

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

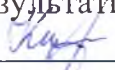
КРИКУН СЕРГІЙ ПАВЛОВИЧ

УДК 633.34:631.526.32:631.559: 574.3(477)

**РЕАЛІЗАЦІЯ АДАПТИВНО-ПРОДУКТИВНОГО
ПОТЕНЦІАЛУ СОРТІВ СОЇ КУЛЬТУРНОЇ В РІЗНИХ
КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ**

201 Агрономія
20 Агарні науки та продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
 Сергій КРИКУН.

Науковий керівник – **Кравченко Віталій Станіславович**, кандидат
сільськогосподарських наук, доцент.

Умань – 2026

АНОТАЦІЯ

Крикун С. П. Реалізація адаптивно-продуктивного потенціалу сортів сої культурної в різних кліматичних зонах України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 201 Агрономія галузі знань 20 Аграрні науки та продовольство. Уманський національний університет, Умань, 2026 р.

Дисертація присвячена актуальним питанням, щодо реалізації адаптивно-продуктивного потенціалу ранньо- і середньостиглих сортів сої культурної в Степу, Лісостепу та Поліссі України.

У першому розділі наведено інформацію про глобальне виробництво, біологічні та технологічні аспекти вирощування сої культурної. Представлено узагальнені дані історії доместикації культури, про сортові ресурси та виробництво зерна сої. Проаналізовано ботанічні особливості, фактори впливу довкілля на продуктивність сої. Підсумовано методи математичного моделювання формування продуктивності агробіологічних систем.

У другому розділі охарактеризовано ґрунтово-кліматичні умови досліджуваного періоду за основними гідротермічними показниками, фізико-хімічні показники ґрунтів досліджуваних зон, історію походження досліджуваних сортів сої. Наведено схему, методи й методику дослідження.

Третій розділ присвячено аналізу формування параметрів індивідуальної продуктивності рослин сортів сої різних груп стиглості в контрастних умовах довкілля. У результаті багаторічних досліджень виявлено закономірності формування морфо-біологічних і продуктивних показників сортів сої різних груп стиглості залежно від кліматичних умов України. Встановлено, що тривалість вегетаційного періоду варіює від 112 діб у ранньостиглих до 125 діб у середньостиглих сортів, подовжуючись у напрямку від Степу до Полісся під впливом зональних відмін температурного та водного режимів. Морфологічні ознаки рослин (висота, кількість вузлів, розвиненість листкової поверхні) істотно змінюються під впливом гідротермічних умов, що зумовлює

відмінності в потенціалі формування генеративних органів. Найвищі адаптивно-морфологічні показники й технологічно придатну висоту прикріплення нижнього боба (12–15 см) продемонстрували сорти Паллада, Нептун, Віталіна та Зевс. Продуктивність сортів визначалася поєднанням генетичних особливостей і екологічних чинників: найвищу масу насіння (до 10,4 г/росл.) та кількість зерен (до 147 шт./росл.) мали Таверна, Ері, Калгарі, ЕС Візітор і ЕС Колектор. Кореляційний аналіз ($r = 0,81–0,86$) підтвердив тісну залежність між кількістю бобів і зерен, що відображає ефективність генеративного галуження. Максимальна реалізація потенціалу продуктивності відзначена у зоні Лісостепу, де поєднання тепла, вологи та родючості створює найсприятливіші умови для формування високого врожаю.

У четвертому розділі проаналізовано врожайність, адаптивний потенціал та якість зерна сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України. За результатами багаторічних досліджень (2023–2025 рр.) встановлено закономірності формування врожайності, стабільності та якісних показників ранньостиглих і середньостиглих сортів сої в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Урожайність культури визначається поєднанням генетичного потенціалу та екологічних чинників, що підтверджується співвідношенням $CVG/CVE < 1$, яке свідчить про домінування впливу середовища. Найвищу продуктивність сої зафіксовано у Лісостепу (2,40 т/га) та на Поліссі (2,25 т/га), тоді як у Степу (1,60 т/га) спостерігалось істотне обмеження через дефіцит вологи. Показники σ^2d (2,20) і коефіцієнти пластичності ($b_i = 0,53–0,79$) характеризують досліджувані сорти як середньопластичні. Сорти Таверна, Ері та Калгарі мали найвищу адаптивну здатність ($KAA = 1,14–1,24$) і стабільність урожайності, тоді як Перепілочка та Фортеця вирізнялися посухостійкістю. Середньостиглі сорти перевищували ранньостиглі за масою 1000 зерен (до 195 г) та натурою (до 781 г/л), демонструючи підвищену технологічну якість і більшу реактивність до умов середовища. Між групами стиглості виявлено обернений зв'язок між умістом білка (30,7–39,9 %) і жиру (18,0–24,3 %), що відображає різницю в тривалості

наливу насіння та метаболічному спрямуванні синтезу білково-жирового комплексу.

П'ятий розділ присвячено економічному та біоенергетичному обґрунтуванню використання сортових ресурсів сої у різних кліматичних зонах України. Результати комплексного економіко-енергетичного аналізу свідчать, що урожайність є головним детермінантом економічної ефективності вирощування сої, оскільки саме вона формує рівень прибутковості та рентабельності виробництва. Відзначено певну залежність між урожайністю та чистим прибутком і рентабельністю, що вказує на визначальний вплив біологічного фактора в економічній моделі соєвиробництва. Ранньостиглі сорти (Таверна, Ері, Адесса, Адельфія, ЕС Декор) продемонстрували найвищу енергетичну та економічну ефективність за рахунок поєднання високої продуктивності, низьких енерговитрат і коротшого вегетаційного періоду. Зокрема, сорт Таверна забезпечив максимальний прибуток (22,85 тис. грн/га), рентабельність понад 50 % і найвищий коефіцієнт енергоефективності (3,93). Сорти Ері та Калгарі також відзначалися високим коефіцієнтом біоенергетичної ефективності ($K_{ee} = 3,62\text{--}3,66$), що підтверджує їх перевагу для інтенсивних і ресурсозберігаючих технологій. Середньостиглі сорти (Алісія, Кармеліта, Титан st, Зевс) забезпечували стабільний прибуток, проте мали дещо гірший енергетичний баланс через більші витрати енергії на одиницю площі. Встановлено мультиплікативний вплив якісних показників – білковості (до 40 %), олійності (18–24 %) та фракційного складу (>5 мм) – на формування ринкової вартості продукції та підвищення конкурентоспроможності сортів. Загалом найвищу економічну доцільність і адаптивність до змінних агрокліматичних умов мають сорти Таверна, Ері, Адесса, Адельфія, Кармеліта та Алісія.

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні закономірностей формування продуктивності сої різних груп стиглості в умовах Степу, Лісостепу та Полісся України, удосконаленні методики оцінювання адаптивності, стабільності й пластичності сортів, а також у виявленні специфічних реакцій генотипів на

кліматичні фактори для оптимізації сортового районування.

Практичне значення одержаних результатів полягає у формуванні колекції ранньостиглих і середньостиглих сортів сої різного еколого-географічного походження, придатних до вирощування в умовах Степу, Лісостепу та Полісся України. Встановлено відповідність кліматичних умов біологічним потребам культури ($CVG/CVA \approx 0,97-0,98$), що забезпечує реалізацію її продукційного потенціалу. Визначено високопродуктивні сорти – Таверна, Ері, Калгарі, ЕС Візитор і ЕС Колектор, які поєднують стабільну врожайність (до 3,15 т/га) з високою якістю зерна (маса 1000 зерен 157–195 г). Отримані дані є основою для удосконалення сортового районування та розробки адаптивних технологій вирощування сої в Україні.

Отримані результати підтверджують, що оптимізація сортового складу й підвищення урожайності є ключовими чинниками формування сталого енергетично ефективного та прибуткового виробництва сої в Україні.

Для підвищення ефективності соєвиробництва в усіх зонах України доцільно впроваджувати у виробничу практику сорти сої, адаптовані до регіональних кліматичних умов і здатні стабільно реалізовувати свій генетичний потенціал продуктивності.

Рекомендується вирощувати: ранньостиглі сорти – Таверна, Ері, Калгарі, які відзначаються високою врожайністю (2,5–2,7 т/га), підвищеним вмістом білка (до 39 %) і доброю олійністю (до 22,6 %); середньостиглі сорти – Титан, Алісія, ЕС Візитор, ЕС Колектор, Кармеліта, що забезпечують стабільну продуктивність (2,0–2,1 т/га) та збалансований вміст білка й жиру. Для виробництва високобілкової продукції доцільно використовувати сорти Калгарі, Ері, РЖТ Сакуза, Адельфія, Нунавік, а для високоолійного напрямку – Фортеця, Паллада, Терсія, Акардія. Застосування рекомендованих сортів сприятиме підвищенню урожайності, якості насіння та економічної ефективності виробництва сої в різних агрокліматичних регіонах України.

Ключові слова: сорт, генотип, соя, адаптивність, пластичність, стабільність, урожайність, якість, вміст білка, олія, насіння, натура,

ABSTRACT

Krykun S. P. Realization of the Adaptive and Productive Potential of Soybean Cultivars in Different Climatic Zones of Ukraine. – Qualification scientific work (manuscript).

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 201 – Agronomy, field of knowledge 20 – Agricultural Sciences and Food. Uman National University, Uman, 2025.

The dissertation is devoted to the urgent issue of realizing the adaptive and productive potential of early- and medium-maturing soybean cultivars in the Steppe, Forest-Steppe, and Polissia zones of Ukraine.

The first chapter provides information on global soybean production, as well as the biological and technological aspects of its cultivation. Generalized data on the domestication history of soybean, varietal resources, and grain production are presented. The botanical characteristics and environmental factors affecting soybean productivity are analyzed. Methods of mathematical modeling for predicting the productivity of agrobiological systems are summarized.

The second chapter characterizes the soil and climatic conditions of the research period based on key hydrothermal indicators, as well as the physicochemical parameters of soils in the studied zones. The origin and characteristics of the soybean cultivars under study are described, along with the experimental design, research methods, and techniques used.

The third chapter focuses on the analysis of the formation of individual plant productivity parameters of soybean cultivars of different maturity groups under contrasting environmental conditions. Long-term studies revealed regularities in the formation of morphological, biological, and productive traits depending on the climatic conditions of Ukraine. The vegetation period ranged from 112 days in early-maturing to 125 days in medium-maturing cultivars, increasing from the Steppe toward Polissia due to differences in thermal and moisture regimes. Morphological traits (plant height, number of nodes, leaf area development) varied significantly

under different hydrothermal conditions, determining differences in the potential for reproductive organ formation. The highest adaptive-morphological indicators and optimal technological pod height (12–15 cm) were observed in the cultivars Pallada, Neptun, Vitalina, and Zeus. Productivity was determined by a combination of genetic and ecological factors: the highest seed mass (up to 10.4 g per plant) and number of seeds (up to 147 per plant) were recorded in Taverna, Eri, Calgary, ES Visitor, and ES Collector. Correlation analysis ($r = 0.81–0.86$) confirmed a strong relationship between the number of pods and seeds, indicating efficient generative branching. The maximum realization of productivity potential was noted in the Forest-Steppe zone, where the combination of heat, moisture, and soil fertility creates the most favorable conditions for achieving high yields.

In the fourth chapter, the yield performance, adaptive potential, and grain quality of soybean cultivars of different maturity groups under the climatic conditions of Ukraine were analyzed. Based on long-term studies (2023–2025), the regularities of yield formation, stability, and quality indicators of early- and medium-maturing soybean cultivars were established across various soil and climatic zones of Ukraine. Soybean productivity was determined by the interaction between genetic potential and environmental factors, as confirmed by the ratio $CVG/CVE < 1$, indicating the predominance of environmental influence. The highest yields were recorded in the Forest-Steppe (2.40 t/ha) and Polissia (2.25 t/ha) zones, whereas the Steppe zone (1.60 t/ha) was characterized by significant yield limitation due to moisture deficit. The parameters σ^2_d (2.20) and coefficients of plasticity ($b_i = 0.53–0.79$) classify the studied cultivars as moderately plastic. The cultivars Taverna, Eri, and Calgary demonstrated the highest adaptive capacity ($AAC = 1.14–1.24$) and yield stability, while Perepilochka and Fortetsia were distinguished by drought resistance. Medium-maturing cultivars exceeded early-maturing ones in 1000-seed weight (up to 195 g) and bulk density (up to 781 g/L), indicating superior technological quality and higher environmental responsiveness. An inverse relationship was revealed between protein (30.7–39.9%) and oil content

(18.0–24.3%) among maturity groups, reflecting differences in seed filling duration and the metabolic orientation of protein–lipid synthesis.

The fifth chapter is devoted to the economic and bioenergetic justification of soybean variety utilization in different climatic zones of Ukraine. The results of the comprehensive economic and energy analysis demonstrated that yield is the primary determinant of soybean production efficiency, as it directly influences profitability and production cost-effectiveness. A clear correlation was found between yield, net profit, and profitability, highlighting the crucial role of biological factors in the economic model of soybean cultivation. Early-maturing cultivars (Taverna, Eri, Adessa, Adelpia, ES Decor) exhibited the highest energy and economic efficiency due to a combination of high productivity, low energy input, and shorter growing season. In particular, Taverna achieved the highest profit (22.85 thousand UAH/ha), profitability over 50%, and the highest energy efficiency coefficient (3.93). The cultivars Eri and Calgary also showed high bioenergy efficiency coefficients ($EEC = 3.62–3.66$), confirming their suitability for intensive and resource-saving technologies. Medium-maturing cultivars (Alicia, Carmelita, Titan st, Zeus) provided stable profitability but showed a slightly less favorable energy balance due to higher energy costs per unit area. A multiplicative effect of quality traits—protein content (up to 40%), oil content (18–24%), and seed fraction size (>5 mm)—was found on market value formation and varietal competitiveness. Overall, the cultivars Taverna, Eri, Adessa, Adelpia, Carmelita, and Alicia demonstrated the highest economic feasibility and adaptability under variable agroclimatic conditions.

Scientific novelty lies in the substantiation of the regularities of soybean productivity formation across different maturity groups under the climatic conditions of the Steppe, Forest-Steppe, and Polissia zones of Ukraine, in improving the methodology for assessing varietal adaptability, stability, and plasticity, as well as in identifying specific genotype responses to climatic factors for optimizing varietal zoning.

Practical significance of the results consists in the development of a collection of early- and medium-maturing soybean cultivars of diverse ecological and

geographical origin, suitable for cultivation in the Steppe, Forest-Steppe, and Polissia regions of Ukraine. Climatic conditions were shown to correspond to the biological needs of the crop ($CVG/CVA \approx 0.97-0.98$), ensuring the realization of its productive potential. High-yielding cultivars – Taverna, Eri, Calgary, ES Visitor, and ES Collector – combine stable yields (up to 3.15 t/ha) with high grain quality (1000-seed weight 157–195 g). These findings provide a basis for refining varietal zoning and developing adaptive soybean cultivation technologies in Ukraine.

The results confirm that optimizing varietal composition and increasing yield are key factors for sustainable, energy-efficient, and profitable soybean production in Ukraine. For increased production efficiency across all zones, it is recommended to introduce cultivars adapted to regional climatic conditions that can consistently realize their genetic productivity potential.

Recommended cultivation: Early-maturing cultivars – Taverna, Eri, Calgary (high yield 2.5–2.7 t/ha, protein up to 39%, oil content up to 22.6%); Medium-maturing cultivars – Titan, Alicia, ES Visitor, ES Collector, Carmelita (stable yield 2.0–2.1 t/ha, balanced protein and oil content); High-protein production – Calgary, Eri, RZT Sakuza, Adelphia, Nunavik; High-oil production – Fortetsia, Pallada, Tersia, Akardia. Application of the recommended cultivars will enhance yield, seed quality, and economic efficiency of soybean production in various agroclimatic regions of Ukraine.

Keywords: *variety/cultivar, genotype, soybean, adaptability, plasticity, stability, yield, protein content, oil, seed, bulk density, economic and valuable traits, productivity*

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України

1. Крикун С. П.. Моніторинг виробництва *Glycine max* (L.) Merr. в світі. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*, 2024. Вип. 105. Ч. 1: Сільськогосподарські науки. С. 126–137. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-105-1-126-137>.

2. Кравченко В. С., Крикун С. П. Біологічно адаптивний потенціал ранньостиглих сортів сої культурної української та зарубіжної селекції у різних кліматичних зонах України. *Таврійський науковий вісник* 2025. № 142. Частина 1. 144–151. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.18>. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

3. Кравченко В. С., Крикун С. П. Екологічне випробування середньостиглих сортів сої культурної в контрастних умовах довкілля. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Випуск 2 (47). *Сільськогосподарські науки*. 86–92. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.11>. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

4. Кравченко В. С., Крикун С. П. Індивідуальна продуктивність сортів сої культурної різних груп стиглості. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*, 2025. Вип. 106. Ч. 1: *Сільськогосподарські науки*. С. 217–226. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-217-226>. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Кравченко В. С., Крикун С. П. Біологічно адаптивний потенціал ранньостиглих сортів сої в різних кліматичних зонах України. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів.

МІП ім. В.М. Ремелса. 2025. С. 60–61. *(Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).*

6. Кравченко В. С., Крикун С. П. Екологічне випробування середньостиглих сортів сої у різних кліматичних зонах України. Матеріали Міжнародн. науковій інтернет-конференції «Олійні культури: сьогодення та перспективи». Інститут олійних культур НААН, 2025. с. 86–87. *(Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).*

7. Крикун С. П. Кліматичні чинники як детермінанти врожайності сортів сої в зональному розрізі України. *Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів*: збірник тез міжнародної інтернет-конференції, 17 червня 2025 р. / М-во освіти і науки, Уманський НУ. С. 136 – 137. *(Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).*

8. Крикун С. Комплексна оцінка сортів сої культурної за умовами трьох агрокліматичних зон України. *Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових досліджень у виробництво*: зб. матеріалів наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 16-17 жовтня 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 21–23. *(Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).*

ЗМІСТ

ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 ГЛОБАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО СОЇ КУЛЬТУРНОЇ. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ (огляд літератури)	21
1.1. Історія поширення та народно-господарське значення сої культурної.	21
1.2. Сортові ресурси <i>Glycine max</i> (L.) Merr., виробництво в Україні та світі.	24
1.3. Ботанічна характеристика сої культурної (<i>Glycine max</i> (L.) Merril).	35
1.4. Фактори впливу на продуктивність сої культурної (<i>Glycine max</i> (L.) Merril).	36
1.5. Математичне моделювання продуктивності агробіологічних систем	41
Висновки до розділу 1	44
Список використаних джерел до розділу 1	45
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	61
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови періоду досліджень.	62
2.2. Схеми дослідів та методи досліджень	66
Висновки до розділу 2	73
Список використаних джерел до розділу 2	75
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН СОРТІВ СОЇ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ В КОНТРАСТНИХ УМОВАХ ДОВКІЛЛЯ	77
3.1. Період вегетації сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України.	77

3.2. Ріст рослин, формування листкової площі та функціонування листкового апарату сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України	81
3.3. Індивідуальна продуктивність рослин сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України	96
Висновки до розділу 3	111
РОЗДІЛ 4 УРОЖАЙНІСТЬ, АДАПТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА СОРТІВ СОЇ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ	114
4.1. Урожайність та параметри адаптивної здатності сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України.	114
4.2. Структура врожаю та якість зерна сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України.	129
Висновки до розділу 4	162
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОРТОВИХ РЕСУРСІВ СОЇ У РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ	164
5.1. Економічна ефективність використання сортових ресурсів сої.	164
5.2. Енергетична ефективність використання сортових ресурсів сої.	171
Висновки до розділу 5	174
ВИСНОВКИ	177
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	179
ДОДАТКИ	180

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Послідовне підвищення рівня врожайності та скорочення витрат на виробництво постійно покращували конкурентоспроможність сої серед сільськогосподарських культур. Серед олійних культур провідне місце у світовому масштабі посідає соя. В даний час посіви сої складають близько 35 % від загальносвітових посівних площ однорічних і багаторічних олійних культур. Частка цієї культури у світовому виробництві олійних культур прирівнюється до 44 %. Вирощування сої є дуже сконцентрованим географічно, лише на чотири країни – США, Бразилію, Аргентину та Китай – припадає майже 90 % світового виробництва.

Соя є одним із небагатьох варіантів, де можливе значне розширення площ виробництва через попит на цю культуру в підсекторах рослинної олії та кормів, тоді як на відміну від ринку інших бобових культур, які використовуються лише для харчових продуктів.

У контексті глобальних кліматичних змін, посилення вимог до продовольчої безпеки та потреби в розширенні джерел рослинного білка, соя культурна (*Glycine max* (L.) Merr.) набуває особливого значення як високопродуктивна та цінна сільськогосподарська культура. Для України, яка володіє різноманітними агрокліматичними умовами – від посушливого Степу до вологого Полісся – важливим є добір сортів, здатних максимально реалізовувати свій генетичний адаптивно-продуктивний потенціал. Рациональне використання сортових ресурсів сої з урахуванням зонального принципу сприятиме забезпеченню стабільного врожаю, зниження виробничих ризиків і підвищення ефективності агротехнологій.

Сорт у сучасному рослинництві є ключовим фактором отримання стабільного та/або високого врожаю будь-якої сільськогосподарської культури. Світова практика та результати науково-дослідних установ свідчать про те, що у загальному підвищенні врожайності зернових культур на частку

сорту припадає 25–30 %, а найбільш повної реалізації потенційних можливостей сорту можна досягти тільки за цілеспрямованого вирощування з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та реакції на агротехніку й фактори довкілля.

У виробничих умовах високий потенціал сучасних сортів реалізується на рівні близько 50–60 %. Це пов'язано з тим, що стандартна технологія вирощування сої часто застосовується без урахування особливостей сорту та ґрунтово-кліматичних умов регіону. Високу врожайність якісного зерна можна отримати при розробці сортової агротехніки з урахуванням зональних умов вирощування та високої культури землеробства.

