти у таблиці становить 59 росл./м², тобто модель дещо переоцінює прогноз, це може бути зумовлено згладже-

отримаємо:

ним характером моделі та її статистичним узагальненням.

Таким чином, запропонована модель дозволяє кількісно оцінити взаємодію технологічних факторів і може бути використана для планування густоти стояння посівів залежно від доступних ресурсів.

На рис. 3 представлено теплову карту, що є графічною інтерпретацією розробленої моделі множинної регресії.

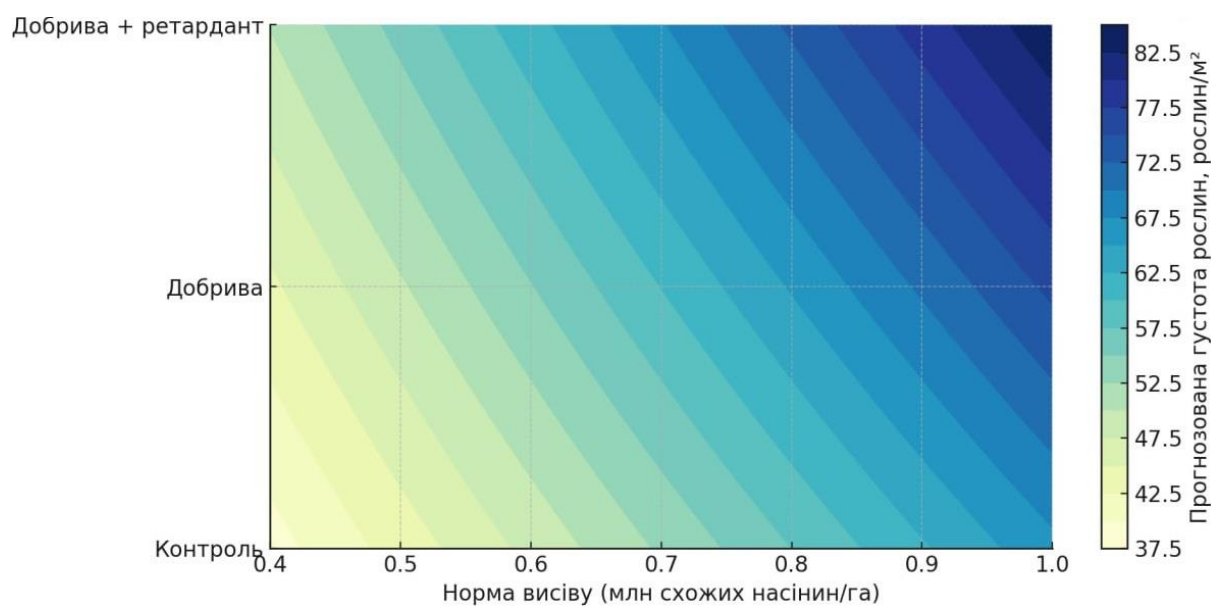


Рис. 3. Теплова карта прогнозованої густоти стояння рослин ріпаку озимого (гібрид Ексагон).

Отже, прогнозована густина стояння рослин прямо пропорційна нормі висіву – незалежно від фону, збільшення норми з 0,4 до 1,0 млн/га супроводжується зростанням щільності посівів. Вплив агрофону є кумулятивним: перехід від контролю до внесення добрив, а потім до їх комбінації з ретардантом (регулятором росту), призводить до стабільного приросту густоти стояння рослин.

Максимальні значення густоти (70–75 рослин/м²) досягаються за умови норми висіву понад 0,9 млн/га, агрофону з добривами та ретардантом (регулятором росту Карамба).

Синергійний ефект взаємодії $X_1 \times X_2$ чітко простежується у вигляді більш різкого градієнта кольору у верхній частині графіка (агрофон 3), що підтверджує значущість комплексного підходу.

Висновки. Результати багаторічних польових досліджень підтверджують, що густина стояння рослин ріпаку озимого формується, як результат складної взаємодії між

способом сівби, нормою висіву, рівнем мінерального живлення та біологічними особливостями сорту або гібрида. Застосування широкорядного способу сівби у поєднанні з оптимальними нормами висіву та збалансованим живленням сприяє формуванню стабільного, рівномірного та продуктивного агроценозу.

Найбільш ефективним виявилось поєднання норми висіву 0,8–1,0 млн схожих насінин/га з мінеральним живленням (N₁₂₀P₆₀K₉₀) та застосуванням регулятора росту Карамба (1,0 л/га). За таких умов спостерігалось найбільше збереження рослин після перезимівлі (до 88,6 %) і максимальна густина перед збиранням (до 75 рослин на м²), що вказує на високу ефективність технологічної схеми. При цьому гібрид Ексагон виявився більш чутливим до умов агрофону та мав вищу адаптивну реакцію порівняно із сортом Антарія, що пов'язано з гетерозисною природою гібрида.