Одним з найбільш економічно ефективних заходів є обґрунтована сортозміна. Такий прийом без додаткових витрат може забезпечити збільшення врожаю не менше 0,2–0,3 т/га. У розвинених країнах заміна сортів на «нові», більш продуктивні відбувається раз у три роки. Але, реакція сортів різні агроприйоми неоднозначна. Відзначається їх вибірковість до різних типів ґрунтів, гербіцидів, зрошення та інших факторів. Тому дослідження широкого спектру параметрів адаптивної здатності сортів сої у різних кліматичних зонах України сприятиме науково-обґрунтованій сортозміні у конкретному регіоні та практично значущим напрямом сучасного аграрного виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційну роботу виконано впродовж 2023–2025 рр. відповідно до наукової програми Уманського національного університету «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроєкосистем України» (номер державної реєстрації 0121U112521).

Мета дослідження полягала в аналізі рівня реалізації адаптивно-продуктивного потенціалу сортів сої культурної у природно-кліматичних умовах Степу, Лісостепу та Полісся України з метою обґрунтування зонального добору сортів і формування регіонально-орієнтованих агротехнологій вирощування.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати вплив динамічних умов клімату Степу, Лісостепу та Полісся України на рівень реалізації біологічно-адаптивного потенціалу досліджуваних сортів, зокрема:

- Фенологічні та морфометричні показники рослин;
- Параметри індивідуальної продуктивності рослин;

2. Визначити рівень адаптивності та стабільності сортів за допомогою статистичних і біоекологічних індексів за ознакою врожайності зерна в розрізі кліматичних зон.

3. З'ясувати зміни параметрів якості (вміст олії та білка в зерні) врожаю досліджуваних сортів сої в розрізі кліматичних зон.

4. Надати науково обґрунтовані рекомендації щодо зонального використання сортів сої в системі адаптивного рослинництва.

5. Провести економічний аналіз та біоенергетичну оцінку вирощування досліджуваних сортів в розрізі кліматичних зон.

Об'єкт дослідження – процеси росту та розвитку рослин для формування високого рівня врожайності та якості одержаної продукції за оптимального рівня реалізації біологічного потенціалу сортів сої різних груп стиглості.

Предмет дослідження – гідротермічні умови вегетаційного періоду, фенологічні зміни рослин сортів сої різних груп стиглості, їх біологічні особливості, біометричні показники, складові структури врожаю та адаптивної здатності залежно від факторів довкілля. Біохімічний склад зерна залежно від гідротермічних умов та сортових особливостей.

Методологія і методи дослідження. Під час аналізу огляду літератури було використано наступні методи: діалектичного пізнання процесів і явищ, монографічний, емпіричний, порівняльного аналізу та абстрактно-логічний, моделювання, прогнозування й узагальнення. У наукових дослідженнях згідно теми дисертаційної роботи використано системні підходи, сучасні наукові методи планування і проведення досліджень: польовий і лабораторно-

польовий методи (фізіологічні, хімічні, мікробіологічні). Супутні експериментальні спостереження, обліки й аналізи проводили у відповідності до загальноприйнятих методик дослідної справи. Польовий і лабораторно-польовий методи, лабораторний, виробничий, синтезу, статистичної обробки, зокрема, регресійний кореляційний і дисперсійний аналіз – визначення точності дослідження та розробка моделей сортів; економіко-статистичний – встановлення ефективності технології виробництва об'єкту дослідження.

Наукова новизна полягає в науково-прикладному обґрунтуванні та вирішенні проблеми підвищення продуктивності посівів сої культурної за аналізу загальних закономірностей продукційних процесів сортів різних груп стиглості в динамічних умовах клімату Степу, Лісостепу та Полісся України.

Уперше:

- ✓ Проаналізовано вплив комплексу динамічних умов клімату Степу, Лісостепу та Полісся України на фенологічні, морфометричні показники та параметри індивідуальної продуктивності рослин досліджуваних сортів сої;

- ✓ Уперше на основі порівняльного аналізу комплексних польових досліджень встановлено особливості реалізації адаптивно-продуктивного потенціалу сортів сої у Степу, Лісостепу та Полісся України.

- ✓ Удосконалено підхід до оцінювання адаптивності сортів на основі інтегральних показників адаптивності, стабільності та пластичності за рівнем врожаю, що дозволяє здійснювати більш точний добір сортів для конкретних умов вирощування.

- ✓ Виявлено специфічні реакції окремих сортів на контрастні умови довкілля (волога та температура повітря), що дозволяє сформувати практичні рекомендації щодо сортового районування та оптимізації технологій вирощування.

- ✓ Обґрунтовано ефективність використання сортів з високим адаптивним потенціалом для підвищення продуктивності сої за нестабільних кліматичних умов.

✓ Доведено, що використання екологічної інформації в аналізі випробувань сортів може забезпечити кращу інтерпретацію взаємодії «генотип-середовище», що сприятиме прогнозуванню реакції сортів сої у різних умовах довкілля.

Набули подальшого розвитку:

– наукові положення щодо реалізації адаптивно-продуктивного потенціалу сортів сої різних груп стиглості та статистичні моделі прогнозування високої врожайності залежно від умов довкілля.

Практичне значення одержаних результатів. Оцінено в динамічних умовах Степу, Лісостепу та Полісся України адаптивно-продуктивний потенціал й сформовано колекцію сортів сої культурної (12 – ранньостиглі, 14 – середньостиглі) різного еколого-географічного походження.

Експериментальними дослідженнями виявлено, що в умовах різних кліматичних зон (Степ, Лісостеп і Полісся) України структура врожаю зерна сої значною мірою залежала від біологічних особливостей сорту й групи стиглості. Високу індивідуальну продуктивність відзначено в сортів ранньостиглої групи, Таверна (9,42 г), Ері (9,39 г), Калгарі (9,05 г) та середньостиглої групи Титан (8,4 г), Акардія (8,0 г), Алісія (8,3 г), ЕС ВІЗИТОР (8,7 г), ЕС КОЛЕКТОР (8,4 г). Найбільш ваговите зерно формували сорти Перепілочка, Адельфія, Адесса, ЕС ДЕКОР, РЖТ САКУЗА, Нунавік, Інгуз, Турізас, Дара, Віталіна та Зевс, де показник маси 1000 зерен знаходився у середньому в межах 157–195 г, а натура – 620–781 г/л.

У результаті проведеного дослідження виявлено повну відповідність кліматичних умов України потребам культури для реалізації її біологічного потенціалу – $CVG/CVE = 0,97$ для ранньостиглих та $0,98$ – для середньостиглих сортів. Встановлено рівень відповідності кліматичних умов вимогам середньостиглих сортів сої, де співвідношення коефіцієнтів генетичної та екологічної варіації $(CVG/CVE) = 0,71$ – Полісся, $0,86$ – Степ і $0,89$ – Лісостеп. Загальне співвідношення CVG/CVE становило $0,98$ – повна

відповідність кліматичних умов України вимогам сої для формування стабільного і високого врожаю зерна.

Визначено високоврожайні сорти ранньостиглої групи Таверна (2,20–3,01 т/га), Ері (1,79–3,14 т/га) та Калгарі (1,81–3,15 т/га), середньостиглої – ЕС ВІЗИТОР (1,89–2,80 т/га) і ЕС КОЛЕКТОР (1,83–2,78 т/га) та нестабільно високоврожайний сорт Алісія (1,63–2,96 т/га); стабільні сорти Перепілочка (1,49–1,87 т/га) і Фортеця (1,72–1,92 т/га) показали низьку врожайність, сорти середньостиглої групи – Віталіна (1,30–2,10 т/га), Інгуз (1,41–2,05 т/га), Турізас (1,39–2,16 т/га) і Дара (1,43–2,12 т/га); сорт Таверна – стабільно низьковрожайні.

Основні наукові розробки, отримані у рамках дисертаційного дослідження, апробовано у ФГ «Ром» Черкаської обл., (додатки А1).

Особистий внесок здобувача. Проаналізовано сучасний стан проблеми виробництва сої у локальному та глобальному масштабі, сформульовано робочу гіпотезу, розроблено програму й обґрунтовано методологію досліджень. Проведено комплекс польових і лабораторних досліджень, статистично обраховано та доведено достовірність результатів, опрацьовано й опубліковано їх висновки у наукових виданнях одноосібно та у співавторстві. Частка автора в опублікованих у співавторстві статтях 80 % і полягає у формуванні ідеї, плануванні та виконанні експериментальних досліджень, узагальненні отриманих результатів, підготовці матеріалів до друку. Впровадження розробок у виробництво здійснювалося за безпосередньою участю автора.

Ступінь достовірності і апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднено й обговорено на засіданнях кафедри рослинництва, наукових конференціях: XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (25 квітня 2025 р., с. Центральне) МПП ім. В.М. Ремелса; Міжнародній науковій інтернет-конференції «Олійні культури: сьогодення та перспективи». (26 березня 2025 р., м. Запоріжжя). ІОК НААН, 2025. 140 с.; XVI Міжнародній науково-

практичній конференції «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції» (17 червня 2025 р., м. Чабани) ННЦ «Інститут землеробства НААН України».

Результати роботи демонструвалися на університетських, міських (м. Умань, 2023–2025 рр.), Всеукраїнських і Міжнародних виставках (м. Київ, 2024 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано **8** наукових праць, зокрема, **4** статті – у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, **4** тези доповідей на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 190 сторінках комп'ютерного набору, з них 143 – основного тексту. Дисертація складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, п'яти розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел літератури після кожного розділу, що налічує 170 найменувань, 7 додатків. Робота містить 29 таблиць, 28 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ГЛОБАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО СОЇ КУЛЬТУРНОЇ

БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

ВИРОЩУВАННЯ (огляд літератури)

1.1. Історія поширення та народно-господарське значення сої культурної.

Історія сої є складною та захоплюючою, з багатьма контрастними темами та історіями: походження культури у Східній півкулі та її впровадження в Західній, великомасштабне та дрібне виробництво, пестициди та органічне землеробство, олія та білок, експорт та імпорт, промислові товари та витратні матеріали, біопаливо та продукти харчування; цільні боби, едамаме та продукти переробки, традиційні та сучасні продукти харчування, повноцінне харчування та ізольовані рослинні нутрицевтики. Завдяки широкому спектру застосування соя стала однією з найбільш широковищуваною культурою в світі.

Глобальне споживання білка динамічно зростає, піднявшись із 166 до 244 млн. т між за період 2000–2019 рр., особливо в Азії та Африці [1]. Загалом соя є чудовою кормовою добавкою та одним із найважливіших світових сировинних товарів, у результаті чого у 2020 році світове виробництво склало 360 млн.т [2, 3, 4]. Отож, актуальність досліджень і вирощування сої не викликає сумнівів.

Щоб продемонструвати важливість врожаю сої для глобальної продовольчої безпеки, у цій статті спочатку буде розглянуто її історію, поточні рівні виробництва та широкий спектр застосувань [5]. Зріс інтерес до того, як сільське господарство впливає на видовий склад або структуру ґрунту [6]. Наприклад, однією з основних культур, що вирощуються в усьому світі, яка впливає на екологію, є соя. Ґрунтові бактерії є одними з найважливіших елементів екосистеми. У результаті, враховуючи високий рівень вирощування

сої в усьому світі, перераховано деякі з найважливіших факторів, що впливають на продуктивність сої, причому головну роль відіграє ґрунтова біота, яка включає ризобії та мікоризні гриби [7].

Інформація про темпи виробництва сої в усьому світі може бути використана для збільшення виробництва сої та пом'якшення таких змінних, як стресори, які негативно впливають на врожайність сої. На продуктивність сої істотно впливає дія ґрунтових бактерій. Лише на кілька країн, включаючи США, Бразилію, Аргентину, Китай та Індію, припадає більшість світового виробництва сої [8]. Зокрема, передбачається, що ґрунтова біота не впливає на роботу агроєкосистем і послуги, які вони надають. Єдиною бобовою культурою, яка може бути пов'язана з ризобіями та арбускулярними мікоризними (АМ) грибами серед найбільш широко вирощуваних культур (кукурудзи, рису та пшениці), є соя, яка має потенціал для подальшого використання. Тому необхідні подальші дослідження, які зосереджені на стійкості та підвищенні продуктивності сільського господарства. Вирощування сої може отримати значну користь від взаємозв'язків, подібних до тих, що стосуються грибів АМ. Використання корисних ризосферних мікробів як біодобрив у сільському господарстві розширюється, і необхідні додаткові дослідження, щоб зрозуміти, як різні інокуляти впливають на фізіологію та розвиток сої [9].

Хоча найдавніші історичні свідчення встановлюють використання сої культурної, як харчової культури в північно-східному Китаї приблизно в 1700–1100 роках до нашої ери, існують свідчення, які припускають використання ще в 2500–2300 роках до нашої ери. Цілі боби використовувалися в різних кухнях після варіння або ферментації в пасту. Сою вирощували та використовували в Бірмі, Індії, Індонезії, Кореї, Японії, Малайзії, Непалі, Філіппінах, Таїланді та В'єтнамі до XVI століття нашої ери. Публікація Ліннея *Hortus Cliffortianus* 1737 року містить першу відому згадку про сою в Європі [10]. У 1739 р. сою почали висаджувати як декоративну культуру у Франції, а в 1790 р. – в Англії [11]. Рослини сої були висаджені в Югославії в 1804 році, а їх насіння

використовували для покращення корму для худоби. У сучасному штаті Джорджія використання сої вперше було зареєстровано в Сполучених Штатах у 1765 році. Для виробництва товарів на експорт, таких як маргарин або шортенінг, які ставали все більш популярними в Європі та США, сою вирощували та переробляли.

Незважаючи на те, що багато дослідників пропагували та оцінювали сою як товар, який може задовольнити харчові потреби людини, соєві боби, тим не менш, використовувалися в західній півкулі для отримання рослинної олії, головним чином у виробництві перероблених харчових продуктів [12, 13]. Відкриття в 1917 році того, що кип'ятіння соєвого шроту робить його придатним для використання в якості корму для тварин, дало поштовх розвитку індустрії переробки сої та сучасної сої, яка служить і як олійна культура, і як джерело білка. Після цього США збільшили виробництво так, що до 1970-х років вони забезпечували дві третини світового попиту на сою [14].

Соя є третьою найбільш продаваною культурою в світі – близько 75 млн т. Очікується, що площа виробництва та торгівля сою зростатиме швидше, ніж більшість інших ключових культур, доки попит буде високим [15].

Китай є батьківщиною сої, яка використовується як преміальний корм для тварин і як важливе джерело білка для людей. Крім того, збільшення попиту на виробництво сої є наслідком розширення споживання та значної кількості дієтичних добавок, що містяться в зерні. Маючи понад 23000 сортів по всій Азії, сою вперше одомашнили в Китаї, а потім привезли до США та Бразилії. Можна знайти стислу хроніку глобального поширення сої. Можливо, слово «soya» відноситься до бобів, які використовуються для приготування соєвого соусу [16]. Одним із основних світових постачальників рослинної олії та кормів тваринного білка є соя. Серед дієтичних бобових вона поступається лише арахісу за вмістом олії (18–22%) і має найбільший вміст білка (40–42%) серед інших культур [17].

1.2. Сортові ресурси *Glycine max* (L.) Merr., виробництво в Україні та світі.

Сорт є ключовим чинником формування високої та стабільної врожайності сільськогосподарських культур. За результатами багаторічних досліджень, у різних країнах світу саме сортові особливості сої визначають 30–60 % потенційного рівня урожайності [18, 19, 20].

З огляду на тенденції розвитку аграрного сектору, в Україні прогнозується суттєве збільшення площ під посівами сої, що зумовлює необхідність створення ранньостиглих сортів, стійких до знижених температур у початковий період вегетації [21]. Виведення таких сортів забезпечує можливість ранніх строків сівби за достатніх запасів вологи у ґрунті, а також знижує ризик негативного впливу високих температур під час періоду плодоутворення [22].

Крім того, ранньостиглі сорти сої мають значний агротехнічний потенціал як попередники для озимих культур — пшениці, ячменю та жита. Встановлено, що після вирощування сої врожайність зерна озимої пшениці становить 4,50–5,00 т/га, кукурудзи — 7,00–8,00 т/га, а ячменю — 3,60–4,50 т/га [23, 24, 25, 26].

Удосконалення методів селекції сої та створення високопродуктивних, конкурентоспроможних сортів залишається одним із пріоритетних завдань сучасної аграрної науки України. Наукові установи активно ведуть селекційну роботу зі створення сортів зернового напрямку, а також розвивають новий перспективний напрям — селекцію овочевих сортів сої з пониженим умістом глікопротеїнів і білків-інгібіторів, але з підвищеним умістом білка, цукрів, високою масою 1000 насінин та приємним смаковим профілем [27, 28, 29, 30].

Зокрема, у Науковому центрі генетичних ресурсів рослин України проводиться комплексний скринінг генофонду сої для виявлення поліморфізму за біохімічними характеристиками зерна — вмістом білка, амінокислотним складом, рівнем різних форм вуглеводів, а також за

морфологічними ознаками, зокрема крупністю насіння. Створені інформаційні бази даних на основі цих показників дозволяють підвищити ефективність взаємодії між науковими підрозділами та селекційними програмами, спрямованими на вдосконалення сортових ресурсів сої [31].

У сучасній селекційній практиці значна увага приділяється формуванню стійкості сортів до комплексу несприятливих факторів середовища, що має особливе значення для умов Північно-Східного Лісостепу України, який характеризується періодичними проявами ґрунтової та повітряної посухи, весняних і осінніх похолодань, а також іншими абіотичними стресами [32]. Відомо, що розрив між урожайністю культур за оптимальних і стресових умов зумовлений недостатньою адаптивністю існуючих сортів, які за дії обмежувальних чинників різко знижують продуктивність. Зокрема, результати досліджень на богарних сортовипробувальних станціях Харківської області у 1993–1995 рр. показали, що врожайність сортів сої Харківська 35, Харківська 66 та Харківська зерно кормова варіювала в межах 0,95–1,83 т/га, тоді як на Артемівській сортодільниці за умов зрошення урожайність сорту Харківська зерно кормова досягала 4,00 т/га [33].

Зростання частоти погодних аномалій у регіоні зумовлює потребу у створенні сортів із широким адаптивним потенціалом, здатних стабільно формувати врожай у межах конкретних агроєкологічних ніш. При цьому важливо забезпечити поєднання високої пластичності з потенційною врожайністю, що дозволяє ефективно реагувати на зміну чинників довкілля [34, 35, 36]. Більшість сучасних селекційних програм орієнтовані переважно на підвищення максимальної врожайності сортів у сприятливих умовах, проте часто недооцінюється роль лімітуючих екологічних факторів і складної взаємодії між ними у формуванні нижньої межі продуктивності в роки з несприятливими умовами вирощування [37, 38, 39].

Адаптивність сортів розглядається як інтегральна властивість рослинного організму, що відображає його здатність активно реагувати на

стресові впливи середовища та підтримувати гомеостаз продукційного процесу в межах природних коливань факторів [⁴⁰, ⁴¹].

У провідних країнах світу, зокрема США, оцінка сортів на стабільність врожайності здійснюється з урахуванням їхньої реакції на широкий спектр агрокліматичних умов. Перевагу надають не сортам, які здатні формувати рекордні врожаї за максимально сприятливих умов, а тим, що характеризуються високим і стабільним потенціалом продуктивності як за оптимального, так і за стресового рівня зволоження та температурного режиму [⁴²].

Таким чином, забезпечення стабільного виробництва насіння сої в регіонах із лімітуючими чинниками довкілля, зокрема у Східному Лісостепу України, потребує створення системи сортів різного типу адаптивності, здатних ефективно реалізовувати свій потенціал у широкому діапазоні кліматичних і технологічних умов, гарантуючи стабільне отримання врожаю навіть у роки з аномальними погодними проявами [⁴³].

При виборі сорту одним із ключових аспектів є комплексна оцінка його господарсько-цінних ознак, серед яких першочергове значення мають продуктивність, тривалість вегетаційного періоду, стійкість до осипання та вилягання, а також резистентність до основних хвороб і шкідників. Для зволжених і зрошуваних регіонів важливим показником виступає толерантність до тимчасового перезволоження, тоді як у посушливих агрокліматичних умовах визначальною є посухостійкість [⁴⁴, ⁴⁵; ⁴⁶, ⁴⁷]. Ефективний сорт повинен забезпечувати раціональне використання всіх життєвих факторів протягом усього вегетаційного циклу, оптимізуючи процеси росту, розвитку та формування врожаю. Об'єктивна оцінка та добір сортів для конкретних умов вирощування значною мірою ґрунтуються на результатах регіонального екологічного сортовипробування, яке дозволяє виявити сортотипи з найкращою адаптивною реакцією на фактори середовища [⁴⁸, ⁴⁹, ⁵⁰].

Сучасні сорти сої українського екотипу характеризуються вдосконаленою морфологічною архітектонікою, що є результатом цілеспрямованої селекційної роботи, спрямованої на поєднання високої врожайності з технологічністю обробітку. За оптимальної густоти стояння рослин вони мають прямостоячий тип росту, помірну гіллястість і потовщене стебло, що забезпечує підвищену стійкість до вилягання. Листки, переважно трійчасті, клиноподібної, овально-видовженої або яйцеподібної форми (центральный — симетричний, бічні — асиметричні), характеризуються цілокраїстю і хвилястою зморшкуватістю поверхні, що сприяє оптимізації фотосинтетичної активності рослин [51, 52, 53].

Такі морфотипи добре адаптовані до різних способів сівби — від широкорядного до суцільного рядкового, з можливістю варіювання густоти стояння рослин залежно від умов вирощування. Високе прикріплення бобів нижнього ярусу істотно зменшує втрати під час механізованого збирання врожаю, що є важливим показником технологічної ефективності сорту. Насіння сучасних сортів відзначається підвищеними якісними параметрами, зокрема крупністю, високим вмістом білка і жиру, що зумовлює їх конкурентоспроможність у виробництві та переробці [54, 55, 56, 57].

У результаті проведеного аналізу наявних у Державному реєстрі сортів рослин України на 2024 рік [58] сортів сої культурної встановлено, що чверть сортів, а саме 85 сортів — середньостиглі, 27 % або 92 сорти — ранньостиглі, з невідомих причини значна частка сортів — а саме 64 або 19 зареєстровані без вказання групи стиглості, 17 % або 56 сортів скоростиглих, 11 % або 39 сортів середньостиглих і лише 1 % або 3 сорти — пізньостиглі.

Такий розподіл можна пояснити ґрунтово-кліматичними умовами України, у зонах, де вирощується соя. У Степу зосереджено виробництво сої ранньо- і середньостиглих сортів, у Лісостепу і Поліссі — ранньо- і скоростиглих. Умови навколишнього середовища, в окремі роки, просто-напросто не дають змоги реалізувати біологічний потенціал більш пізніх

сортів за рахунок тривалої прохолодної весни (у Поліссі), нестачі вологи і підвищений температурний фон (у Лісостепу і Степу), (рис. 1).

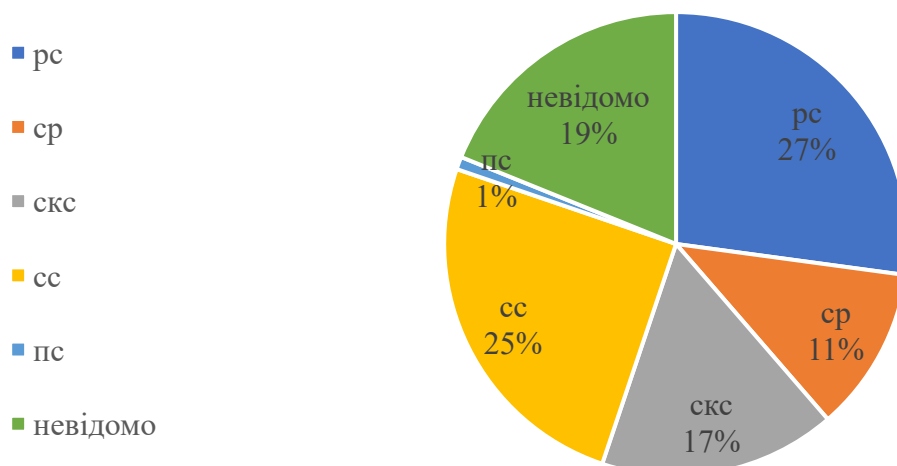


Рисунок 1.1. Розподіл сортів сої за групами стиглості в Державному реєстрі сортів рослин України на 2024 рік [59]

Майже половина 143 або 42 % сортів рекомендовані для вирощування у Степу, Лісостепу і Поліссі, 18 % або 62 сорти рекомендовані до вирощування у Лісостепу і Поліссі. До цієї категорії і ввійшли саме ранньо- і середньостиглі сорти. З невідомих причин у Реєстрі відсутні дані рекомендованої зони вирощування 19 сортів, що складає 6 % від загальної кількості (рис. 2).

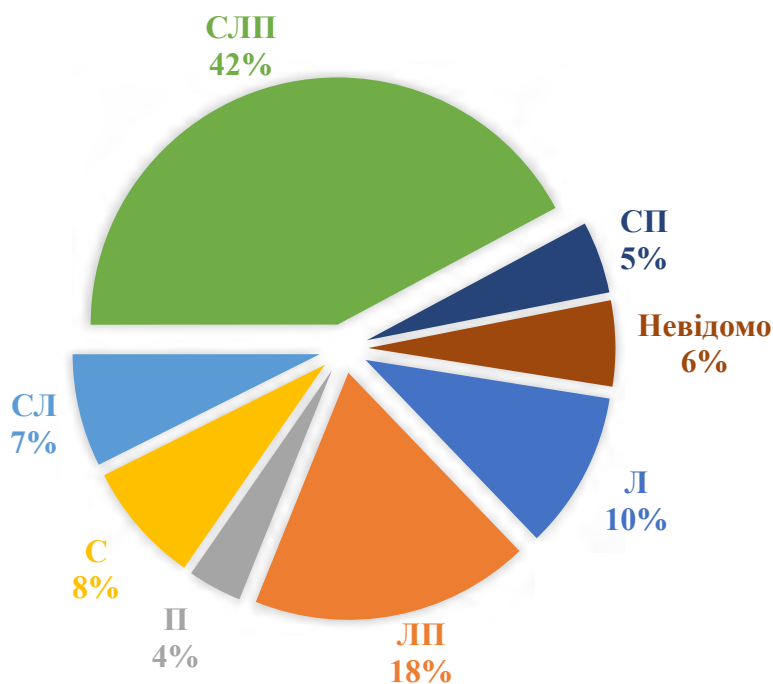


Рисунок 1.2. Розподіл сортів сої за рекомендованими зонами вирощування в Державному реєстрі сортів рослин України на 2024 рік

Аналіз розподілу сортів сої звичайної за країнами-заявниками показав, що більшість зареєстрованих сортів іноземного походження – 60 % або 204 сорти, серед них: Канада – 69 сортів або 20 %, Франція – 38 сортів або 11 %, Австрія – 28 сортів або 8 %, усі інші країни заявники представили 69 сортів, що складає 21 %. Сортів української селекції 135, що складає 40 % від загальної кількості (339 сортів), (рис. 3).

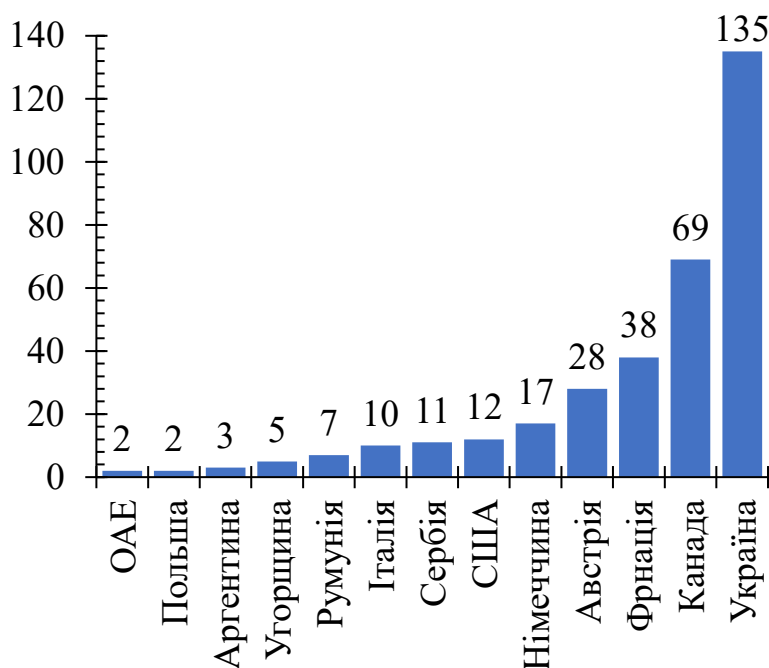


Рисунок 1.3. Розподіл сортів сої за країнами-заявниками в Державному реєстрі сортів рослин України на 2024 рік

Аналіз світових змін виробництва зерна сої показав, що за період з 1961 до 2022 р. врожайність культури зросла на 131,02 %, загальносвітові площі вирощування – на 461,71 %, а валовий врожай на 1197,68 % (рис. 4).

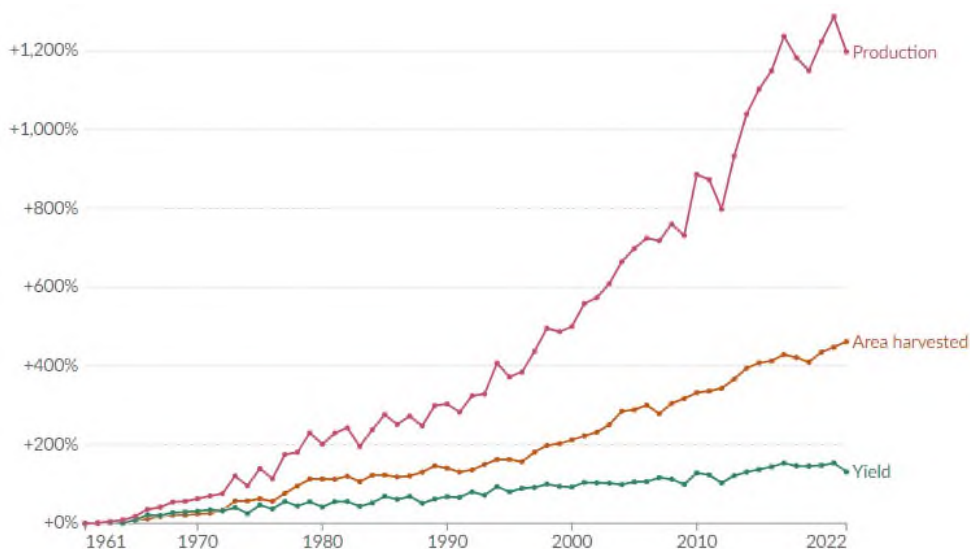


Рисунок 1.4. Динаміка виробництва сої у світі (1961–2022)

Дані ФАО показали, що в Україні була подібна динаміка до загально світової, але за коротший період. З 1992 до 2022 року середня врожайність культури зросла на 187,77 %. Посівні площі досягали свого максимуму в 2015 році, де збільшення відносно 1992 складало 2091,21 %, а в 2022 році цей показник знизився до 1466,97 %. При цьому валовий збір зростав на 5741,0 % у 2018 році і знизився до 4409,36 % у 2022.

Зростання середньої врожайності сої можна пояснити покращенням технології вирощування та селекційною роботою впродовж такого тривалого періоду.

Згідно даних ФАО [60] та Воегема А. З співавторами [61] абсолютними лідерами виробництва зерна сої в світі у середньому за 2006–2022 рр. є США, які використовують лише 6 % орних земель для виробництва 97,9 млн.т або 33,36 % загальної світової пропозиції сої, Бразилія (92,6 млн.т або 31,56 %) і Аргентина (48,8 млн.т або 16,63 %). Сумарне виробництво вищезгаданих країн складає 81,56 % від валового світового. Частка інших країн світу складає у середньому 18,4 %.

Аналізуючи дані таблиці 1 прослідковується динаміка стабільного нарощування валового виробництва зерна сої всіма країнами-лідерами, за виключенням Мексики. Середньосвітовий показник валового виробництва зерна сої від 2006 до 2022 року збільшився на 74,60 %.

У розрізі країн-лідерів за виробництвом сої склалася наступна динаміка: США – 43,56 %, Бразилія – 52,63 %, Аргентина – 28,40 %, Китай – 16,21 % Індія – 60,0 %, Парагвай – 88,38 %, Канада – 102,79 %, Мексика – 116,38 %, ЄС – 116,38 % [62, 63, 64, 65].

Таблиця 1.1

**Лідери виробництва та світове виробництво сої, млн, т,
(2005–2022)**

Рік	США	Бразилія	Аргентина	Китай	Індія	Парагвай	Канада	Мексика	ЄС	Інші	Валовий збір
2006	83,6	57,0	40,5	16,4	7,0	3,6	3,2	0,2	1,3	8,2	220,8
2007	87,0	59,0	48,8	15,1	7,7	5,6	3,5	0,1	1,4	8,1	236,2
2008	72,9	61,0	46,2	12,7	9,5	6,0	2,7	0,1	0,8	7,2	219,0
2009	80,7	57,8	32,0	15,5	9,3	3,6	3,3	0,2	0,7	8,8	212,0
2010	91,5	69,0	54,5	15,0	9,7	6,5	3,6	0,1	1,0	9,7	260,5
2011	90,7	75,3	49,0	15,4	10,1	7,1	4,4	0,2	1,2	11,3	264,7
2012	84,3	66,5	40,1	14,9	11,9	4,0	4,5	0,2	1,2	13,2	240,8
2013	82,8	82,0	49,3	13,4	12,2	8,2	5,1	0,2	0,9	14,8	269,0
2014	91,4	86,7	53,4	12,4	9,5	8,2	5,4	0,2	1,2	14,9	283,2
2015	106,9	97,2	61,5	12,7	8,7	8,2	6,0	0,4	1,8	17,4	320,7
2016	106,9	95,7	58,8	12,4	6,9	9,2	6,5	0,3	2,3	16,5	315,4
2017	116,9	114,9	55,0	13,6	11,0	10,4	6,6	0,5	2,4	18,8	350,2
2018	120,1	123,4	37,8	15,3	8,4	11,0	7,7	0,4	2,5	17,5	344,2
2019	120,5	119,7	55,3	16,0	10,9	8,5	7,4	0,3	2,7	19,9	361,3
2020	96,7	128,5	48,8	18,1	9,3	10,1	6,1	0,2	2,6	19,0	339,4
2021	112,5	137,0	47,0	19,6	10,5	9,9	6,4	0,2	2,6	18,4	364,1
2022	119,9	144,0	52,0	19,0	11,2	10,5	6,4	0,3	2,8	19,4	385,5
X	97,9	92,6	48,8	15,1	9,6	7,7	5,2	0,3	1,7	14,3	293,4

Наведені абсолютні дані в таблиці 2 свідчать, що продуктивність культури, очевидно, внаслідок успішної селекції у середньому за країнами зросла на 19,66 %. У розрізі країн-лідерів за виробництвом зерна сої найбільше зросла продуктивність у Парагваї – 102,73 % та Бразилії – 39,0 %. В той час як у США цей показник був досить високим і в 2006 році.

На основі огляду літературних джерел можна зробити припущення, що в ряді країн (США, Бразилія, Аргентина, Парагвай, Канада та ЄС) нарощування виробництва сої пішло інтенсивним шляхом, а в інших (Китай, Індія, Мексика та ін.) – екстенсивним, за рахунок розширення посівних площ.

Таблиця 1.2

Продуктивність сої у світі, т/га, (2005–2022)

Рік	США	Бразилія	Аргентина	Китай	Індія	Парагвай	Канада	Мексика	ЄС	Інші
2006	2,9	2,6	2,7	1,7	0,9	1,5	2,7	1,9	2,9	1,5
2007	2,9	2,9	3,0	1,6	0,9	2,3	2,9	1,5	2,5	1,4
2008	2,8	2,9	2,8	1,5	1,1	2,3	2,3	1,4	2,1	1,3
2009	2,7	2,7	2,0	1,7	1,0	1,4	2,8	2,0	2,7	1,5
2010	3,0	2,9	2,9	1,6	1,0	2,4	2,5	1,9	2,7	1,6
2011	2,9	3,1	2,7	1,8	1,1	2,5	3,0	1,1	2,8	1,6
2012	2,8	2,7	2,3	1,8	1,2	1,4	2,9	1,3	2,7	1,8
2013	2,7	3,0	2,5	1,8	1,1	2,6	3,0	1,7	2,2	1,8
2014	3,0	2,9	2,8	1,8	0,8	2,5	2,9	1,5	2,6	1,8
2015	3,2	3,0	3,2	1,8	0,8	2,5	2,7	1,9	3,2	1,8
2016	3,2	2,9	3,0	1,8	0,6	2,7	2,9	1,4	2,7	1,7
2017	3,5	3,4	3,2	1,8	1,0	3,1	3,0	1,8	3,0	1,9
2018	3,3	3,5	2,3	1,9	0,8	3,1	2,6	1,6	2,7	1,6
2019	3,4	3,3	3,3	1,9	1,0	2,4	2,9	1,8	2,9	1,9
2020	3,2	3,5	2,9	1,9	0,8	3,1	2,7	1,6	2,9	1,8
2021	3,4	3,5	2,8	2,0	0,8	3,1	3,1	1,5	2,7	1,8
2022	3,4	3,6	3,0	2,0	0,9	3,0	2,9	1,6	2,9	1,8

Найбільшими експортерами виробленого зерна сої є її найбільші виробники: США, Бразилія, Аргентина. У середньому за роки експорт цими країнами складає 84,6 % від світового. Найбільше експортує зерна сої Аргентина – 43,9 %. Найменше експортують зерна сої Канада, Мексика та ЄС

за рахунок внутрішнього споживання тваринництвом та переробкою на інші продукти. Основна частина сої, вирощеної в Південній Америці, продається в Китай, тоді як більшість сої, вирощеної в США (і майже вся в Китаї), споживається на місці [66] (табл. 3).

Таблиця 1.3

**Найбільші експортери зерна сої у світі, млн. т,
(2005–2022)**

Рік	США	Бразилія	Аргентина	Китай	Індія	Парагвай	Канада	Європейський союз	Інші	Валовий експорт
2006	7,301	12,895	24,222	0,357	4,268	0,785	0,129	0,714	1,570	52,245
2007	7,987	12,715	25,625	0,867	4,143	1,096	0,137	0,544	1,580	54,699
2008	8,384	12,138	26,816	0,634	5,285	1,072	0,120	0,422	1,184	56,063
2009	7,708	13,109	24,025	1,017	3,808	1,076	0,082	0,464	1,549	52,844
2010	10,125	12,985	24,914	1,181	3,117	1,124	0,126	0,471	1,560	55,609
2011	8,238	13,987	27,615	0,472	5,169	1,018	0,210	0,609	1,562	58,887
2012	8,845	14,678	26,043	0,966	4,877	0,505	0,173	0,884	1,723	58,705
2013	10,111	13,242	23,667	1,365	4,943	2,020	0,245	0,536	2,252	58,394
2014	10,504	13,948	24,972	2,017	3,252	2,428	0,241	0,296	2,971	60,648
2015	11,891	14,290	28,575	1,595	1,521	2,569	0,212	0,362	3,380	64,410
2016	10,843	15,407	30,333	1,909	0,409	2,552	0,335	0,304	3,788	65,894
2017	10,505	13,762	31,323	1,111	2,019	2,379	0,291	0,734	3,334	65,471
2018	12,717	16,032	26,265	1,198	1,863	2,628	0,357	0,770	3,975	65,820
2019	12,191	16,093	28,810	0,932	2,185	2,333	0,425	0,753	4,385	68,115
2020	12,770	17,499	27,461	1,012	0,886	2,138	0,329	0,875	4,927	67,904
2021	12,927	16,500	28,250	1,250	1,800	2,050	0,385	0,800	4,394	68,362
2022	12,973	16,650	29,200	1,250	1,700	2,250	0,379	0,850	4,589	69,849

Валове виробництво зерна сої в Україні у 2023 році складало 4,778 млн. т з середньою врожайністю 2,6 т/га. Ранжування областей за середньою врожайністю показало істотне варіювання. Найнижчу врожайність сої

отримували у Степу (Миколаївська, Херсонська, Одеська, Кіровоградська, Запорізька і Донецька обл.) – 1,5–2,0 т/га, в цій же зоні і відзначено мінімальні валові збори зерна сої.

Найвищу середню врожайність отримано у Тернопільській (3,0 т/га) і Івано-Франківській (3,5 т/га) областях, всі інші області Лісостепової і Поліської зон характеризувалися врожайністю в межах 2,2–2,9 т/га. (рис. 5).

У 2024 році середня врожайність сої в Україні відзначена на рівні 2,03 т/га. Натомість в США встановлений новий рекорд з урожайності сої 14,6 т/га у поточному році. Фермер зі штату Джорджія Алекс Харрелл побив рекорд урожайності сої з результатом 14,67 т/га. Минулого цей показник становив 13,9 т/га. Досягнуто цього показника врожайності було завдяки використанню зрошення і сорту Pioneer P49Z02E з шириною міжряддя 75 см, густина посіву 270 тис. росл./га [67]. Тож українським виробникам є до чого прагнути!

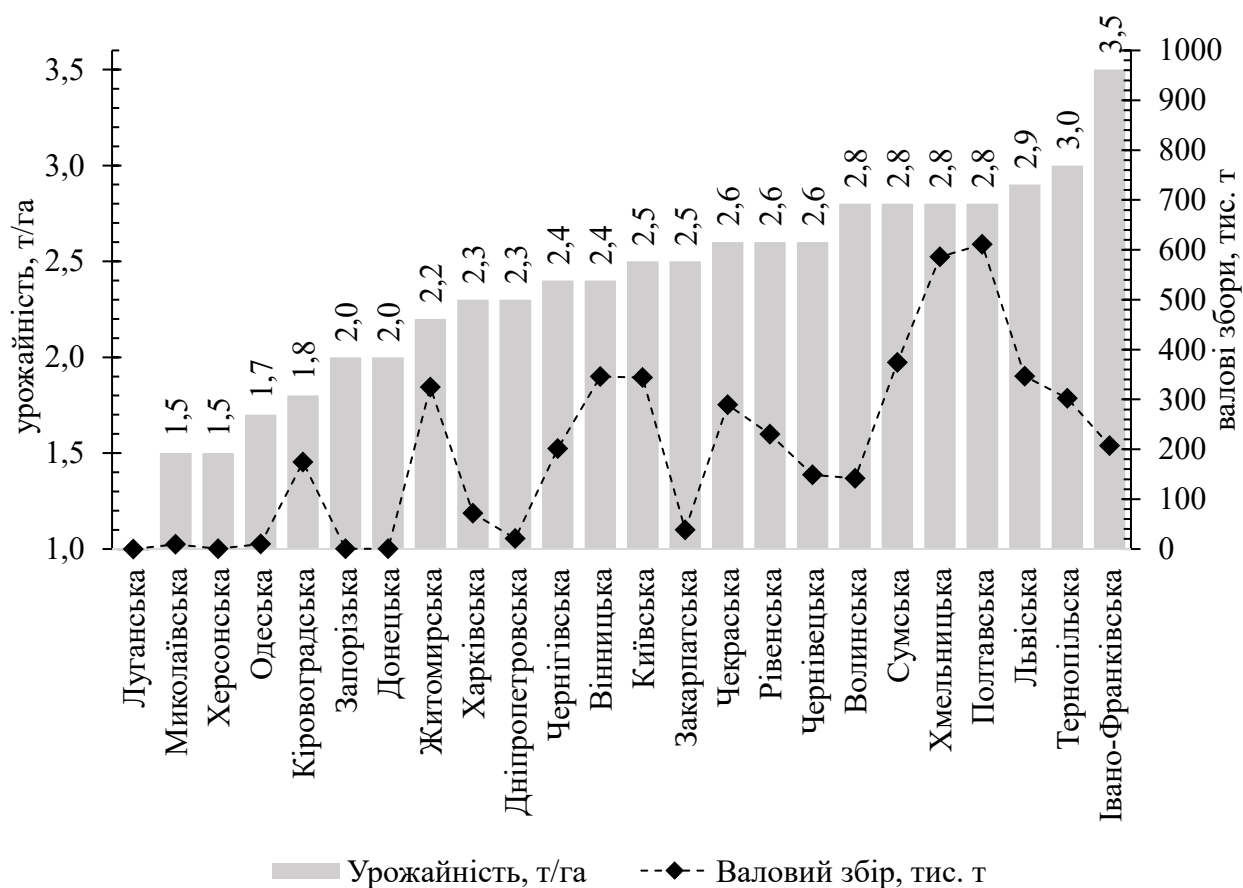


Рисунок 1.5. Посівні площі та середня врожайність зерна сої в Україні у 2023 році

За валовими зборами зерна сої відзначилися Полтавська (13 %), Хмельницька (12 % або 586,0 тис. т), Сумська (8 % або 374,4 тис. т), Львівська, Вінницька, Київська, Житомирська по 7 %, усі інші – 6 % і менше.