Регресійний аналіз дозволив встанови-

ти кількісну залежність між основними факторами посіву, а також виявити суттєвий синергійний ефект взаємодії між нормою висіву та агрофоном. Побудована модель множинної регресії із взаємодією факторів дозволяє з високою точністю прогнозувати густоту стояння рослин перед збиранням залежно, від умов вирощування.

Використана література

1. Кононенко Л. М., Панфілова А. В., Манзій О. П., Полянецька І. О. Вміст хімічних складових та продуктивність ріпаку озимого залежно від сортових особливостей у Правобережному Лісостепу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2022. Вип. 100 (1). С. 231–241. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2022-100-1-231-241>
2. Юрчук С. С., Вишневецький С. П. Оцінка колекційних зразків ріпаку озимого за екологічною пластичністю і стабільністю. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2021. Вип. 31. С. 46–57. <https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-05>
3. Вожегова Р. А., Дробітько А. В., Коковихін С. В., Пілярська О. О., Казанок О. О., Федорчук В. Г. Вплив факторів вирощування на наростання надземної біомаси ріпаком озимим в умовах Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 92–98. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.7.16>
4. Matar S., Kumar A., Holtgräwe D., Weisshaar B., Melzer S. (2020). The transition to flowering in winter rapeseed during vernalization. *Plant Cell and Environment*. 2020. Vol. 44. Issue 2. P. 506–518. <https://doi.org/10.1111/pce.13946>
5. Xie Z., Kong J., Tang M., Luo Z., Li D., Liu R., Feng S., Zhang C. Modelling Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) growth and yield under different sowing dates and densities using aquacrop model. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (2). P. 367. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020367>
6. Бахмат М. І., Сендецький І. В. Економічна ефективність вирощування ріпаку озимого при застосуванні регулятора росту за різних норм висіву. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2020. Вип. 115. С. 12–18. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.2>
7. Гамаюнова В. В., Гаро І. М. Вплив факторів вирощування на наростання надземної біомаси ріпаком озимим в умовах Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 105–109. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.7.18>
8. Langangmeilu G., Verma A., Sahu M., Sarthi D., Khundrakpam P. Influence of different sowing date on the morphology, phenology and thermal indices of rapeseed: a review. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13. Issue 7. P. 707–715. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i71923>
9. Dutta D., Begum M., Medhi K., Ojha N., Kandali G., Das S. Optimizing rapeseed productivity through sowing date adjustment and agro-climatic indices

нологічними факторами та фактичною гус-

Таким чином, отримані результати можуть бути використані при формуванні адаптивних агротехнічних рекомендацій, орієнтованих на підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення стабільної врожайності культури в умовах Лісостепу України.

- moderation. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 2025. Vol. 28. Issue 4. P. 530–545. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i42212>
10. Suci D.-L., Moldovan C., Costin A., Horga V., Duda M. Research on row spacing and sowing period influence on rapeseed production parameters. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*. 2024. Vol. 81. no. 2. P. 66–70. <https://doi.org/10.15835/buasvmcnagr:2024.0002>
11. Поляков О. І. Особливості росту, розвитку та формування врожайності ріпаку озимого залежно від норми висіву за різних строків сівби. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2022. Вип. 33. С. 99–110. <https://doi.org/10.36710/IOC-2022-33-10>
12. Фурманець О. А. Продуктивність ріпаку озимого на дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся за різних доз основного удобрення. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2021. Вип. 121. С. 109–114. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.15>
13. Польовий В.М., Ященко Л.А., Ровна Г.Ф., Гук Б.В. Інтенсивність емісії CO₂ з дерново-підзолистого ґрунту за різних доз меліорантів і удобрення ріпаку озимого у Західному Поліссі. *Агробіологія*. 2022. № 1. С. 36–42. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-36-42>
14. Курач О. В. Вплив систем удобрення на продуктивність ріпаку озимого. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2022. Вип. 32. С. 63–72. <https://doi.org/10.36710/IOC-2022-32-07>
15. Sikorska A., Gugala M., Zarzecka K., Mystkowska I., Findura P., Pristavka M. Quality of winter rape seeds (*Brassica napus* L.) depending on genetic factor, soil and foliar applications of mineral and organic substances. *Journal of Elementology*. 2023. Vol. 28. P. 1175–1190. <https://doi.org/10.5601/jelem.2023.28.4.3143>
16. Sikorska A., Gugala M., Zarzecka K., Domański Ł. The effect of microorganisms and inorganic preparations applied into the soil and leaves on the yield of winter rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25. P. 27–36. <https://doi.org/10.12911/22998993/173066>
17. Beres J., Becka D., Tomasek J., Vasak, J. Effect of autumn nitrogen fertilization on winter oilseed rape growth and yield parameters. *Plant, Soil and Environment*. 2019. Vol. 65. <https://doi.org/10.17221/444/2019-PSE>
18. Becka D., Bečková L., Tomášek J., Varenjiova M.