1.3. Ботанічна характеристика сої культурної (*Glycine max* (L.) Merril).

Знання ботаніко-біологічних особливостей сої є необхідним, оскільки від характеру прояву цих ознак і реакції сортів на умови вирощування залежить добір меліоративних та агротехнічних прийомів і підвищення ефективності застосовуваних технологій [68, 69, 70, 71, 72].

У сучасній систематиці соя належить до родини бобових *Fabaceae* Lindl. (*Leguminosae* Juss.), підродини *Papilionaceae*, роду *Glycine*. Соя культурна має назву *Glycine max* (L.) Merril [73, 74].

Морфологія. Для сої характерна значна мінливість ознак рослини, листка, квітки й суцвіття, боба та насінини [75, 76, 77]. Особливого значення в посушливих умовах вирощування агроценозу, на малородючих ґрунтах, набуває коренева система. Її розвиток залежить від багатьох чинників, зокрема від застосування меліоративних та агротехнічних заходів. За зрошення на чорноземах Півдня України основна маса коренів (70–80 %) розміщувалася у шарі 0,2–0,3 м [78, 79], а за підтримання передполивного режиму зволоження важкосуглинкового ґрунту на рівні 80 % НВ проникнення головного кореня в глибину сягало 1,3 м, тоді як за нестачі вологи — лише 0,8 м [80].

Чим менша вегетативна маса сорту, тим слабше розвинена його коренева система. У скоростиглих форм корені на початку ростуть значно швидше, ніж у пізньостиглих. Правильний добір сортів і вдосконалення методів обробітку ґрунту дозволяють створити оптимальні умови для росту кореневої системи [81, 82].

На коренях сої формуються бульбочки, що зумовлено проникненням бульбочкових бактерій *Azotobacter* через кореневі волоски. У місці

проникнення бактерій з повітря фіксується вільний азот. Соя використовує азотні сполуки з бульбочок, а бактерії отримують від рослини необхідні для свого існування вуглеводи [43, 50].

Стебло у сої кущової форми, прямостояче, циліндричне, жорстке, при досяганні дерев'яніє. Висота стебла коливається в широкому діапазоні й в середньому в районованих сортів становить 0,6–1 м. Хоча існують короткостеблові морфобіотики зі стеблом завдовжки 0,5 м та дуже коротким — 0,3 м [83, 84].

Важливий вплив на архітектуру рослини має тип росту [85]:

- *індетермінантний* — стебло тривалий час продовжує рости та формувати нові генеративні органи. Для таких сортів доцільно застосовувати меліоративні й агротехнічні заходи для посилення росту стебла та підвищення врожайності⁸⁶;
- *детермінантний* — після цвітіння стебло майже не росте; такі сорти стійкіші до вилягання і краще реагують на зрошення та удобрення;
- *напівдетермінантний* — після початку цвітіння стебло ще певний час росте; завдяки ранньому й дещо розтягнутому цвітінню сорти цього типу ефективніше використовують вологу та добре підходять для вирощування без зрошення [87, 88].

Кількість гілок у рослин значною мірою залежить від площі живлення: при її збільшенні у 2–3 рази зростає розгалуженість і кількість гілок може досягати 8–9 на рослину. Добра здатність сорту до гілкування є компенсаторним механізмом при зрідженні посіву внаслідок низької схожості насіння, забезпечуючи підвищення врожайності за рахунок посилення гілкування у вцілілих рослин [89, 90].

Справжні листки у сої — складні, з прилистками, складаються з трьох листочків. У культурних форм *Glycine max* (L.) Merrill трапляються варіанти з 5 і більше листочками, але існують мутанти із п'ятилисточковими листками — перспективні для селекції в умовах зрошення [91, 92].

Форма листочків у культурної сої різна: овальна, ланцетоподібна, округла, широкояйцеподібна тощо [93]. Усі частини рослини вкриті волосками світлого або темного кольору. Світле або сіре опушення зменшує перегрівання, тоді як темне (коричнєве) сприяє кращому поглинанню теплової енергії [94].

Квітки дрібні, малопомітні, зібрані у китицю з 2–4 до 25 і більше квіток [95, 96].

Плід сої — біб, який формується з одного плодолистка, складається з двох половинок, з'єднаних швами. У деяких форм боби розтріскуються, що призводить до втрати насіння і зниження врожаю. Сучасні сорти, як правило, мають добру стійкість до розтріскування [97].

Боби можуть бути прямими, зігнутими або проміжної форми, завдовжки 3–7 см. У бобі зазвичай міститься 2–3 насінини (рідше 1 або 4). Важливою господарською ознакою є висота прикріплення нижніх бобів (3–30 см). У більшості виробничих сортів вона становить 8–17 см. Занадто низьке прикріплення призводить до втрат під час збирання, а надто високе — до зниження врожайності [98].

Насіння за формою — від кулястої до овально-плескатої, кольору жовтого, зеленого, коричневого, чорного з різними відтінками та пігментацією. За масою 1000 насінин виділяють: дуже дрібні (<40 г), дрібні (40–99 г), середні (100–149 г), великі (150–199 г), дуже великі (200–259 г), надвеликі (260–309 г) та винятково великі (>310 г). Дрібне насіння зазвичай формується в посушливих умовах, а середнє й велике — за зрошення [99, 100].

Біологічні особливості. Широке поширення сої в різних ґрунтово-кліматичних зонах світу свідчить про її високу пластичність [101].

Соя — типова культура короткого дня, дуже чутлива до зміни довжини світлового дня, особливо до масового цвітіння. Значна внутрішньовидова мінливість за реакцією на фотоперіод обмежує розширення ареалу кожного сорту, тому більшість з них адаптовані до вузьких широтних поясів [102, 103].

Для отримання високого врожаю доцільно вирощувати сорти, створені або випробувані безпосередньо в зоні вирощування [104,].

Найбільша потреба у світлі припадає на період формування бобів, особливо для рівномірного освітлення нижнього ярусу, де зосереджена основна маса асиміляційного апарату. Кількість бобів прямо пропорційна рівномірності освітлення під час цвітіння [105, 106].

Потреба в теплі зростає від проростання насіння (оптимум 15–20 °C) до цвітіння й наливу насіння (17–25 °C), а під час досягання знижується (18–20 °C). Для південних екотипів сума активних температур за вегетацію становить 2800–3500 °C [107, 108].

Соя належить до вологолюбних культур і відзначається високою реакцією на зрошення. Її транспіраційний коефіцієнт коливається від 390 до 1000 залежно від сорту та умов вирощування [109].

Вона здатна рости на різних типах ґрунтів, але найвищі врожаї дає на родючих, пухких, добре прогрітих, з оптимальним рН 6,5 [110, 111, 112].

Соя споживає багато поживних елементів: для формування 1 т зернова виносить із ґрунту 77–100 кг азоту, 17–40 кг фосфору і 32–40 кг калію [113, 114].

Аналіз морфологічних і біологічних ознак сої свідчить, що це світло- і вологолюбна культура, добре реагує на удобрення та мінеральне живлення, має значний потенціал поширення у регіонах із тривалим безморозним періодом і достатніми запасами вологи для зрошення [115].

1.4. Фактори впливу на продуктивність сої культурної (*Glycine max* (L.) Merrill).

Абіотичні фактори. Посуха може скорочувати тривалість вегетаційного періоду рослин та обмежувати їх вегетативний розвиток у більш сухих умовах. Це призводить до меншої кількості бобів та зменшення кількості або розміру насінин у бобі. Посуха може бути головним чинником втрат врожаю в багатьох регіонах світу, особливо на півдні [116, 117, 118]. У посушливі роки зрошення може запобігти таким втратам, однак доступність води та

вартість облаштування й утримання систем зрошення можуть бути надмірно високими.

Затоплення також становить загрозу, оскільки корені сої, що перебувають під водою, не здатні витримувати вплив несприятливих чинників протягом кількох днів [¹¹⁹]. Навіть якщо рослини виживуть, спостерігатиметься зниження темпів розвитку та формування насіння. Це може призвести до значних втрат продуктивності, коли рослини гинуть, або витрачають енергію на відновлення пошкодженої кореневої системи замість вегетативного росту та утворення бобів [¹²⁰].

Хоча на добре дренованих полях імовірність затоплення менша, надмірні опади все ж можуть спричинити пошкодження більшості культур. Крім того, соя є дуже чутливою до заморозків і зазнає пошкоджень при температурах нижче нуля. У багатьох помірних регіонах згубні заморозки можуть виникати як невдовзі після появи сходів, так і перед досягненням повної стиглості наприкінці вегетаційного сезону. Рослини, ушкоджені морозом, відновленню не підлягають, однак пошкодження на ранніх етапах можна частково компенсувати повторним висівом насіння [¹²¹].

Ще одним абіотичним обмеженням є наявність поживних речовин у ґрунті: для досягнення максимальної продуктивності сої необхідний достатній їх запас. За низького рівня забезпеченості ґрунту елементами живлення можуть вноситися добрива. Інші сталі методи, такі як раціональне чергування культур, відповідний обробіток ґрунту та внесення ґрунтових поліпшувачів, також сприяють отриманню високого врожаю [¹²²].

Через чутливість до підвищеної засоленості ґрунту в окремих районах соя може пригнічуватися, що зумовлює зниження життєздатності та продуктивності рослин, слабкий розвиток кореневої системи та хлороз листків [¹²³].

Фотоперіод контролює ріст і цвітіння сої. Для селекційної роботи ступінь стиглості є важливою характеристикою. У США визнано тринадцять груп стиглості (MG), які пронумеровані від 000 до X [¹²⁴]. Групи стиглості

охоплюють діапазон від MG 000 — сортів, що добре ростуть у найпівнічніших зонах вирощування, до MG X — сортів, що досягають оптимальної продуктивності ближче до екватора. Поділ сортів на групи стиглості здебільшого зумовлений реакцією на фотоперіод.

Насіння сорту MG 000, висіяне в районі з коротшим фотоперіодом, зацвіте надзвичайно рано, ще у фазі невеликої вегетативної маси, що знизить врожайність [125]. Навпаки, насіння сорту MG X, висіяне в зоні з довшим фотоперіодом, утворить рослини, які продовжуватимуть інтенсивно рости вегетативно, досягаючи великих розмірів, але не зацвітатимуть і не утворюватимуть насіння до настання згубних холодів.

Зміни погодно-кліматичних умов, спричинені глобальними кліматичними змінами, впливатимуть на агроекологічні зони через коливання температури та кількості опадів, що матиме значний вплив на сільське господарство. Певні зміни, наприклад підвищення рівня CO₂, можуть підвищувати фотосинтетичну продуктивність культур і, зокрема, зменшувати або посилювати значення окремих хвороб [126].

Менш сприятливими є температурні та опадові екстремуми, які впливатимуть на врожайність як безпосередньо, так і опосередковано. Це явище підтверджено для основних продовольчих культур у світі та сої зокрема [127].

Під час трирічного дослідження сої за підвищеного вмісту CO₂ в атмосфері у всіх дослідних ділянках спостерігалось зменшення вмісту органічної речовини в ґрунті. Посилення мінералізації органічної речовини може мати довготривалі наслідки для родючості ґрунту.

Біотичні фактори. Порівняння даних із першого видання *Довідника із хвороб сої*, який охоплював 50 хвороб, із найновішим виданням цієї книги, що містить опис понад 300 хвороб, свідчить про зростання як значення, так і рівня знань про збудників сої. У нещодавніх оглядах було розглянуто кілька найважливіших захворювань [128]. Збільшення кількості хвороб і поширення їх у світі зумовлене інтенсивним виробництвом та розширенням площ у нових

регіонах. У районах вирощування, де сою висівають щороку або навіть через рік, пропагули різних типів, що продукуються патогенами, накопичуються до щільності, яка спричиняє значні втрати врожаю. Щороку паразитичні мікроорганізми, включаючи віруси, нематод, гриби, бактерії та ооміцети, завдають сої економічної шкоди. Подібна ситуація спостерігається і з шкідниками сої — попелиці, жуки, кліщі та клопи-щитники є лише деякими з комах, що спричиняють значні економічні втрати врожаю сої [129].

Патогени та шкідники уражають усі частини рослини — від коренів до насіння. Економічні втрати визначаються видом патогена/шкідника, ураженою тканиною, кількістю уражених рослин, інтенсивністю ураження, впливом факторів довкілля, сприйнятливістю культури, рівнем стресу рослин та фазою їх розвитку [130]. Втрати від хвороб оцінюють у 11%, однак ці дані можуть бути неточними через відсутність порівняльних даних про значні втрати врожайності та недостатній глобальний моніторинг спалахів хвороб і шкідників. Для ефективного зменшення втрат, спричинених хворобами та шкідниками, може знадобитися використання різних методів окремо або в комбінації. До таких методів належать застосування пестицидів, створення стійких сортів, а також агротехнічні заходи та санація насіння [131].

1.5. Математичне моделювання продуктивності агробіологічних систем

Застосування математичних методів аналізу, зокрема кореляційного та регресійного, у наукових дослідженнях мало особливе значення в контексті поглибленого розуміння закономірностей розвитку та продуктивності рослинних організмів. Цим питанням присвячено значну кількість наукових праць таких відомих дослідників, як Ч. Дарвін, та ін. [132, 133, 134, 135, 136], які заклали підґрунтя для подальшого використання статистичних і математичних методів у біологічних дослідженнях.

У біологічних системах ознаки мають тенденцію до автокореляції та взаємної компенсації, що зумовлено складними механізмами генетичних, фізіологічних та онтогенетичних взаємодій [137, 138, 139]. Саме тому вивчення кореляційних зв'язків між господарсько цінними ознаками рослин у різних агроценотичних умовах є ключем до розуміння складної структури взаємозалежності між компонентами продуктивності. такі дослідження можуть обґрунтовувати припущення щодо неоднозначності прояву зв'язків між окремими кількісними ознаками за різними екологічними та генетичними умовами [140].

Слід зазначити, що жодна ознака не реалізується ізольовано, оскільки її прояв є результатом складної взаємодії генотипу з умовами навколишнього середовища, де всі фактори діють синергетично, створюючи динамічну систему взаємозв'язків. Неможливість повного й адекватного врахування всіх екзогенних та ендегенних факторів, які впливають на реалізацію генетичної інформації у фенотипі, значною мірою обмежує ефективність традиційних статистичних моделей та кореляційних залежностей [141, 142, 143].

У зв'язку з цим логічним продовженням розвитку методів аналізу продуктивності рослин стало формування концепції еколого-генетичних моделей, що описують процес реалізації генотипу у фенотипі [144, 145, 146], такі моделі обґрунтовуються на ієрархічному принципі організації ознак в онтогенезі та їх відповідності етапам органогенезу. Оскільки кожен етап кількісного розвитку ознаки демонструє зростання складності генетичної системи, взаємозв'язок між компонентами моделі можна трактувати як показник ступеня динамічної неупорядкованості у взаємодії структурних елементів генетичного апарату.

Структурно модель представлена системою модулів, кожен із яких утворюється трьома взаємопов'язаними ознаками: результуючої та двома компонентами, які відображають фенотипічну реалізацію певної генетичної формули. Використання подібних модулів дає можливість кілька оцінити специфіку генної організації, виділену для конкретних генотипів [86; 148; 147].

Враховуючи, що будь-яка біологічна система розвивається під безперервним впливом факторів довкілля, змінюється в одному з них, особливо коли він виступає лімітуючим, спричиняючи структурні системи перебудови та переформатування взаємодії між модулями [147].

Поєднання методів кластерного та регресійного аналізів з традиційними підходами у рослинництві забезпечує глибше розуміння закономірностей формування продуктивності, сприяє побудові багатофакторних моделей і дозволяє створити обґрунтовані прогнози ефективності. Це, у свою чергу, забезпечує максимальну реалізацію генетичного потенціалу рослин, дозволяючи адаптувати технологічні елементи до індивідуальних біологічних особливостей генотипу [148, 149, 150, 151].

Сучасний розвиток комп'ютерного моделювання відкриває нові перспективи для дослідження біологічних систем, оскільки цей метод є економічно доступним, інформативним та ефективно ефективним інструментом для аналізу мультипараметричних процесів. Попри певні розбіжності між отриманими моделями та фактичними результатами, моделювання залишається одним із вихідних шляхів узагальнення знань про функціонування складних систем і дедалі розглядається як самостійний науковий експеримент [152, 153, 154].

Таким чином, в сучасних умовах розвитку аграрного виробництва в Україні залишився недолік у вдосконаленні технологічних елементів вирощування їх шляхом інтеграції математичних, біологічних і агротехнічних підходів. Комплексне використання кореляційного, регресійного, кластерного аналізів і методів комп'ютерного моделювання дозволяє не лише розкрити закономірності формування продуктивності, а й оптимізувати технологію вирощування відповідно до біологічних потреб сортів. Враховуючи, що математичні моделі індивідуального розвитку рослин з її досі залишаються недостатньо вивченими, дослідження цього напрямку є беззаперечно актуальним і має вагоме теоретичне та практичне значення для підвищення ефективності виробництва.

Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналітичного огляду, досліджено світовий ринок сої, динаміку нарощування виробництва, продуктивності культури впродовж 50-ти років, та країн-лідерів з виробництва зерна сої за період 2006–2022 рр.

Встановлено, що сортові ресурси сої культурної мають важливе значення у врожайності. Виявлено, що основним напрямом селекції сої культурної є створення та впровадження у виробництво врожайних і технологічних, ранньо- і середньостиглих сортів для реалізації біологічного потенціалу в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України.

Потенційний споживач, користуючись Державним реєстром сортів рослин, придатних для поширення в Україні може добирати сорти сої культурної за групою стиглості для різних зон вирощування та вмістом білка.

Список використаних джерел до розділу 1

-
- 1 FAO Statistics. Statistical Yearbook: World Food and Agriculture. веб-сайт. URL: <https://www.fao.org/3/cb4477en/cb4477en.pdf>. (дата звернення 01.10.2024).
- 2 Statista. веб-сайт. URL: <https://www.statista.com/statistics/263926/soybean-production-in-selectedcountries-since1980/>. (дата звернення 01.10.2024).
- 3 Hamza M., Basit A. W., Shehzadi I., et al. Global Impact of Soybean Production: A Review. *Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*, 2024. 16(2), 12–20. <https://doi.org/10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357>.
- 4 Bashi, Z., Mccullough, R., Ong, L., & Ramirez, M. *Alternative proteins: The race for market share is on*. McKinsey & Company. 2019. <https://www.mckinsey.com>
- 5 Agarwal D.K., Billore S.D., Sharma, A.N. Soybean: Introduction, Improvement, and Utilization in India – Problems and Prospects. *Agric Res*. 2013. 2, 293–300. <https://doi.org/10.1007/s40003-013-0088-0>.
- 6 Agomoh I.V. Crop rotation enhances soybean yields and soil health indicators. *Soil Science Society of America Journal*. 2021;85(4). 1185-1195.
- 7 Alharbi K, Rashwan E, Hafez E. Potassium Humate and Plant Growth-Promoting Microbes Jointly Mitigate Water Deficit Stress in Soybean Cultivated in Salt-Affected Soil. *Plants*. 2022; 11(22). 3016. <https://doi.org/10.3390/plants11223016>.
- 8 Aulia R., Amanah H.Z., Lee H. Protein and lipid content estimation in soybeans using Raman hyperspectral imaging. *Front Plant Sci*. 2023 Aug 4;14:1167139. doi: 10.3389/fpls.2023.1167139.
- 9 Bouffleur T.R., Ciampi-Guillardi M., Tikami Í. Soybean anthracnose caused by *Colletotrichum* species: Current status and future prospects. *Mol Plant Pathol*. 2021, 22(4). 393-409. doi: 10.1111/mpp.13036.

10 Linnaeus C. *Hortus Cliffortianus: plantas exhibens quas in hortis tam vivis quam siccis, Hartecampi in Hollandia, coluit Georgius Clifford reductis varietatibus ad species, speciebus ad genera, generibus ad classes, adjectis locis plantarum natalibus differentiisque specierum*. Cum tabulis aeneis Amstelaedami, 1737. 502 p. doi:10.5962/bhl.title.690.

11 Campobenedetto C., Mannino G., Agliassa C., et al. Transcriptome Analyses and Antioxidant Activity Profiling Reveal the Role of a Lignin-Derived Biostimulant Seed Treatment in Enhancing Heat Stress Tolerance in Soybean. *Plants*. 2020; 9(10):1308. <https://doi.org/10.3390/plants9101308>.

12 Park, Y.K., Kim, J., Ryu, M.S. et al. Review of physiological compounds and health benefits of soybean paste (doenjang): exploring its bioactive components. *J. Ethn. Food*. 2024. 11, 30. <https://doi.org/10.1186/s42779-024-00244-4>.

13 Carciochi W.D., Rosso L.H.M., Secchi M.A. Soybean yield, biological N₂ fixation and seed composition responses to additional inoculation in the United States. *Sci Rep* 9, 19908 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56465-0>.