- Effects of various nitrogen fertilisers applied in autumn on growth parameters, yield and quality of winter oilseed rape. *Plant, Soil and Environment*. 2024. quantitative but not qualitative reconfiguration of leaf primary metabolism in *Brassica napus* L. subjected to drought and rehydration. *Plants*. 2024. Vol. 13. P. 969. <https://doi.org/10.3390/plants13070969>.
20. Домарацький Є. О. Вплив азотно живлення та комбінованих препаратів на особливості водоспоживання ріпаку озимого за різних умов вирощування. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 54–61. <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2023.17.7>.
21. Волошук О. П., Сендецький В. М., Мельничук Т. В., Сендецький І. В. Продуктивність ріпаку озимого за застосування регулятора росту вермийодіс та різних норм висіву. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 71(2). С. 67–84. [https://doi.org/10.32636/01308521.2022-\(71\)-2-5](https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-2-5).
22. Qiao D., Liu H., Yu L., Bao X., Simon G., Petinakis E., Chen L. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 147. P. 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.010>.
23. Tavakkol A. R., Angoshtari R., Kalantari S. Effects of light and different plant growth regulators on Vol. 70. <https://doi.org/10.17221/68/2024-PSE>.
19. Albert B., Dello Y., Lepout L., Aubert M., Bouche-reau A., Le Cahérec F. Low nitrogen input mitigates induction of callus growth in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Plant Omics*. 2011. Vol. 4. https://www.pomics.com/tavakkol_4_2_2011_60_67.pdf.
24. Ijaz M., Mahmood K., Honermeier B. Interactive role of fungicides and plant growth regulator (trinexapac) on seed yield and oil quality of winter rapeseed. *Agronomy*. 2015. Vol. 5. 435–446. <https://doi.org/10.3390/agronomy5030435>.
25. Корнійчук О. В., Юрчук С. С. Вплив погодно-кліматичних параметрів на урожайність насіння ріпаку озимого. *Корми і кормовиробництво*. 2023. № 95. С. 74–87. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-06>.
26. Liu Z., Zou Y., Dong X., Wei J., Xu C., Mi W., Xu M., Fang X., Cao X., Zheng G., Mi C. Germinating seed can sense low temperature for the floral transition and vernalization of winter rapeseed (*Brassica rapa*). *Plant Science*. 2021. Vol. 307. P. 110900. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110900>.
27. Сайко В. Ф., Камінський В. Ф., Вишнівський П. С. і ін. Особливості проведення досліджень із хрестоцвітими олійними культурами і ін./ За редакцією П. С. Вишнівського. Київ: ННЦ «ІЗ НААН», 2011, 76 с.

References

1. Kononenko, L. M., Panfilova, A.V., Manzii, O. P., Polianetska, I. O. (2022). Content of chemical components and productivity of winter rapeseeds depending on variety features in the right bank forest steppe of Ukraine. *Collected Works of Uman National University NAAN* [Collected Works of Uman National University], 100 (1), 231–241. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2022-100-1-231-241> [in Ukrainian].
2. Yurchuk, S. S., Vyshnevskiy, S. P. (2021). Evaluation of collective samples of winter rapeseeds for ecological plasticity and stability. *Naukovo-tehnichny i biuletyn Instytutu oliynykh kultur NAAN* [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS], 31, 46–57. <https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-05> [in Ukrainian].
3. Vozhehova, R. A., Drobitko, A. V., Kokovikhin, S. V., Pilyarska, O. O., Kazanok, O. O., Fedorchuk, V. G. (2021). Directions of effective use of agroecological potential of the Steppe zone of Ukraine and adaptation of technologies of cultivation of grain crops to climate change. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 7, 92–98. <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2021.7.16> [in Ukrainian].
4. Matar, S., Kumar, A., Holtgräwe, D., Weisshaar, B., Melzer, S. (2020). The transition to flowering in winter rapeseed during vernalization. *Plant Cell and Environment*, 44 (2), 506–518. <https://doi.org/10.1111/pce.13946> [in United Kingdom].
5. Xie, Z., Kong, J., Tang, M., Luo, Z., Li, D., Liu, R., Feng, S., Zhang, C. (2023). Modelling Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Growth and yield under different sowing dates and densities using aquacrop model. *Agronomy*, 13 (2), 367. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020367> [in Switzerland].
6. Bakhmat, M. I., Sendetskyi, I. W. (2020). Economic efficiency of growing winter rape when using a growth regulator at different seeding rates. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky* [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sciences], 115, 12–18. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.2> [in Ukrainian].
7. Gamayunova, V. V., Garo, I. M. (2021). Influence of cultivation factors on the growth of aboveground biomass by winter rape in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 7, 105–109. <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2021.7.18> [in Ukrainian].
8. Langangmeilu, G., Verma, A., Sahu, M., Sarthi, D., Khundrakpam, P. (2023). Influence of different sowing date on the morphology, phenology and thermal indices of rapeseed: a review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13 (7), 707–715. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i71923> [in India].
9. Dutta, D., Begum, M., Medhi, K., Ojha, N., Kandali, G., Das, S. (2025). Optimizing rapeseed productivity through sowing date adjustment and agro-climatic indices moderation. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 28 (4), 530–545. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i42212> [in India].
10. Suci, D.-L., Moldovan, C., Costin, A., Horga, V., Duda, M. (2024). Research on row spacing and sowing period influence on rapeseed production parameters. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 81 (2), 66–70. <https://doi.org/10.15835/buasvmcnagr:2024.0002> [in Romania].
11. Poliakov, O.I. (2022). Characteristics of growth,

- development and yield formation of winter canola periods. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAN* [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS], 33, 99–110. <https://doi.org/10.36710/IOC-2022-33-10> [in Ukrainian].
12. Furmanets, O.A. (2021). Productivity of winter rape on sod-podzolic soils of the Western Polissya at various doses of the main fertilizer. *Tavriyskiy naukoviy visnyk. Silskohospodarski nauky* [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sciences], 121, 109-114. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.15> [in Ukrainian].
 13. Polovyi, V., Yashchenko, L., Rovna, H., Huk, B. (2022). Intensity of CO₂ emissions from sod-podzolic soil at different doses of ameliorants and fertilization of winter rape in Western Polissia. *Agrobiologia*, 1, 36–42. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-36-42> [in Ukrainian].
 14. Kurach, O. V. (2022). Influence of fertilization systems on winter rape productivity. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAN* [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS], 32, 63–72. <https://doi.org/10.36710/IOC-2022-32-07> [in Ukrainian].
 15. Sikorska, A., Gugala, M., Zarzecka, K., Mystkowska, I., Findura, P., Pristavka, M. (2023). Quality of winter rape seeds (*Brassica napus* L.) depending on genetic factor, soil and foliar applications of mineral and organic substances. *Journal of Elementology*, 28, 1175-1190. <https://doi.org/10.5601/jelem.2023.28.4.3143> [in Poland].
 16. Sikorska, A., Gugala, M., Zarzecka, K., Domański, Ł. (2024). The effect of microorganisms and inorganic preparations applied into the soil and leaves on the yield of winter rape (*Brassica Napus* L.). *Journal of Ecological Engineering*, 25, 27–36. <https://doi.org/10.12911/22998993/173066> [in Poland].
 17. Beres, J., Becka, D., Tomasek, J., Vasak, J. (2019). Effect of autumn nitrogen fertilization on winter oilseed rape growth and yield parameters. *Plant, Soil and Environment*, 65. <https://doi.org/10.17221/444/2019-PSE> [in Czechia].
 18. Becka, D., Bečková, L., Tomášek, J., Vareniova, M. (2024). Effects of various nitrogen fertilisers applied in autumn on growth parameters, yield and quality of winter oilseed rape. *Plant, Soil and Environment*, 70. <https://doi.org/10.17221/68/2024-PSE> [in Czechia].
 19. Albert, B., Dellerio, Y., Leport, L., Aubert, M., Bouchereau, A., Le Cahérec, F. (2024). Low nitrogen input mitigates quantitative but not qualitative reconfiguration of leaf primary metabolism in depending on sowing rate for different sowing *Brassica napus* L. subjected to drought and rehydration. *Plants*, 13, 969. <https://doi.org/10.3390/plants13070969> [in Switzerland].
 20. Domaratskyi, E.O. (2023). The influence of nitrogen nutrition and combined preparations on the characteristics of water consumption of winter rape under different growing conditions. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 17, 5–61. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.7>. [in Ukrainian].
 21. Voloshchuk, O., Sendetskyi, V., Melnychuk, T., Sendetskyi I. (2022). Productivity of winter rape by the application of vermiyodis growth regulator and different seeding rates. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*. [Foothill and mountain agriculture and stockbreeding], 71 (2), 67–84. [https://doi.org/10.32636/01308521.2022-\(71\)-2-5](https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-2-5) [in Ukrainian].
 22. Qiao, D., Liu, H., Yu, L., Bao, X., Simon, G., Petinakis, E., Chen, L. (2016). Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer. *Carbohydrate Polymers*, 147, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.010> in United Kingdom].
 23. Tavakkol, A. R., Angoshtari, R., Kalantari, S. (2011). Effects of light and different plant growth regulators on induction of callus growth in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Plant Omics*, 4. https://www.pomics.com/tavakkol_4_2_2011_60_67.pdf [in Australia].
 24. Ijaz, M., Mahmood, K., Honermeier, B. (2015). Interactive role of fungicides and plant growth regulator (trinexapac) on seed yield and oil quality of winter rapeseed. *Agronomy*, 5, 435–446. <https://doi.org/10.3390/agronomy5030435> [in Switzerland].
 25. Korniychuk, O., & Yurchuk, S. (2023). The influence of weather and climate parameters on the winter rapeseed productivity. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. [Feeds and Feed Production], 95, 74–87. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-06> [in Ukrainian].
 26. Liu, Z., Zou, Y., Dong X., Wei, J., Xu, C., Mi, W., Xu, M., Fang, X., Cao, X., Zheng, G., Mi, C. (2021). Germinating seed can sense low temperature for the floral transition and vernalization of winter rapeseed (*Brassica rapa*). *Plant Science*, 307, 110900. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110900> [in Netherlands].
 27. Sajko, V.F., Kamins'kyj, V.F., Vyshnivs'kyj, P.S., etc. (2011). *Osoblyvosti provedennia doslidzhen iz khrestotsvitymy oliinymy kulturamy i in.* [Features of conducting research with cruciferous oilseed crops, etc.] / Za redaktsiieiu P.S. Vyshnivskoho. K.: NNTs «IZ NAAN», 76 p. [in Ukrainian].