14 Cardarelli M. Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *Plants*. 2022;11(3):259.

15 Chandel A., Mann R., Kaur J., et al. Implications of Seed Vault Storage Strategies for Conservation of Seed Bacterial Microbiomes. *Front Microbiol*. 2021 Dec 3;12:784796. doi: 10.3389/fmicb.2021.784796.

16 Fagodiya R., Trivedi A., Fagodia B. Impact of weather parameters on Alternaria leaf spot of soybean incited by Alternaria alternata. *Scientific Reports*. 2022; 12(1):6131.

17 Foyer C. H., Siddique K. H. M., Tai A. P. K. Modelling predicts that soybean is poised to dominate crop production across Africa. *Plant, cell & environment*, 2019, 42(1), 373–385.

18 *Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності* / Г. М. Заболотний та ін. Вінниця, 2020. 276 с

-
- 19 Атамась Г. П. Ретроспективний аналіз та стратегія виробництва сої в Україні. *Аграрний вісник Причорномор'я. Біологічні науки*. 2015. Вип. 78 (2). С. 3–10.
- 20 Корчинський А.А. Становлення еволюційної теорії адаптації рослин. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть. Київ, Логос, 2001. Т. 2. С. 11–22
- 21 Король Л. В. Кластеризація сортів сої культурної (*Glycine max* (L.) Merrill) за якісними показниками для різних зон вирощування. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «100- річчя формування національних сортових рослинних ресурсів України» (м. Київ, 29 верес. 2023 р.). Мінагрополітики, Український інститут експертизи сортів рослин. Київ, 2023. С. 53–54.
- 22 Кренців Я. І. Мінливість елементів продуктивності у рослин сої гібридів F₁, F₂. *Вісник аграрної науки*. 2019. Вип. 3 (792). С. 82–88. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-13.91>.
- 23 Бабич А. О., Іванюк С. В., Коханюк Н. В. Ідентифікація рослин за вегетативними ознаками в селекції сої. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 3–7.
- 24 Білявська Л. Г., Рибальченко А. М. Формування насіннєвої продуктивності у колекційних зразків сої в умовах Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 3 (90). С. 87–94. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.03.12>.
- 25 Мельник А. В. та ін Вплив погодно-кліматичних параметрів на врожайність зерна сучасних сортів сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 109 (1). С. 76–83. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099>.
- 26 Стариченко Є. М. Продовольча безпека країни як соціально-економічна категорія. *Агросвіт*. 2018. № 13. С. 42–48.
- 27 Івасик М. В., Бахмат М. І. Підвищення продуктивності зерна сої в умовах Поділля. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка,*

економіка. *Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 2 (37). С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-8>.

28 Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В. Наукове забезпечення виробництва кормів в умовах воєнного стану. *Корми і кормовиробництво*. 2022. Вип. 93. С. 10–20. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202293-01.

29 Козючко А. Г., Гавій В. М. Біохімічні показники зерна сої за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: агрономія та біологія*. 2022. № 2 (48). С. 90–95. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.13>.

30 Любич В. В. та ін. Технологічне оцінювання якості насіння сої залежно від сорту. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2. С. 32–37. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-32-37.

31 Матушкін В.О., Мошкова О.М. Створення та впровадження скоростиглих, високопродуктивних сортів сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Вісн. центру наук. забезпечення АПВ Харк. обл.* 2005. Вип. № 1. С. 12–19.

32 Матушкін В. О., Мошкова О. М. Методи і результати селекції сої на адаптивність, продуктивність і скоростиглість. *Селекція і насінництво*. 2005. Вип. 90. С. 84–97.

33 Матушкін В.О., Магомедов Р.А., Мошкова О.М. та ін. *Сорти сої і їх агробіологічні особливості вирощування*. Харків, 2006. 56 с.

34 Рибальченко А. М. Пластичність та стабільність господарських ознак колекційних зразків сої. *Зрошуване землеробство. Селекція, насінництво*. 2021. Вип. 76. С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.13>.

35 Січкач В. І. Стан і перспективи розвитку виробництва зернобобових культур у світі та Україні. *Збірник наукових праць Селекційногенетичного інституту – Національного центру насіннізнавства та сортовивчення*. 2015. Вип. 26 (66). С. 9–20.

36 V. Mazur et al. Agroecological stability of cultivars of sparsely distributed legumes in the context of climate change. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, no. 1. P. 54–60. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(1\).2021.54-60](https://doi.org/10.48077/scihor.24(1).2021.54-60)

37 Цицюра Т. В., Темченко І. В., Барвінченко С. В. Оцінка пластичності та стабільності показників якості насіння сортів сої різного еколого-географічного походження. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 92. С. 104–115. DOI: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-10>.

38 Цицюра Т. В., Темченко І. В., Семцов А. В. Статистична оцінка сортового потенціалу сої за показниками якісного хімічного складу насіння в умовах Лісостепу Правобережного. *Корми і кормовиробництво*. 2019. Вип. 87. С. 19–26. DOI: [10.31073/kormovyrobnytstvo201987-03](https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201987-03).

39 Чинчик О. Підбір сортів – основа сучасної технології вирощування сої. *Аграрна наука та освіта Поділля: зб. наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф. Сектор 2* (м. Кам'янець-Подільський, 14–16 берез. 2017 р.). Тернопіль : Крок, 2017. С. 155–156

40 Naydenova G., Georgieva N. Study on seed yield components depending on the duration of vegetation period in soybean. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25 (1). P. 49–54

41 Alam M. A. et al. Qualitative and quantitative traits associate genetic variability of soybean (*Glycine max*) mutants for expedited varietal improvement program. *Legume Research*. 2023. Vol. 46, issue 9. P. 1162–1167. DOI: [10.18805/LRF-735](https://doi.org/10.18805/LRF-735).

42 Carciochi W. D. et al. Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. *Agronomy Journal*. 2019. Vol. 111, issue 4. P. 1923–1932. DOI: [10.2134/agronj2018.10.0635](https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0635).

43 Tkachuk O., Telekalo N. *Agroecological potential of legumes in conditions of intensive agriculture of Ukraine. Integration of traditional and innovation processes of development of modern science: collective monograph. Chapter «Agricultural sciences»*. Riga, 2020. P. 91–108. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-021-6-33>.

-
- 44 Liu S. et al. Toward a “green revolution” for soybean. *Molecular plant*. 2020. Vol. 13, issue 5. P. 688–697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.03.002>
- 45 Нестерчук Н.Н., Ремесло О.В. Випробування сортів сої. *Матеріали III Всеукр. конф. «Виробництво, переробка і використання сої на кормові та харчові цілі»*. (Вінниця, 2000). С. 45–48.
- 46 Білявська Л. Г., Рибальченко А. М. Колекційні зразки сої – цінний вихідний матеріал для селекції. *Таврійський науковий вісник. Землеробство, рослинництво, овочівництво та багтанництво*. 2018. Вип. 101. С. 9–15
- 47 Присяжнюк Л.М. та ін Оцінка пластичності та стабільності нових сортів сої в різних ґрунтово-кліматичних зонах. Наукові доповіді НУБіП України. 2015. № 8(57). URL: http://nd.nubip.edu.ua/2015_8/26.pdf.
- 48 Січкач В.І., Лаврова Г.Д., Ганжело О.І. Урожайність та якість насіння широко-адаптивних сортів сої. *Збірник наукових праць СГІ-НЦНС*, 2014. Вип. 23 (63). С. 72–86.
- 49 Січкач В.І. Селекційна цінність колекційних колекційних зразків при створенні високопродуктивних сортів сої. *Селекція і насінництво*. 2014. Випуск 106. С. 83–92.
- 50 Кобизєва Л.Н., Безугла О.М., Силенко С.І. та ін. *Методичні рекомендації з вивчення генетичних ресурсів зернобобових культур*. Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Х., 2016. 84 с.
- 51 Григорчук Н.Ф., Якубенко О.В. Створення сортів сої скоростиглого типу. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2013. № 19. С. 43–48
- 52 Моргун В.В., Шапчина Т.М., Кірізії Д.А. Фізіолого-генетичні проблеми селекції рослин у зв'язку з глобальними змінами клімату. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2006. Т. 38. № 5. С. 371–389
- 53 Кобизєва Л. Н., Рябчун В.К., Безугла О.М. та ін. Широкий уніфікований класифікатор роду *Glycine max*. (L). Метг. УААН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Х., 2004. 37 с.

54 Шерепітко В.В., Заболотний Г.М., Шерепітко Н.А. Адаптивна селекція рослин сої як фактор екологічно безпечного та сталого функціонування агроєкосистем України. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2011. № 7(47). С. 72–78.

55 Лавриненко Ю.О., Кузьмич В.І., Боровик В.О. Селекція сої на покращення ознак продуктивності та якості в умовах зрошення. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 113–115

56 Огурцов Є.М. *Соя у Східному Лісостепу України : монографія*. За ред. М.А. Бобро. Харків: Харківський національний аграрний університет, 2008. 270 с

57 Літун П.П., Коломацька В.П. Проблеми адаптивної селекції рослин у зв'язку зі зміною клімату. *Селекція і насінництво*. 2006. Вип. 93. С. 67–91.

58 Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2023 рік URL: <https://minagro.gov.ua/storage/app/uploads/public/66f/56d/ee2/66f56dee240b4833125321.xlsx> (станом на 26.09.2024).

59 Our World in Data. веб-сайт. URL: https://ourworldindata.org/grapher/soybeanproduction?tab=chart&country=UKR~OWID_EUR~CAN~BRA#sources-and-processing (дата звернення 01.10.2024).

60 Food and Agriculture Organization of the United Nations. веб-сайт. URL: <https://www.fao.org/common-pages/search/en/?q=Soybean> (дата звернення 01.10.2024).

61 Boerema, A., Peeters, A., Swolfs, S., Vandevenne, F., Jacobs, S., Staes, J., & Meire, P. Soybean trade: Balancing environmental and socio-economic impacts of an intercontinental market. *PLOS ONE*, 2016. 11(15), Article e0155222. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0155222>

62 FAOSTAT. *Crops and livestock products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

63 SOPA. веб-сайт. URL: <https://www.sopa.org/statistics/> (дата звернення 01.10.2024).

64 FAOSTAT. Home page. 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>

65 Bicudo Da Silva, R. F., Batistella, M., Moran, E., De Melo Celidonio, O. L., & Millington, J. D. A. The soybean trap: Challenges and risks for Brazilian producers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020, 4, Article 482800. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2020.00012>

66 Hungria M., Campo R.J., Mendes I.C. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: Singh RP, Shankar N, Jaiwal PK (eds) *Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity*. Studium Press. LCC, Houston, 2006. pp 43–93.

67 Superagronom, веб-сайт: <https://superagronom.com/news/19398-v-ssha-vstanovleniy-noviy-rekord-z-urojaynosti-soyi-146-t-ga-v-2024-rotsi> (дата звернення 01.10.2024).

68 Аралов О. В. Особливості формування листкової поверхні та її вплив на продуктивність сухої речовини у сортів вики ярої в умовах правобережного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 75. С. 87–91.

69 Бабич А.О., Венедиктов О. М. Моделі технології вирощування сої, її економічна ефективність та конкурентоспроможність. *Корми і кормовиробництво*. 2006. Вип. 56. С. 22-29.

70 Гунтянський Р.А. Конкурентоспроможність сортів сої з різною тривалістю вегетаційного періоду у відношенні до бур'янів. *Селекція і насінництво*, 2008. Вип. 95. С. 266 – 272.

71 Демидає Г.І., Квітко Г.П., Ткачук О.П. *Бобові трави як основа природної інтенсифікації кормовиробництва*. Київ, Нілан-ЛТД, 2013. 322 с.

72 Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І., Дідур І.М., Циганський В.І., Панцирева Г.В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності: монографія. Вінниця: ВНАУ. 2020. 276 с.

73 Кобизєва Л.Н. *Методичні рекомендації з вивчення генетичних ресурсів зернобобових культур*. НААН, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків: Стіль-Іздат, 2016. 84 с.

74 Hymowitz, T. On the domestication of the soybean. *Econ. Bot.* 1970. V.24 N 4. P. 408-521.

75 Петриченко В. Ф., Бабич А. О., Колісник С. І. та ін.. Наукові основи сучасних технологій вирощування високобілкових культур. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 10, (спецвип.). С. 15-19.

76 Петриченко В.Ф. Вплив агрокліматичних факторів на продуктивність сої. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 2. 19–23.

77 Agudamu, Yoshihira T., Kosaka, S., Shiraiwa, T. Effects of determinate and indeterminate type on branch plasticity to planting density in soybean cultivars. Comparison between determinate and indeterminate isogenic lines. *Japanese Journal Crop Science*, 2013, 82: 96–97.

78 Петриченко В.Ф. Наукові основи сталого соєсіяння в Україні. *Корми і кормовиробництво*. 2011. Вип. 69. С. 3–10. 172.

79 Петриченко В.Ф. Оцінка впливу гідротермічних ресурсів на реалізацію потенціалу продуктивності і якості насіння сої в Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 1995. № 40. С. 31–35.

80 Середа Л.М. Особливості формування посіву та продуктивності сої при ранніх строках сівби в умовах центрального Лісостепу України. *Аграрна наука. селу. Наук. зб. Подільської держ. аграрно-технічної академія*. 1998. Вип. 2. С. 83-85.

81 Ткачук О.П., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Екологічна оцінка середньостиглих і середньо пізньостиглих сортів сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 1(24). С. 5–15.

82 Ткачук О.П., Овчарук В.В. Екологічний потенціал зернобобових культур у сучасній інтенсивній сівозміні. *Сільське господарство та лісівництво: зб. наук. пр. Вінниця: ВНАУ*. 2020. № 18. С. 161-171.

-
- 83 Agudamu, Yoshihira T., & Shiraiwa, T. Effect of stem growth habit on soybean yield stability to planting density – Varietal difference in branching plasticity, and the factorial analysis from the point of view of branch development and light-intercepting characteristics. *Research of One Health*, 2015. 17–38**.
- 84 Board, J. E., & Kahlon, C. S. Morphological responses to low plant population differ between soybean genotypes. *Crop Science*, 2013, 53, 1109–1119.
- 85 Cooper R. L. Breeding semidwarf soybeans. *Plant Breedg. Rev. Westport. Conn.* 1985. V. 3. P. 289-311.
- 86 Umezaki T. Internode elongation characteristics of indeterminate type plants of soybean. *Japanese Journal of Crop Science*. 1998;67(2):187–192. doi:10.1626/JCS.67.187
- 87 Huyghe C. Genetics and genetic modifications of plant architecture in grain legumes: a review. *Agronomie*. 1998;18:383–411. doi:10.1051/agro:19980505
- 88 Godin C. Representing and encoding plant architecture: a review. *Annals of Forest Science*. 2000;57(5):413–438. doi:10.1051/forest:2000132
- 89 Bisht R. P., Toky O. P., Singh S. P. Plasticity of branching in some important tree species from arid north-western. *India Arid Environments Journal*, 1993. 25, 307–313
- 90 Board J. E., Harville B. G., Saxton A. M. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow-row soybean. *Agronomy Journal*, 1990, 82, 540–544.
- 91 Chen Y., Nelson R.L. Evaluation and classification of leaflet shape and size in wild soybean. *Crop Science*. 2004;44(2):671–677. doi:10.2135/cropsci2004.0671
- 92 Koller D. Yearly Review: the control of leaf orientation by light. *Photochemistry and Photobiology*. 1986;44(6):819–826.
- 93 Zhang H, Hao D, Siteo HM, Yin Z, Hu Z, Zhang G, Yu D. Genetic dissection of the relationship between plant architecture and yield component traits in soybean (*Glycine max*) by association analysis across multiple environments. *Plant Breeding*. 2015;134(5):564–572. doi:10.1111/pbr.12305

94 Sasahara, T. Varietal variations in leaf anatomy as related to photosynthesis in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Japanese J. Of Breed.* 1984. - V. 3 №3. P. 295-303.

95 Zhao X, Cao D, Huang Z, Wang J, Lu S, Xu Y, Liu B, Kong F, Yuan X. Dual functions of GmTOE4a in the regulation of photoperiod-mediated flowering and plant morphology in soybean. *Plant Molecular Biology*. 2015;88(4–5):343–355. doi:10.1007/s11103-015-0322-1

96 Shu Y, Tao Y, Wang S, Huang L, Yu X, Wang Z, Chen M, Gu W, Ma H. GmSBH1, a homeobox transcription factor gene, relates to growth and development and involves in response to high temperature and humidity stress in soybean. *Plant Cell Reports*. 2015;34(11):1927–1937. doi:10.1007/s00299-015-1840-7

97 Carpenter, A. C., & Board, J. E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Science*, 1997. 37, 1520–1526.

98 Колісник С.І. Формування продуктивності сої залежно від способів сівби, густоти рослин і добрив в умовах Центрального Лісостепу України: Автореф. дис. ... канд. с. г. наук: 06.01.09. Кам'янець-Подільський, 1996. 18 с.

99 Fukuda Y. Cytogenetical studies on the wild and cultivated Manchuria soybeans. *Jap. J. Bot.* 1933. V. 6. P. 489-506.

100 Hartwig E. E. Yield and composition of soybean seed from parents with different protein, similar yield. *Crop Sci.* 1991. V. 31 N 2. P. 290-292.

101 Mazur O., Kravets R., Zayka K., Yakovets, V. Ecological plasticity and stability of soybean varieties under growing conditions in different ecogradients. *Agriculture and Forestry*. 2024. 55-66. 10.37128/2707-5826-2024-3-6.

102 De Jong, T.M. Comparative laboratory and field gas exchange response of C₃ and C₄-tidal marsh species. *Plant Phisiol.* 1979. V.63. N5. P.63.

103 Чорна В.М. Фотосинтетична і насіннева продуктивність сої залежно від інокуляції та ретарданта в умовах правобережного лісостепу України. *Науковий вісник НУБІП України. Серія: Агрономія*. 2016. № 235. С. 48–58.

104 Крючков В.К. Вирощування сортів сої за експериментальною технологією. *Матеріали третьої Всеукраїнської конференції “Виробництво,*

переробка і використання сої на кормові та харчові цілі”. Вінниця, 2000. С. 33-34.

105 Ghoraschy S. R. et al. Internal water stress and apparent photosynthesis with soybeans differing in pubescence. *Agron J.* 1971. V. 63, N 5. P. 674-676.

106 Hadley H. H. Speciation and cytogenetics. *Soybeans: Improvement, production and uses.* Wisconsin, Madison, 1973. P. 97-116.

107 Hume D. J. Pod formation in soybean at low temperature. *Crop Sci.* 1981. V. 21 N 6. P. 933-937.

108 Holmberg S. A. Soybean for cool temperature climates. *Agri Hortuque Genetica.* 1973. V. 31 N 1-2. P. 1-20.

109 Бабич А.О., Петриченко В.Ф., Іванюк С.В. Вплив гідротермічних умов на прояв основних господарсько-цінних ознак у сої в Лісостепу України. *Вісник аграрної науки. Рослинництво і кормо виробництво.* 1997 С. 15-17.

110 Бабич А.О., Бахмат О. М. Екологічні умови та агротехнічне обґрунтування технології вирощування сої в умовах південно-західної частини Лісостепу України. *Вісник Державної агроекологічної академії України: наук.-теорет. зб.* 1999. № 1–2. С. 200–205.

111 Бабич А.О., Бабич-Побережна А.А. Соєве поле України. *Агроном.* 2010. № 1. С. 174–178.

112 Бахмат О.М. Гойсюк Ю.В. Енерго-економічна ефективність вирощування сої в умовах південної частини західного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб.* Вінниця, 2005. Вип. 55. С. 42–48.

113 Мигаль І.Б. Формування продуктивності сої залежно від біологічних особливостей сорту, норм висіву насіння та рівня мінерального живлення в умовах Лісостепу західного : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.г. наук : спец. 06.01.09 „Рослинництво”. Вінниця, 2011. 20 с.

114 Бахмат О.М. Агробіологічні основи формування врожаю насіння сої в умовах західного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб.* Вінниця, 2011. Вип. 56. С. 122–128.

-
- 115 Бабич А. О., Новохацький М.Л. Вплив елементів сортової технології на величину площі листкової поверхні посівів та урожайність зерна сої в умовах правобережного Лісостепу України. *Матеріали III Всеукр. конференції “Виробництво, переробка і використання сої на кормові та харчові цілі”*. Вінниця, 2000. С. 19–20.
- 116 Myers O. Jr. Breeding soybeans for drought resistance. *Plant Breed. Res.* Westport. Conn. 1986. V. 4. P. 203—243.
- 117 Li S. et al. SPM-IS: An auto-algorithm to acquire a mature soybean phenotype based on instance segmentation. *The Crop Journal*. 2022;10(5):1412-1423.
- 118 Unander D. W., Orf J. H., Lambert J. W. Early season cold tolerance in soybean. *Crop Sci.* 1986. V. 26 N 3. P. 676-680.
- 119 Linh T.M. et al. Metal-based nanoparticles enhance drought tolerance in soybean. *Journal of Nanomaterials*, 2020;2020:1-13.
- 120 Egli D. B. Genotypic variation for duration of seedfill in soybean. *Crop Sci.* 1984. V. 24. N 3. P. 587-592.
- 121 Liu M. et al. Effects of biochar with inorganic and organic fertilizers on agronomic traits and nutrient absorption of soybean and fertility and microbes in purple soil. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:871021.
- 122 Marro N. et al. Soybean yield, protein content and oil quality in response to interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and native microbial populations from mono- and rotation-cropped soils. *Applied Soil Ecology*. 2020;152:103575.
- 123 Masi M. et al. Truncatenolide, a bioactive disubstituted nonenolide produced by *Colletotrichum truncatum*, the causal agent of anthracnose of soybean in Argentina: Fungal antagonism and SAR Studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022;70(32):9834-9844.
- 124 Matthews M.L. et al. Soybean-BioCro: a semi-mechanistic model of soybean growth. in silico. *Plants*. 2022;4(1):diab032.

125 Meena R.S. et al. Response and interaction of Bradyrhizobium japonicum and arbuscular mycorrhizal fungi in the soybean rhizosphere. *Plant Growth Regulation*. 2018;84:207-223.

126 Miransari M. Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production. *Soybean Production* 2015, 1.

127 Osman H.S. et al. Interactive impacts of beneficial microbes and Si-Zn nanocomposite on growth and productivity of soybean subjected to water deficit under affected soil conditions. *Plants*. 2021; 10(7):1396.

128 Pagano M.C., Miransari M. The importance of soybean production worldwide, in Abiotic and biotic stresses in soybean production. *Elsevier*. 2016;1-26.

129 Preisler A.C. et al. Atrazine nanoencapsulation improves pre-emergence herbicidal activity against *Bidens pilosa* without enhancing long-term residual effect on *Glycine max*. *Pest management science*. 2020;76(1):141-149.

130 Radočaj D. et al. Optimal soybean (*Glycine max* L.) land suitability using gis-based multicriteria analysis and sentinel-2 multitemporal images. *Remote Sensing*. 2020;12(9):1463.

131 Rodríguez-Navarro D. et al. Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development*. 2011;31:173-190.

132 Darwin Charles. *The effects of cross and self-pollination in the vegetable Kingdom*. New York. D.Appleton, 1877.

133 Портяник, С. В. Використання регресійного аналізу в моделюванні екологічної ситуації за допомогою прогнозування переходу токсичних важких металів з кормів раціону дійних корів в органічні відходи й акумуляції поліутантів у ґрунті сільськогосподарських скотарських підприємств. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2024. № 7. С. 210–228. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.23>

134 Boldizsar N., Carmen M., Andrada M., Cerasella I., Lucian B., Cornelia M. Linear and nonlinear regression analysis for heavy metals removal using

Agaricus bisporus macrofungus. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017. Vol. 10. No 2. P. 3569-3579. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.004>

135 Covelo E.F., Matías J.M., Vega F.A., Reigosa M.J., Andrade M.L. A tree regression analysis of factors determining the sorption and retention of heavy metals by soil. *Geoderma*. 2008. Vol. 147. No 1–2. P. 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.001>.

136 Lili L., Zhiping W., Feng J., Tong Z. Co-occurrence correlations of heavy metals in sediments revealed using network analysis. *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 1305-1313. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.068>.

137 Колісник С.І. Використання статистичних методів для планування та обробки їх результатів у рослинництві. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 11. С. 25–29.

138 Grafins Jogn S. Multiplocharacters and related ronponse. *Crop Sci*. 1978, V.18.№6. P.931-934.

139 Raudonius, S. Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2017. 104(4), 377-382. DOI 10.13080/z-a.2017.104.048.

140 Педченко, Н., Бірта, Г., Карпенко, Н., Стрілець, В., Іваннікова, М. Математичні методи та методи статистичної обробки інформації у методології наукових досліджень. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки»*, 2024. 3 (113), 89-95. <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2024-3-12>.

141 Falconer D. S., Mackay T. F. C. *Introduction to Quantitative Genetics*. Harlow; London: Longman. Pearson Education, 1996. — 464

142 Lynch M., Walsh B. *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sunderland M.A: Sinauer Associates (Oxford University Press), 1998. 980 с.

143 Bernardo R. *Breeding for Quantitative Traits in Plants*. Stemma Press, 2010. 390

144 Visscher P. M., Hill W. G., Wray N. R. Heritability in the genomics era: concepts and misconceptions. *Nature Reviews Genetics*. 2008. Vol. 9. P. 255–266

-
- 145 Hill W. G. Quantitative genetics in the genomics era. *Current Genomics*. 2012. Vol. 13. P. 196–206.
- 146 Crossa J., Pérez-Rodríguez P., Cuevas J., Montesinos-López O., Jarquín D., de los Campos G., Burgueño J., González-Camacho J. M., Pérez-Elizalde S., Beyene Y., Dreisigacker S., Singh R., Zhang X., Gowda M., Roorkiwal M., Rutkoski J., Varshney R. K. Genomic selection in plant breeding: methods, models and perspectives. *Trends in Plant Science*. 2017. Vol. 22, No. 11. P. 961–975.
- 147 Wang Z. Correlation and variability analysis of yield and quality traits across environments (example: peanut). *Journal article*. 2023. 8(4), , Pages 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.12.001>
- 148 Bhandwaj H. S., Bhagzari A. S. Harvest index, yield and physiological characteristics of soybean as related to seed size. *Soybean genetics newsletter*. 1989. Vol. 16. P. 133–136.
- 149 Bilyeu K. D. Forward and reverse genetics in soybean. *Genetics and Genomics of Soybean*. 2008. P. 135–159.
- 150 Crossa J. Sites regression and shifted multiplicative model clustering: methods for genotype \times environment analysis. *Crop Science*. 1997. Vol. 37, No. 2. P. 597–605.
- 151 Ding Z., et al. A comprehensive study on integrating clustering with representative regression models. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No. 10. Article 1701. 22
- 152 Lancashire P. D., Bleiholder H., Langeluddecke P., Van den Boom T., Weber E., Witzemberger A. An uniform decimal code for growth stage of crop and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 119, 1991, 561.601.
- 153 Macias F.A. The Brighton Crop Protection Conference. 17–20 Nov. 1997. *British Crop Protection Council*. Brighton, G. B., 1997.- V. 1 P. 33 – 38.
- 154 Singh C.B., Dalal M.A., Index selection in soybean. *The Ind.J. of genet., and plant breed.* 1979, V.39, №2. P.234-236.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ



Рис. 2.1 Алгоритм реалізації програми досліджень

Методика досліджень базується на принципах системного підходу, біоритмологічного аналізу та статистичної достовірності, що дозволяє комплексно оцінити перебіг онтогенезу сої та формування її продуктивності. Включення фенологічних спостережень дає змогу визначити тривалість та інтенсивність проходження ключових фаз розвитку – від сходів до досягання. Біометричні вимірювання забезпечують характеристику морфологічної структури рослин і дозволяють встановити залежності між будовою рослини та її потенціалом урожайності (рис. 2.1).

Використання лабораторних методів для визначення якісних показників насіння дає змогу оцінити рівень біохімічної реалізації продукційного процесу, що має суттєве значення для харчової та кормової цінності продукції. Статистична обробка результатів із застосуванням програмних засобів дозволяє мінімізувати випадкові похибки, забезпечити перевірку нульових гіпотез, оцінити варіабельність та встановити істотність впливу факторів.

Таким чином, запропонована методологія відповідає вимогам сучасних агробіологічних досліджень і дає можливість отримати достовірну, науково обґрунтовану інформацію щодо закономірностей росту й формування продуктивності рослин сої під впливом технологічних і природних чинників.

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови періоду досліджень.

Для реалізації біологічного потенціалу сорту необхідна оптимальна взаємодія з абіотичними факторами середовища, динаміка яких впродовж вегетаційного періоду є складною та малопередбачуваною. Людина не має безпосереднього контролю над цими факторами, а можливості часткового їх регулювання (зокрема, шляхом зрошення, мульчування, укриття тощо) супроводжуються підвищенням матеріальних витрат. У зв'язку з цим актуальним завданням є добір та впровадження адаптивних, стресостійких сортів сої, здатних формувати високу ефективність технології вирощування в умовах різних агрокліматичних зон України.

Дослідження проводили у трьох кліматичних зонах України – Степу (Одеська обл.), Лісостепу (Черкаська обл.) та Поліссі (Житомирська обл.) Погодні умови періоду досліджень відрізнялися істотно, як за роками так і за кліматичним зонами. Розподіл атмосферних опадів був нерівномірним впродовж всього періоду досліджень (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Кліматичні умови періоду вегетації рослин сої
(за даними метеостанцій Одеса, Умань та Житомир)**

Місяць	Степ			Лісостеп			Полісся		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Опади, мм									
Квітень	116	70	56,3	129,6	56,2	26,9	84	39	38
Травень	7	35	38,9	42,4	4,8	101,8	0,1	73	53
Червень	32	77	25,2	15,8	56,5	11,2	59,6	81	66
Липень	48	18	9	92,5	17,9	112,3	67,8	65	78
Серпень	15	20	11,7	12,0	17,7	23	22	28	75
Σ	218,0	220,0	141,1	292,3	153,1	275,2	233,5	286,0	310
Температура повітря, °C									
Квітень	10,3	15,1	10,8	8,8	13,0	10,3	8,7	7,5	6,2
Травень	16,4	16,2	16,5	15,4	15,3	13,1	15,1	14,3	9,3
Червень	21	24	24,5	19,6	21,2	19,3	18,9	20,3	18,8
Липень	24	25,6	25,8	21,3	24,3	22,4	20,8	20,1	20,0
Серпень	25	26,7	26,6	22,9	23,1	19,7	22,8	21	19,8
\bar{X} , t °C	19,3	21,5	20,8	17,6	19,4	17,0	17,3	16,6	14,8

Розподіл опадів у Степу 2023 і 2024 – відносно близькі за сумою (≈ 218 – 220 мм), але 2025 – різко нижче ($141,1$ мм). Особливо відмічається драгливий дефіцит у липні 2025 (лише 9 мм) – місяць, який у багатьох сортів відповідає за цвітіння/запилення і початок формування бобів.

Середньомісячні температури червня-липня 2024–2025 (червень ~ 24 – $24,5^\circ\text{C}$; липень ~ 25 – $25,8^\circ\text{C}$) вказують на підвищену евапотранспірацію і потенційний тепловий стрес при зниженні вологи.

Дефіцит вологи у травні–липні (критичні фази: бутонізація – цвітіння – налив) призвів до зниження кількості квіток, зниження запилення, абортизації бобів та зменшення маси 1000 насінин. Іншими словами – найбільший ризик у

2025 році: втрата потенційних бобів через поєднання низьких опадів і високих температур

У Лісостепу висока мінливість між роками: 2023 – високий рік по вегетаційних опадах (292,3 мм); 2024 – дуже сухо (153,1 мм); 2025 – повернення до вищого рівня (275,2 мм). Критичні місяці: 2024 — майже відсутні опади в травні (4,8 мм) і низькі у липні (17,9 мм), що означає стрес вже в ранні вегетативні фази й в період наливу бобів. 2023 та 2025 – опадів достатньо рівномірніше (особливо 2023 і 2025), отже врожай у ці роки мав більший шанс реалізувати потенціал.

У 2024 – погодні умови сприяли зниженню числа бобів на рослині і зменшенню кількості насіння через дефіцит вологості в ключові фази; в 2023 і 2025 – умови сприятливіші, але залежить від розподілу опадів по фазах.

У Поліссі буда найбільш сприятлива тенденція: загалом вегетаційний період характеризується найвищими сумами опадів (особливо 2024 = 286 мм, 2025 = 310 мм) і помірнішими середніми температурами (зниження середньої до 14,8°C у 2025).

Розподіл опадів у 2024 і 2025 – опади розподілені більш рівномірно, що мінімізувало періоди гострого дефіциту у фазі цвітіння/наливу.

Відзначено найменший водний стрес, вищий потенціал для реалізації біологічного врожаю сої.

З щомісячних даних видно, що на час посіву сої була достатня кількість опадів, проте після появи сходів, у травні їх кількість була недостатньою – класична схема: достатній старт, але дефіцит у період інтенсивного росту та формування посушливого дефіциту води в критичних фазах. Така динаміка знижує реалізацію біологічного потенціалу сорту.

Не лише загальна сума опадів визначає врожай, а й їх рівномірність у часі. Полісся 2024–2025 показує і суму, і рівномірність – це пояснює кращі умови для сої у цій зоні.

Ґрунтові умови. Основні фізичні та гідрологічні властивості ґрунтів дослідного поля визначали за методами, описаними А. П. Лісовалом [1], а результати наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Фізико-хімічні показники ґрунту дослідного поля

Показник	Тип ґрунту		
Глибина шару ґрунту, см	чорнозем малогумусний важкосуглинковий	чорнозем опідзолений	дерново- підзолистий
Густина твердої фази ґрунту, г/см ³	2,65	2,70	2,55
Щільність ґрунту (об'ємна маса), г/см ³	1,35	1,27	1,44
Вологість стійкого в'янення, %	12,2	10,6	11,7
Найменша вологоємність (НВ), %	28,0	26,8	18,8
Гумус, %	2,45	2,05	1,52
pH	6,80	6,42	4,70
P ₂ O ₅ , мг/кг	32,62	45,12	30,80
K ₂ O, мг/кг	80,46	115,83	50,60
NO ₃ N, мг/кг	22,7	68,94	20,6

Степ – ґрунт дослідного поля представлений малогумусним важкосуглинковим чорноземом з середнім вмістом гумусу до 2 %. Потужність гумусового шару – 65–67 см, власне гумусний горизонт – 35–38 см. Рельєф території рівнинний зі слабким нахилом на південний захід.

Лісостеп – чорнозем опідзолений мало гумусний важкосуглинковий на карбонатному лесі з вмістом гумусу до 2 % з глибоким заляганням карбонатів (115–120 см) та слабкокислою реакцією ґрунтового розчину.

Полісся – дерново-підзолисті ґрунти з добре вираженим гумусним горизонтом з його вмістом до 8 % та нейтральною реакцією середовища.

2.2. Схема досліду та методи досліджень

Строки посіву: Степ – 15–20 квітня; Лісостеп – 28 квітня – 5 травня; Полісся – 10–15 травня. Густота посіву становила 450 тис. схожих насінин у всіх зонах вирощування. Технологія вирощування була типовою і загальноприйнятою для кожної зони.

У досліді вивчали нові сорти сої культурної ранньо- та середньостиглої груп української та зарубіжної селекції, рекомендовані для Степу, Лісостепу і Полісся України. За стандарт взято сорти Рапсодія і Титан, як найбільш апробовані в Україні [2].

Таблиця 2.3

Походження досліджуваних сортів сої культурної

Група стиглості	Країна походження	Назва сорту	Оригіатор	Заявлена врожайність, т/га
Ранньостиглі	Україна	Рапсодія st	Інститут олійних культур НААН	1,5–3,0
		Паллада	Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН	1,5–3,5
		Перепілочка	ННЦ «Інститут землеробства» НААН	1,6–2,5
		Таверна	Селекційно-генетичний центр – Національний центр насінєзнавства та сортовивчення НААН	2,5–4,0
		Фортеця	Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва.	2,0–3,0
	Австрія	Адельфія	SAATBAU PROBSTDORFER	3,8–5,2
		Адесса	SAATBAU PROBSTDORFER	1,5–3,5
	Франція	ЕС ДЕКОР	Euralis Semences	1,8–3,0
		РЖТ САКУЗА	RAGT	1,6–3,4
	Канада	Ері	Semences Prograin INC.	1,8–3,2
		Калгарі	Cerela Inc.	2,0–3,7
		Нунавік	Cerela Inc.	2,0–3,5

Продовження таблиці 2.3

Середньостиглі	Україна	Титан st	Селекційно-генетичний центр – Національний центр насінєзнавства та сортовивчення НААН; Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН	2,0–3,3
		Інгуз	ТОВ «Інститут органічного землеробства»	1,5–3,2
		Туріас	ТОВ «Інститут органічного землеробства»	1,5–2,5
	Австрія	Акардія	Probstdorfer Zaatzucht Gez.m.b.H. and CoKG	2,0–3,5
		Алісія	SAATBAU PROBSTDORFER	4,0–4,5
	Канада	Дара	North American Plant Genetics (LNZ Group)	2,0–2,8
		Терсія	Semences Prograin INC.	2,5–3,3
		Нептун	Sevita Genetics	1,8–2,6
	Франція	ЕС ВІЗИТОР	Euralis Semences	2,0–3,5
		ЕС КОЛЕКТОР	Euralis Semences	2,0–3,4
		ЕС КОМПОЗИТОР	Euralis Semences	2,0–3,2
	Польща	Віталіна	Приватне підприємство «Науково-селекційно-насіннєва компанія «Соева ера»	2,0–2,5
		Зевс	Приватне підприємство «Науково-селекційно-насіннєва компанія «Соева ера»	2,0–2,5
		Кармеліта	Моніч Руслан Васильович	2,0–3,2

Площа – облікової ділянки – 250 м², повторення чотириразове. Під час проведення біометричних вимірювань та формування показників структури врожаю використано загальноприйняті методи та ДСТУ 4138-2002 [3]; ДСТУ 4234:2003 [4]; Методичні вимоги у сфері насінництва щодо збереження сортових та посівних якостей насіння сої [5].

У дослідженні визначали фенологічні зміни, біометричні показники (висота рослин, кількість вузлів на одній рослині, висоту прикріплення нижнього боба, загальну кількість бобів, кількість листків та їх площу) параметри індивідуальної продуктивності (кількість і маса насіння з однієї рослини), урожайність рослин сої, структуру врожаю (масу 1000 зерен, натуру зерна, фракційний склад зерна), екологічну стійкість (до вилягання, до обсіпання, до посухи) рослин.

Вміст протеїну та жиру визначали за допомогою аналізатора інфрачервоного для зерна, кормів та харчових продуктів SpectraStar XT Unity Scientific (США) серії SpectraStar™ XT-R.

Статистична обробка результатів. Метод запропонований Finlay & Wilkinson (1963) у інтерпретації С. А. Еберхартом та У. Г. Расселом є фундаментом сучасної екологічної селекції. Його ідея полягає в тому, що врожайність сорту в кожному середовищі може бути описана лінійною регресією відносно “індексу умов середовища”, який характеризує сприятливість року, місця або агрофону [6], а також базується на принципах об’єднання і перетворення ефектів навколишнього середовища та взаємодії генотипу з умовами вирощування.

$$b_i = \Sigma (X_{ij} \times I_j) / \Sigma I_j \quad (1)$$

де: b_i – коефіцієнт регресії ознаки кожного (і-го) сорту у середовищі з поліпшенням або погіршенням умов;

X_{ij} – значення ознаки і-го сорту у будь-яких j-умовах;

I_j – індекс j-их умов, що є різницею середнього значення ознаки всіх сортів у цих умовах і загального середнього значення ознаки серед усіх дослідів.

Якщо середовище «покращується» (більше опадів, кращі ґрунти, менші стреси), врожайність сорту може або різко збільшуватися, або залишатися сталою.

Кут нахилу лінійної регресії (b_i) показує, як сильно змінюється сорт у відповідь на зміну середовища [7].

Значення b_i	Біологічне тлумачення
$b_i < 1$	Сорт малопластичний, мало реагує на зміну середовищ, стабільний у бідних умовах
$b_i = 1$	Реакція середня: сорт збільшує чи зменшує врожайність пропорційно змінам умов
$b_i > 1$	Високопластичний сорт, різко реагує на покращення умов, але чутливий до стресів

Модель Еберхарта–Рассела: екологічна пластичність×стабільність – стала класичною (Eberhart & Russell, 1966), тому що додала компонент стабільності σ^2d , тобто відхилення фактичної врожайності від лінійного тренду. Сорт може мати високий b_i (добре реагувати на середовище), але бути нестабільним, якщо його врожайність «стрибає» навколо лінії регресії:

- b_i – рівень екологічної пластичності
- σ^2d – стабільність (низьке значення – сорт стабільний, високе – нестабільний).

Класифікаційна схема (6 класів адаптивності), дозволяє системно групувати сорти:

1. $b_i < 1, \sigma^2d > 0$ – для несприятливих умов, але нестабільні
2. $b_i < 1, \sigma^2d = 0$ – для несприятливих умов, стабільні
3. $b_i = 1, \sigma^2d = 0$ – універсальні, стабільні
4. $b_i = 1, \sigma^2d > 0$ – універсальні, але нестабільні
5. $b_i > 1, \sigma^2d = 0$ – для сприятливих умов, стабільні
6. $b_i > 1, \sigma^2d > 0$ – для сприятливих умов, нестабільні.

Загальна гомеостатичність сортів (H_{om}) показує внутрішню здатність сорту підтримувати відносну сталість ознаки, незважаючи на зміну середовищ. Сорти з високою гомеостатичністю здатні «приглушати» екологічні флуктуації, це свідчить про сильний механізм адаптивної буферності.

Для сої – це показник того, наскільки сорт компенсує:

- посуху
- перезволоження
- коливання температур.

Розраховано за формулою:

$$H_{om} = \frac{\bar{x}^2}{\sigma}, \text{ де} \quad (2)$$

\bar{x} – середнє арифметичне по сорту;

σ – узагальнене середьоквадартичне відхилення.

Селекційну цінність сорту показує, наскільки сорт наближається до оптимальних умов реалізації продуктивності, враховуючи його мінімальні та максимальні показники. Дозволяє оцінити «надійність» сорту у стресових умовах. Враховує не лише середню урожайність, а й межі мінливості.

Розраховували за формулою:

$$(S_c) = \bar{X} \times \frac{\bar{X}_{lim}}{\bar{X}_{opt}}, \text{ де} \quad (3)$$

\bar{X} – середнє арифметичне по сорту;

\bar{X}_{lim} – середнє арифметичне лімітоване (мінімальне значення ознаки);

\bar{X}_{opt} – середнє арифметичне оптимальне (максимальне значення ознаки).

Коефіцієнт мультиплікативності (КМ). Метод введений для уникнення хиб, які виникають у класичній регресії. Суть показника: характеризує силу змінюваності ознаки при зміні середовища, чим більше КМ – тим сильніше змінюється врожайність. Цінно для культур із високою екологічною мінливістю, таких як соя в умовах дефіциту вологи:

$$KM = \frac{\bar{x}_i + b_i \cdot y_i}{x_i}, \text{ де} \quad (4)$$

\bar{x}_i – середнє значення досліджуваної ознаки у i -го сорту;

b_i – коефіцієнт лінійної регресії i -го сорту;

y_i – середнє значення для всіх середніх по всіх сортах y_i для кожного j -го пункту експерименту.