UDC 631.52:633.853.494

Yurchuk, S. S. Formation of plant density in winter rape (*Brassica napus* L.) crops depending on different technological aspects of cultivation. *Grain Crops*. 2025. 9 (1). 117–127.

Institute of Feed Research and Agriculture of Podillia of NAAS, 16 Yunosti Ave., Vinnytsia, 21100, Ukraine

Topicality. The formation of plant density is a determining factor in the effective use of potential in the winter rape cultivation under conditions of climatic risks and limited resources. The study of dependence of plant density on the sowing method, seeding rate and agricultural background justifies an adaptive approach to increasing crop productivity. **Purpose.** To study the influence of sowing method, seeding rate and

level of mineral nutrition, as well as their interaction on the formation of winter rape plant density, with further justification of optimal technological parameters to ensure a stable disposition of crops and increase the efficiency of agrocenosis. **Materials and Methods.** Two genotypes of winter rape, Antariia variety and Exagon hybrid, were used in the experiments. Two sowing methods (conventional row and wide-row), four seeding rates, three variants of agricultural background were studied: control (no fertilisers), mineral nutrition ($N_{120}P_{60}K_{90}$) and fertilisers in combination with the growth regulator Caramba. Field method (phenological observations, plant density records at different development stages), laboratory method (determination of laboratory germination, field germination, indicators of plant overwintering), mathematical and statistical method (analysis of variance, regression analysis and graph analytics) were used in the experiments. **Results.** It was found that the plant density of winter rape largely depends on a combination of technological factors. The Exagon hybrid is more responsive to the agricultural background compared to the Antariia variety, which was manifested in higher rates of plant overwintering and adaptability to changing technological conditions. The constructed multiple regression model showed a statistically significant dependence of the plant density on the seeding rate, agricultural background and their interaction, which allows predicting the optimal plant density parameters before harvesting. **Conclusions.** It was found that the most stable and effective plant density is formed by combining wide-row sowing with a seeding rate of 0.8–1.0 million seeds/ha and combined application of fertilisers with a growth regulator. The results of our research are of practical importance for implementation and can be used to improve seeding rates and fertilisation systems, taking into account the biological characteristics of winter rape variety or hybrid.

Key words: *winter rape, plant density, seeding rate, sowing methods, variety, hybrid, multiple regression model*