Індекс екологічної пластичності показує, як сорт “тримався” відносно загального фону інших сортів у кожному році:

$IEP > 1$ – сорт стабільно перевищує середні значення;

$IEP < 1$ – сорт нижче середнього рівня

$$ІЕП = \frac{\left(\frac{УВ_1}{СУО_1} + \frac{УВ_2}{СУО_2} + \dots + \frac{УВ_n}{СУО_n} \right)}{n}, \text{ де} \quad (5)$$

$УВ_1, УВ_2, УВ_n$ – значення ознаки у сорту у різні роки випробувань;

$СУО_1, СУО_2, СУО_n$ – середнє значення ознаки сортів в кожному з варіантів досліду.

Коефіцієнт адаптивності (КА) – відображає загальну реакцію сорту на кліматичну мінливість, дозволяє виявити сорти з високою стабільністю реалізації врожайності.

Річний коефіцієнт адаптивності (КА) розраховується для сорту за формулою:

$$КА = (X_{ij}) \times 100 : X : 100, \text{ де} \quad (6)$$

X_{ij} – урожайність певного сорту в рік випробування;

X – середньосортова урожайність року.

Абсолютний середній коефіцієнт адаптивності (КАА) розраховується для сорту за формулою:

$$КАА = (X_iC) \times 100 : Xб : 100, \text{ де} \quad (7)$$

X_iC – середня врожайність сорту за роки випробувань;

$Xб$ – багаторічна середньосортова врожайність.

Стресостійкість та компенсаторна здатність сортів – реакція (комплекс реакцій) біосистеми на несприятливий вплив, що компенсує або, принаймні, мінімізує наслідки структурних і функціональних порушень, визначали за формулами А. А. Rossielle і S. Hemblin [8]:

$$CC = Y_{min} - Y_{max} \quad (8)$$

$$КЗ = \frac{Y_{min} + Y_{max}}{2}, \text{ де} \quad (9)$$

де Y_{min} та Y_{max} – мінімальне і максимальне значення ознаки сорту.

CC: сорт тим стійкіший, чим менша різниця між максимумом і мінімумом;

КЗ: характеризує здатність сорту відновлювати продуктивність після стресу

Для сої особливо інформативні ці показники за умов літніх посух та дефіциту ґрунтової вологи в фазі R1–R5

Коефіцієнт варіації – відносна величина, що служить для характеристики розсіяння (мінливості) ознаки. Це відношення середнього квадратичного відхилення SD до середнього арифметичного, виражається у відсотках:

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad (10)$$

Коефіцієнт варіації застосовується тоді, коли необхідно порівняти мінливість ознак об'єкта, які виражені в різних одиницях вимірювання. Має зміст винятково для величин, які вимірюються у шкалах відношень:

$CV < 10\%$ – варіація слабка;

$CV 11\text{--}25\%$ – середня;

$CV > 25\%$ – значна [9].

У дослідях визначали фенотипову, генотипову і екологічну мінливість сортів [10, 11] за наступними формулами:

Варіанса генетична:

$$\sigma_G^2 = \frac{CM_p - CM_e}{r}; \quad (11)$$

Варіанса екологічна:

$$\sigma_A^2 = CM_e; \quad (12)$$

Варіанса фенотипова:

$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_A^2. \quad (13)$$

Коефіцієнт генотипової варіації:

$$CVG = \frac{\sqrt{\sigma_G^2 \times 100}}{\bar{x}}; \quad (14)$$

Коефіцієнт фенотипової варіації:

$$CVP = \frac{\sqrt{\sigma_P^2 \times 100}}{\bar{x}}; \quad (15)$$

Коефіцієнт екологічної варіації:

$$CVE = \frac{\sqrt{\sigma_E^2 \times 100}}{\bar{x}}, \quad (16)$$

де: CM_p – узагальнене середньоквадратичне значення ознаки популяцій;

CM_e – узагальнена середньоквадратична похибка;

r – кількість повторень.

Для характеристики умов вирощування було розраховано індекс умов середовища (IJ):

$$Ij = \left(\frac{\sum Y_{ij}}{vn} \right) - \left(\frac{\sum \sum Y_{ij}}{vn} \right) \quad (17)$$

де: $\sum Y_{ij}$ – сума показників всіх сортів за j -рік;

$\sum \sum Y_{ij}$ – сума показників всіх сортів за всі роки;

v – кількість сортів; n – кількість років.

Ступінь інтегрованого зв'язку ознак рослин оцінювали методом кореляції [12, 13] за формулою:

$$G = \sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}| \quad (18)$$

Відсоткову залежність варіації показника ефективності від впливу обраного фактора визначали через коефіцієнт детермінації (d_{yx}) за формулою [14]:

$$d_{yx} = r_{ij}^2 \times 100 \quad (19)$$

де: r_{ij} – коефіцієнт кореляції між i -м та j -м показником.

Для якісної оцінки коефіцієнтів кореляції застосовувався шкала Чеддока.

Економічну та енергетичну ефективність визначали за загальноприйнятими методиками [15, 16].

Висновки до розділу 2

1. Розроблена програма та методика досліджень повністю відповідають робочій гіпотезі, оскільки передбачені обліки, спостереження та аналітичні процедури забезпечують всебічне розкриття особливостей росту,

розвитку та продукційного процесу рослин сої за умов варіативного впливу сортових особливостей та кліматичних факторів. Така сукупність методичних прийомів створює можливість для поглибленого вивчення біологічних закономірностей, що визначають формування врожаю сої в агроценозі.

2. Для комплексного вирішення поставлених наукових завдань укладено систему фенологічних, морфометричних та лабораторно-аналітичних досліджень, виконання яких здійснювалось відповідно до чинних науково-методичних рекомендацій і державних стандартів. Запропонований методичний підхід забезпечує точність визначення морфогенетичних параметрів рослин, динаміки ростових процесів та показників біохімічного складу, що є важливими індикаторами продуктивності та адаптивності сортів сої.

3. Комплекс досліджень передбачав визначення врожайності сортів сої різних груп стиглості в умовах контрастного гідротермічного режиму, а також оцінювання ключових якісних характеристик насіння. Для забезпечення достовірності висновків проведено математичну та статистичну обробку експериментального матеріалу із використанням сучасних прикладних програм. Це дозволило кількісно оцінити вплив досліджуваних факторів, виявити тенденції та перевірити гіпотези щодо варіації показників продуктивності.

4. Доведено достатність та репрезентативність експериментального матеріалу, що забезпечує можливість коректної інтерпретації отриманих результатів. Методичне обґрунтування вибору показників якості, способів їх визначення та статистичних алгоритмів підтверджує наукову валідність дослідження, а також створює підґрунтя для формування об'єктивних висновків щодо реакції сортів сої різних груп стиглості на умови вирощування та агротехнічні заходи.

Список використаних джерел до розділу 2

-
- 1 Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. К.: НАУ, 2001. 247 с.
 - 2 Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Дата звернення 31.07.2025. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>.
 - 3 ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Чинний від 01.01.2004.
 - 4 ДСТУ 4234:2003 Зернові культури. Визначення об'ємної щільності, так званої маси на гектолітр. Частина 2. Робочий метод (ISO 7971-2:1995, MOD). Чинний від 01.10.2004.
 - 5 Методичні вимоги у сфері насінництва щодо збереження сортових та посівних якостей насіння сої (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0266-23#Text>). 2023.
 - 6 Finlay K. W., Wilkinson G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. Journ. Agric. Res.* 1963. N 14. P. 742–754.
 - 7 Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 1966. Vol. 6, N 1. P. 36–40.
 - 8 Rossielle A. A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environvents. *Crop. Sci.* 1981. Vol. 21, N 6. P. 27–29.
 - 9 Snedecor G. W. 1989. *Statistical Methods 8th Edition*. Iowa State University Press. 503 pp.
 - 10 Shing M., Ceccarelli S., J. Hambling. Estimation of heretability from varietal trials data. *Theorical and Applied Genetics* 1993, 86: 437–441.
 - 11 Burton G. W., R. W. De Vane. Estimating heritability in tall Fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*. 1953, 45: 478-481.
 - 12 Kakade S. M., Foster D. P. Multi-view regression via canonical correlation analysis. In COLT. 2007, 82–96.

13 Hajjar S. El., Abdallah F. One-step multi-view spectral clustering with cluster label correlation graph. *Information Sciences*. 2022, 592: 97–111.

14 Davide C., Warrens M. J., Jurman G. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*. 2021, 7(e623): e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>

15 Ушкаренко В.О., Лазер П.Н., Остапенко А.І., Бойко І.О. Методика оцінки біоенергетичної ефективності технологій виробництва сільськогосподарських культур. Херсон, 1997. 21 с.

16 *Економіка сільського господарства : навч. посіб.* / Збарський В. К. та ін. ; за ред. В. К. Збарського. Київ : Каравела, 2009. 264 с.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН СОРТІВ СОЇ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ В КОНТРАСТНИХ УМОВАХ ДОВКІЛЛЯ

3.1. Період вегетації сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України.

Результати досліджень тривалості періоду вегетації рослин сортів сої різних груп стиглості у різних кліматичних зонах України показали, що сорти ранньостиглої групи вегетували впродовж 112 діб, а середньостиглої – впродовж 125 діб. Встановлено, що в розрізі кліматичних зон найдовшим періодом вегетації характеризувався сорт-стандарт Рапсодія (від 114 до 120 діб), а найкоротшим – сорт Австрійської селекції Адесса – від 93 до 101 доби. У зонах Степу і Лісостепу всі досліджувані сорти мали коротший період вегетації від стандарту на 8–22 доби. У Поліссі – 4–19 діб і лише сорт РЖТ САКУЗА мав період вегетації довший від стандарту на 1 добу.

Відзначено, що у Поліссі найкоротшим періодом вегетації характеризувалися сорти канадської селекції – Ері, Калгарі та Нунавік – 105–109 діб. Очевидно, коротший період вегетації пояснюється тим, що умови Полісся наближені до умов, де відселектовані дані сорти.

Дослідження періоду вегетації середньостиглої групи показало, що в розрізі кліматичних зон даний показник помітно варіював від 112 діб у Степу до 125 – у Поліссі. Знову ж таки, найкоротшим періодом вегетації характеризувався один з сортів канадської селекції – Нептун (90–95 діб), що на 25 діб менше від стандарту. Очевидно даний сорт пройшов реєстрацію за даними заявника, оскільки його екологічне випробування вказує на належність до ранньостиглої групи.

Серед досліджуваних сортів в зоні Степу істотно відрізнялися від стандарту сорти Нептун (-25 діб), ЕС ВІЗИТОР (+19 діб) та Віталіна (+6 діб).

У інших сортів даний показник був рівний або неістотно відрізнявся від стандарту (менше або більше на 4 доби). У Лісостепу була подібна динаміка, проте окремі сорти (Туріас, Зевс і Кармеліта) мали істотно довший період вегетації, інші – відрізнялися неістотно. У Поліссі дана тенденція дещо змінилася – більшість сортів стала переважати стандарт. Окремі сорти (Інгуз, Туріас, Терсія, ЕС КОЛЕКТОР, Зевс і Кармеліта) мали період вегетації довший від стандарту на 5–11 діб (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Період вегетації сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025, діб

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	114	117	120
	Паллада	105	108	114
	Перепілочка	104	107	112
	Таверна	99	102	111
	Фортеця	103	106	115
	Адельфія	104	107	116
	Адесса	93	95	101
	ЕС ДЕКОР	106	109	116
	РЖТ САКУЗА	103	106	121
	Ері	106	109	109
	Калгарі	102	105	105
	Нунавік	100	103	105
	\bar{X}	103	106	112
Середньостиглі	Титан st	112	116	123
	Інгуз	116	120	131
	Туріас	117	121	134
	Акардія	113	117	124
	Алісія	111	115	128
	Дара	115	120	120
	Терсія	115	119	130
	Нептун	90	94	95
	ЕС ВІЗИТОР	109	113	126
	ЕС КОЛЕКТОР	111	115	128
	ЕС КОМПОЗИТОР	109	113	124
	Віталіна	115	120	121
	Зевс	119	124	133
	Кармеліта	117	122	128
	\bar{X}	112	116	125

Характерною особливістю незалежно від сорту і групи стиглості було те, що у зоні Степу період вегетації всіх сортів був найкоротшим, а в Поліссі – найдовшим. У середньому за роки, незалежно від зони вирощування період вегетації ранньостиглої групи сортів сої складав 107 діб, середньостиглої – 118 діб.

У середньому за роки серед сортів ранньостиглої групи виділено сорт Адесса з найкоротшим періодом вегетації – 96 діб, сорти Нунавік, Таверна і Калгарі (103–104 доби), що істотно менше від інших досліджуваних сортів та сорт-стандарт Рапсодія – з найдовшим періодом вегетації. Серед сортів середньостиглої групи виділено лише один сорт – Нептун – з найкоротшим періодом вегетації – 93 доби та Турізас і Зевс – 124 і 125 діб – з найдовшим періодом вегетації. Інші досліджувані сорти цієї групи стиглості з періодом вегетації 115–122 доби не мали статистично значущої різниці (рис. 3.1).

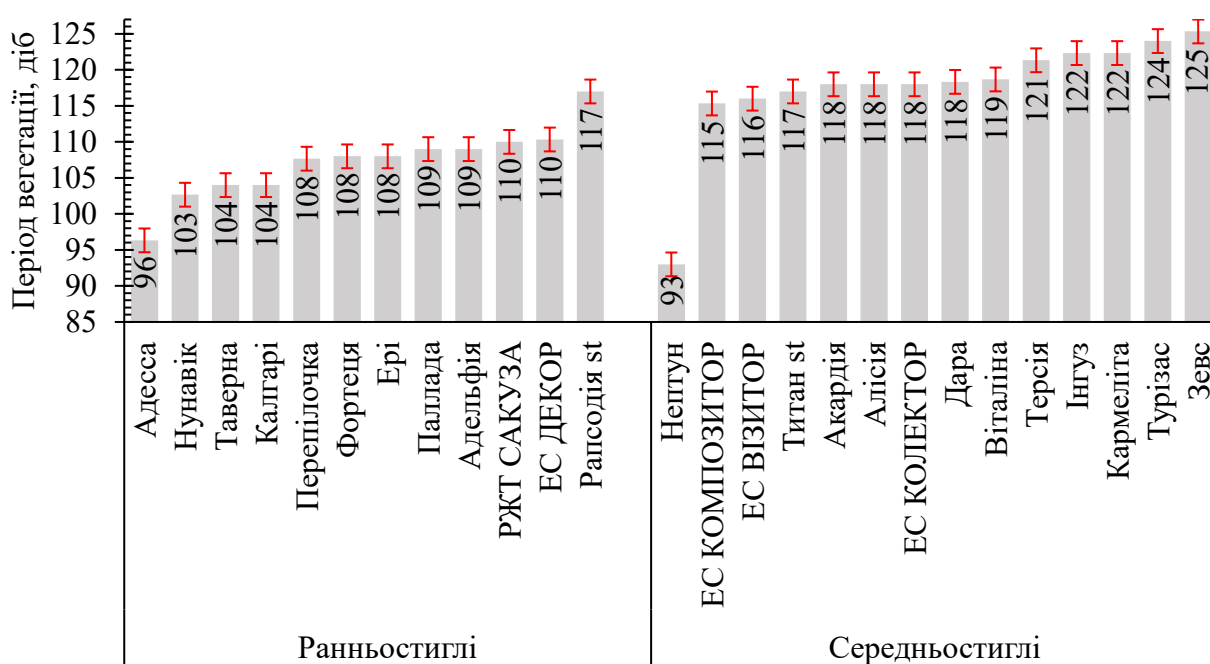


Рис. 3.1 Усереднені дані періоду вегетації сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025, діб

Дані рисунку 3.2 показують, що в зоні Степу переважна кількість сортів (59 %) мали період вегетації 102–106 діб; в Лісостепу 50 % сортів мали період вегетації 104–108 діб; у Поліссі відбувся нормальний розподіл, але по 17 % сорти характеризувалися періодом вегетації 105 і 116 діб.

У сортів середньостиглої групи загальний тренд був стабільним. Так, у Степу 50 % сортів мали період вегетації 111–115 діб та 29 % – 116–120 діб; у Лісостепу 29 % – 110–115, 43 % – 115–120 і 21 % – 121–125 діб; у Поліссі 29 % сортів мали період вегетації 120–125, 36 % – 126–130 і 21 % – 131–135 діб (див. рис. 3.2).

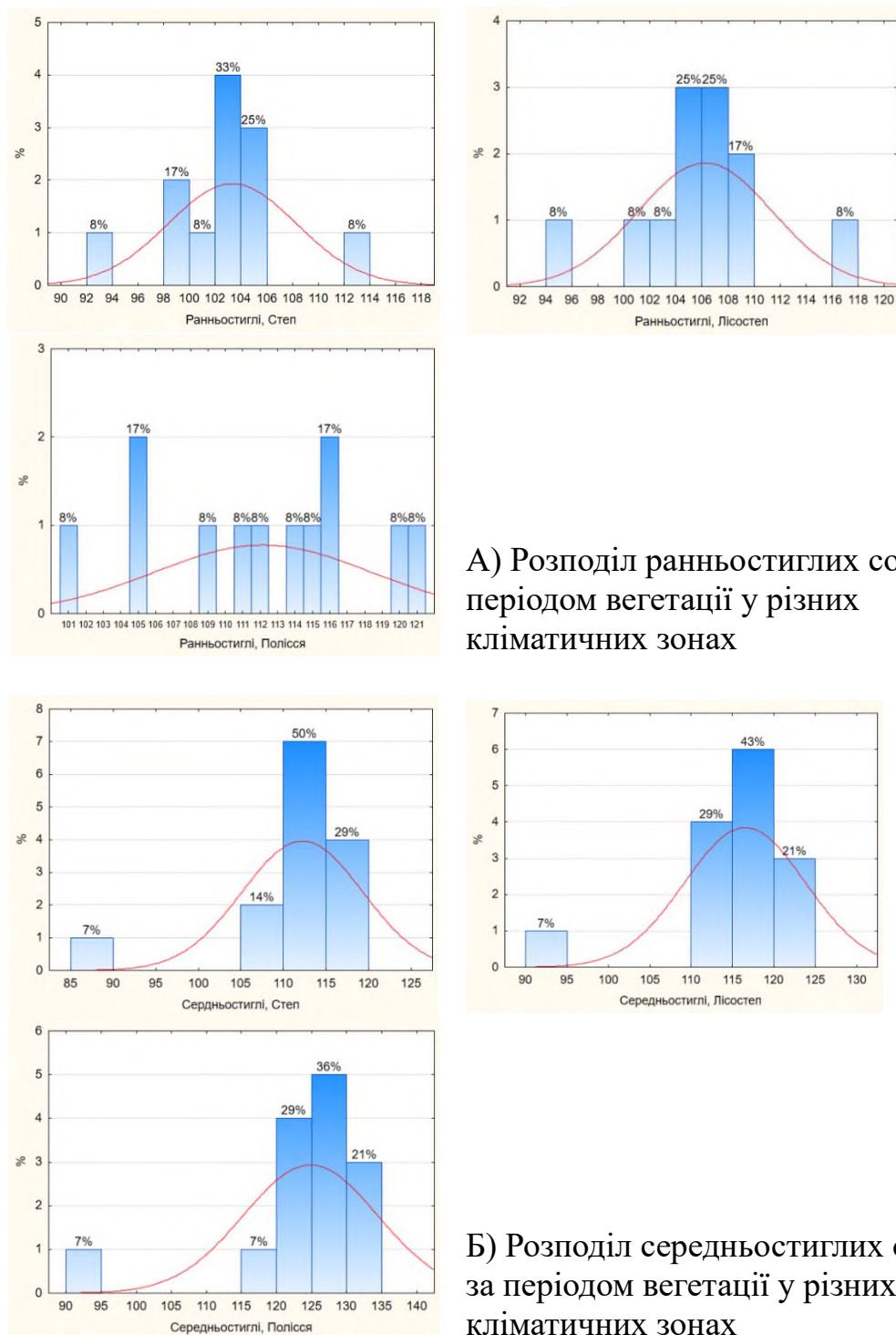


Рис. 3.2 Розподіл сортів сої за періодом вегетації у різних кліматичних зонах, 2023–2025

3.2. Ріст рослин, формування листкової площі та функціонування листкового апарату сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України

Дані таблиці 3.2 вказують на те, що незалежно від групи стиглості найбільшу висоту рослин відзначали у Поліссі України. У розрізі груп стиглості даний показник становив 88 та 93 см відповідно до ранньо- та середньостиглої групи.

Таблиця 3.2

Висота рослин сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України в фазу плодоутворення, 2023–2025, см

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	76	80	95
	Паллада	92	94	104
	Перепілочка	61	62	85
	Таверна	57	57	82
	Фортеця	60	61	85
	Адельфія	66	66	95
	Адесса	60	60	75
	ЕС ДЕКОР	67	68	90
	РЖТ САКУЗА	71	73	91
	Ері	73	75	89
	Калгарі	88	90	84
	Нунавік	79	82	85
	\bar{X}	71	72	88
	НІР ₀₅	4,26	4,32	5,28
Середньостиглі	Титан st	66	66	80
	Інгуз	68	71	88
	Турізас	71	74	91
	Акардія	68	71	82
	Алісія	78	88	91
	Дара	64	67	95
	Терсія	72	75	87
	Нептун	85	93	105
	ЕС ВІЗИТОР	73	76	96
	ЕС КОЛЕКТОР	75	78	93
	ЕС КОМПОЗИТОР	71	74	92
	Віталіна	84	93	101
	Зевс	84	92	106
	Кармеліта	72	74	95
	\bar{X}	74	78	93
	НІР ₀₅	4,44	4,68	5,58

Установлено, що в Степу серед досліджуваних сортів ранньостиглої групи лише два статистично достовірно переважали стандарт – Паллада (92 см) та Калгарі (88 см). Статистично неістотно вищим вищими від стандарту були рослини сорту Нунавік (79 см), неістотно нижчими від стандарту був сорт Ері – 73 см. Усі інші досліджувані сорти цієї групи стиглості були істотно нижчими (57–71 см). У Лісостепу збереглася така ж тенденція – вищими від стандарту були рослини сортів Паллада та Калгарі, Нунавік – неістотно вищий, а всі інші нижчі. У Поліссі достовірно вищими відзначалися рослини сорту Паллада (104 см). Сорти ЕС ДЕКОР та РЖТ САКУЗА – неістотно нижчі, а всі інші сорти характеризувалися істотно меншою висотою рослин відносно стандарту.

Середньостиглі сорти сої в Степу мали показник висоти рослин від 64 до 85 см. Істотно вищими від стандарту були рослини сортів Алісія (78 см), Нептун (85 см), Віталіна та Зевс – 84 см. Істотно нижчими рослини сортів Інгуз, Акардія, Дара. Рослини всіх інших досліджуваних сортів були неістотно вищими. У Лісостепу динаміка дещо відрізнялася. Так, рослини всіх досліджуваних сортів переважали стандарт (сорт Дара – неістотно, всі інші – істотно). Висота рослин сої в Поліссі істотно відрізнялася від Степу і Лісостепу. Так, статистично недостовірну різницю від стандарту відзначали у лише у сорту Акардія, всі інші досліджувані сорти мали висоту рослин 87 – 106 см, що статистично достовірно більше від стандарту на 7–26 см (див. табл. 3.2).

Експериментальними дослідженнями виявлено, що в середньому за показником «висота рослини» сорти ранньостиглої групи мали середню варіацію (12 %), а середньостиглі – слабку (9 %). Проте різниця в абсолютних показниках між групами стиглості була істотна. Серед досліджуваних сортів ранньостиглої групи виявлено лише сорт Паллада, що був істотно вищим від стандарту (на 13 см) та сорт Калгарі (+4 см до st) тоді, як всі інші сорти характеризувалися меншою висотою рослин на 2–19 см. Абсолютна кількість

сортів відносяться до середньорослої групи, за виключенням сорту Паллада – високорослий (рис. 3.3).

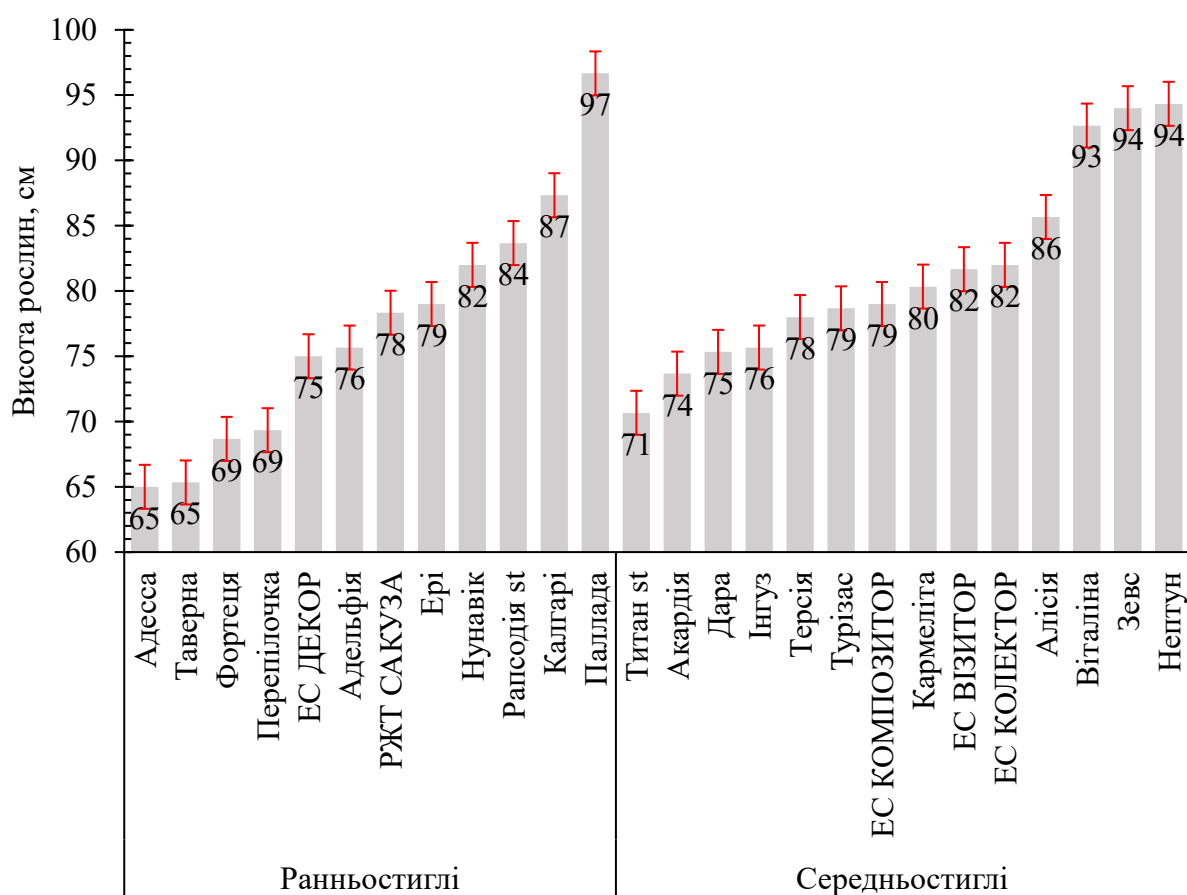


Рисунок 3.3 Висота рослин сортів сої різних груп стиглості у фазу плодоутворення

Аналіз висоти рослин середньостиглої групи сортів сої показав, що всі досліджувані сорти переважали стандарт на 3–24 см. Серед них до високорослих віднесено сорти Нептун, Віталіна і Зевс.

За показником загальної кількості вузлів на рослині сорти ранньостиглої групи мали середню варіацію в Степу і Лісостепу – 15 і 16 % відповідно, а в Поліссі дані сорти варіювали слабко – 9 %. Проте у Поліссі абсолютна більшість сортів, за рахунок більшої висоти рослин, утворювали на 1–3 вузла більше від рослин зони Степу і Лісостепу.

Статистично істотно більшу кількість вузлів від сорту-стандарту формували сорти Паллада і Калгарі – 16–17 шт/роsl. у зонах Степу і Лісостепу. Всі інші досліджувані сорти формували достовірно меншу кількість вузлів відносно стандарту в обох кліматичних зонах (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Загальна кількість вузлів на рослинах сортів сої різних груп
стиглості в різних кліматичних зонах України в фазу плодоутворення,
2023–2025, шт**

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	14	14	15
	Паллада	16	17	17
	Перепілочка	11	11	13
	Таверна	10	10	13
	Фортеця	11	11	14
	Адельфія	12	12	15
	Адесса	11	11	12
	ЕС ДЕКОР	12	12	14
	РЖТ САКУЗА	13	13	15
	Ері	13	14	14
	Калгарі	16	16	13
	Нунавік	14	15	14
\bar{X}		13	13	14
CV, %		15	16	9
НІР ₀₅		0,78	0,78	0,84
Середньостиглі	Титан st	13	13	15
	Інгуз	14	14	17
	Туріас	14	15	16
	Акардія	14	14	15
	Алісія	16	16	17
	Дара	13	13	19
	Терсія	14	15	17
	Нептун	17	17	20
	ЕС ВІЗИТОР	15	15	18
	ЕС КОЛЕКТОР	15	15	18
	ЕС КОМПОЗИТОР	14	15	18
	Віталіна	17	17	20
	Зевс	17	18	19
	Кармеліта	15	13	19
\bar{X}		15	15	18
CV, %		9	10	9
НІР ₀₅		0,90	0,90	1,08

Варіювання даного показника у середньостиглих сортів було слабким – 9–10 % у розрізі кліматичних зон. Загальна кількість вузлів на рослині у зоні Полісся була більшою від Степу і Лісостепу на 1–6 шт. В цих кліматичних зонах сорти Нептун, Віталіна та Зевс статистично достовірно переважали сорт-стандарт. У Поліссі стандарт переважали сорти Нептун і Віталіна.

У середньому за показником загальної кількості вузлів на головному стеблі сорти ранньостиглої групи відносяться до маловузлових (11–14) за виключенням високорослого сорту Паллада, який належить до середньовузлових. Сорти середньостиглої групи Титан і Акардія належать до маловузлових, а всі інші до середньовузлових. Варіювання даної ознаки становило 12 % у ранньостиглих і 8 % у середньостиглих сортів (рис. 3.4).

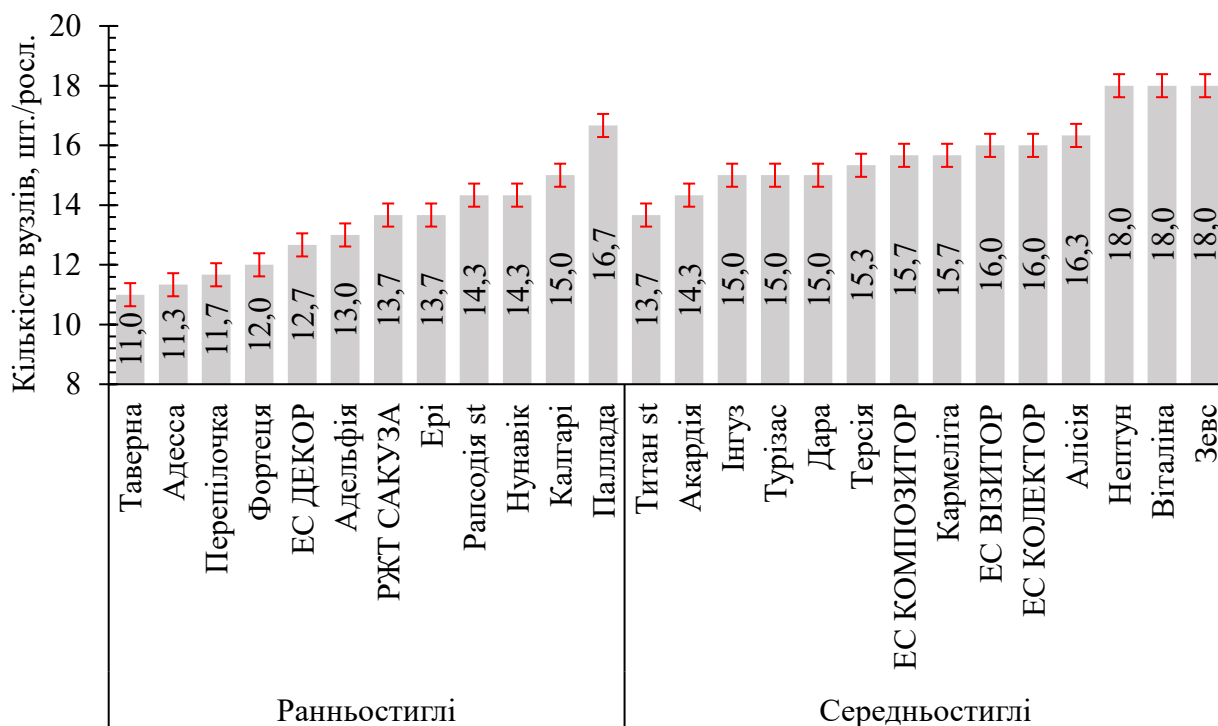


Рис. 3.4 Усереднені дані загальної кількості вузлів на рослинах сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України в фазу плодоутворення, 2023–2025, шт

Висота прикріплення нижнього боба на рослинах сортів сої є важливою морфолого-агрономічною ознакою, яка має значний вплив на технологічність вирощування та збирання врожаю, а також втрати насіння при збиранні.

Основне значення висоти прикріплення нижнього боба полягає в тому, що вона визначає, наскільки ефективно можна зібрати урожай комбайном без втрат нижніх бобів. Якщо висота прикріплення нижнього боба надто низька (<10–12 см), існує ризик того, що нижні боби залишаться незібраними або будуть ушкоджені під час проходження жатки. Оптимальною вважається висота 12–15 см і більше, що дає змогу забезпечити мінімальні втрати врожаю при механізованому збиранні.

У зонах із частими дощами чи високою вологістю ґрунту восени підвищена висота прикріплення нижнього боба сприяє зменшенню ймовірності загнивання нижніх бобів. У зонах ризикованого землеробства сорти з вищим прикріпленням нижнього боба мають кращу адаптивність до несприятливих умов. Висота прикріплення нижнього боба є важливим критерієм при селекції нових сортів, особливо промислового типу, орієнтованих на інтенсивні технології вирощування. Високий показник прикріплення нижнього боба підвищує універсальність сорту, робить його придатним для ширшого спектру сільськогосподарської техніки.

Занижене розміщення бобів веде до прямих втрат врожаю, що може складати до 10–15% у загальному обсязі, особливо при збиранні низькорослих сортів або в умовах нерівного поля. Цей показник має високу варіативність залежно від сорту та умов вирощування, що робить його важливою ознакою для селекційного добору. Він може використовуватись як індикатор придатності сорту до прямого комбайнування.

Дослідженнями виявлено, що умови кліматичної зони мали помітний вплив на збільшення висоти прикріплення нижнього боба на рослинах ранньостиглих сортів сої. У розрізі досліджуваних кліматичних зон видно, що оптимальному показнику (12–15 см) у Степу відповідали сорти української (Рапсодія, Паллада) та канадської селекції (Ері, Калгарі та Нунавік); в зоні Лісостепу та ж тенденція за виключенням сорту Ері, а в Поліссі абсолютна більшість сортів ранньостиглих сортів відповідали цій вимозі. Низьке розташування бобів відзначено в сортів Таверна та Адесса.

Аналіз даного показника у середньостиглої групи сортів сої показав, що дані сорти мали аналогічну динаміку до попередніх. Так, у Степу та Лісостепу оптимальним розміщенням нижнього боба характеризувалися сорти Алісія, Нептун, Віталіна і Зевс; у Поліссі – Нептун, ЕС ВІЗИТОР, Віталіна і Зевс. Усі інші досліджувані сорти в трьох зонах досліджень зарекомендувалися заниженим розміщенням нижнього боба (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Висота прикріплення нижнього боба на рослинах сортів сої різних груп стиглості у фазу плодоутворення, 2023–2025, см

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся	\bar{X}
Ранньостиглі	Рапсодія st	12	12	13	12
	Паллада	15	14	15	14
	Перепілочка	10	9	12	10
	Таверна	9	9	11	10
	Фортеця	10	9	12	10
	Адельфія	11	10	13	11
	Адесса	10	9	11	10
	ЕС ДЕКОР	11	10	13	11
	РЖТ САКУЗА	11	11	13	12
	Ері	12	11	12	12
	Калгарі	14	14	12	13
	Нунавік	13	12	12	12
	\bar{X}	11	11	12	12
	CV, %	15	16	8	12
	HP ₀₅	0,63	0,63	0,71	
Середньостиглі	Титан st	10	9	10	10
	Інгуз	10	10	11	10
	Турізас	11	10	11	11
	Акардія	10	10	10	10
	Алісія	12	12	11	12
	Дара	10	9	11	10
	Терсія	11	11	10	11
	Нептун	13	13	13	13
	ЕС ВІЗИТОР	11	11	12	11
	ЕС КОЛЕКТОР	11	11	11	11
	ЕС КОМПОЗИТОР	11	10	11	11
	Віталіна	13	13	12	13
	Зевс	13	13	13	13
	Кармеліта	11	10	11	11
	\bar{X}	11	11	11	11
	CV, %	9	12	8	9
	HP ₀₅	0,66	0,65	0,67	

У середньому за висотою прикріплення нижнього боба сорти обох досліджуваних груп належать до групи з середньою висотою прикріплення (10–15 см). Найбільш високим прикріпленням нижнього боба характеризувалися високорослі сорти Паллада, Нептун, Віталіна і Зевс – 13–14 см. У всіх інших сортів даний показник був у межах 10–12 см, а варіювання складало 12 і 9 % відповідно до групи стиглості (див. табл. 3.4).

Висота прикріплення нижнього боба впливає переважно на технологічність збирання, втрати врожаю, сортову придатність до механізації та стабільність урожаю в різних умовах вирощування. У сучасному насінництві сої вона є одним із ключових критеріїв вирощування того чи іншого сорту.

У ході досліджень була проведена оцінка сортів сої за показником загальної кількості бобів на одній рослині, що є одним з найважливіших елементів структури врожаю. На основі отриманих даних було здійснено ранжування сортів за рівнем продуктивності:

- Низькопродуктивні сорти – до 30 бобів/рослину: представлений лише сорт Перепілочка (29 бобів), що свідчить про його обмежений потенціал формування генеративних органів.
- Середньопродуктивні сорти – 31–60 бобів/рослину: усі інші досліджувані сорти, як ранньостиглої, так і середньостиглої групи.

У ранньостиглій групі кількість бобів варіювала від 29 до 53 шт/роsl., з коефіцієнтом варіації 16 %, що свідчить про більшу мінливість продуктивності серед цих сортів. Це обумовлено коротшим вегетаційним періодом, що впливає на повноту реалізації генетичного потенціалу рослин.

У середньостиглій групі спостерігалось варіювання в межах 32–47 шт/роsl. при меншому рівні варіації – 14 %, що вказує на більш стабільну реалізацію генеративної продуктивності в цих сортів.

Відомо, що кількість бобів на одній рослині є інтегральним показником, що формується під впливом:

- генетичних особливостей сорту (детермінантність, архітектоніка рослини);
- тривалості вегетаційного періоду (у ранніх сортів менше часу на формування бобів);
- екологічних умов та агротехніки (забезпечення вологою, живленням, густота стояння рослин).

Таким чином, менша кількість бобів у сорту Перепілочка може бути наслідком короткої фази цвітіння або слабкої адаптації до умов вирощування. Натомість сорт Таверна із 53 бобами є прикладом високої генеративної здатності, що вигідно для селекційного добору.

Аналіз загальної кількості бобів на одній рослині сприяв ранжуванню сортів на низькопродуктивні (до 30 бобів – сорт Перепілочка) та середньопродуктивні (31–60 бобів – всі інші сорти обох груп стиглості). Серед сортів ранньостиглої групи варіювання кількості бобів було в межах 29–53 шт./роsl. і складало 16 % у сортів середньостиглої групи дане варіювання відзначали в межах 32 – 47 шт./роsl., або 14 % (рис. 3.5).

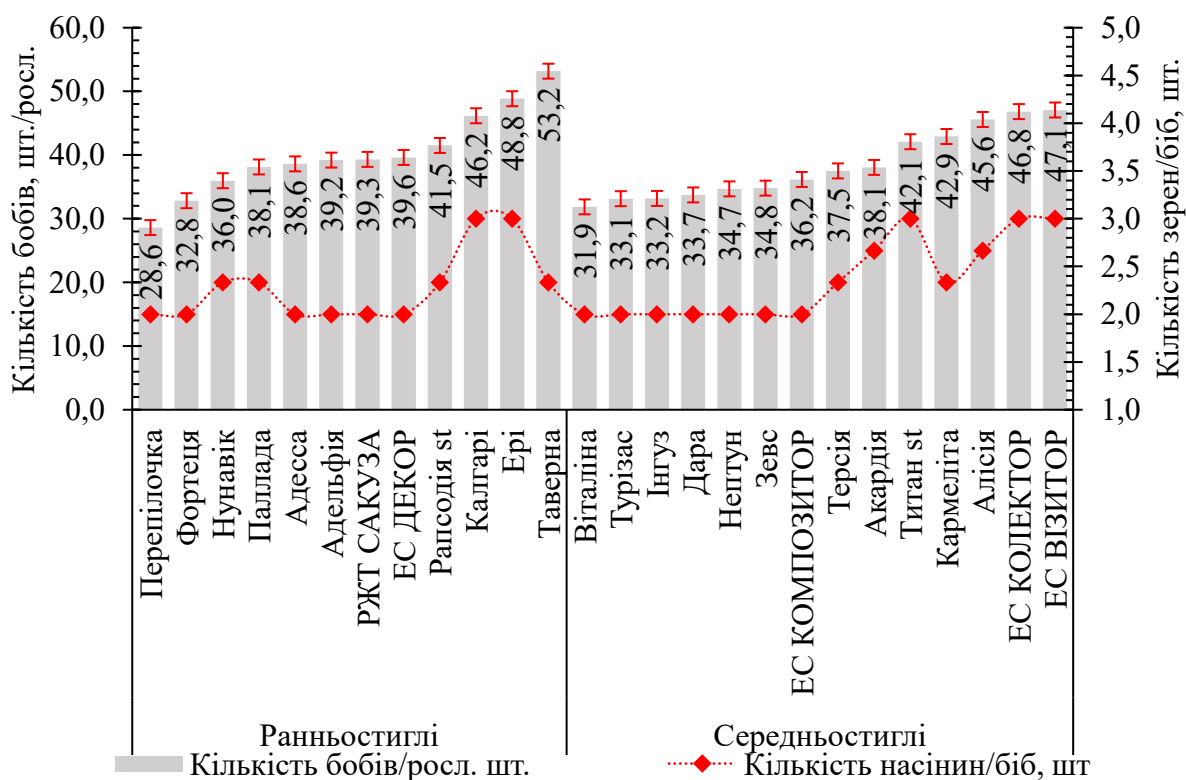


Рис. 3.5 Загальна кількість бобів на рослинах сортів сої різних груп стиглості у фазу плодоутворення

Максимального значення досягали сорти Таверна – 53 шт., Ері – 49 шт., Калгарі – 46 шт., Алісія – 46 шт., ЕС ВІЗИТОР і ЕС КОЛЕКТОР – 47 шт./роsl.

Проведений аналіз дав змогу виокремити сорт Перепілочка як низькопродуктивний, а решту сортів – як середньопроductивні за ознакою кількості бобів на рослині. Сорти Таверна, Ері, Калгарі, Алісія, ЕС ВІЗИТОР і ЕС КОЛЕКТОР показали найвищу потенційну продуктивність, що свідчить про їхню доцільність для інтенсивних технологій вирощування.

Вища варіабельність кількості бобів у ранньостиглих сортів свідчить про неповну реалізацію потенціалу в умовах обмеженого вегетаційного періоду.

Показник кількості бобів може бути критерієм добору високопродуктивних сортів у селекційній роботі та при оцінці адаптивності сортів до конкретних зон вирощування.

Показник кількості зерен на одній рослині сої є важливим елементом структури врожаю, що безпосередньо впливає на загальну продуктивність сорту. За результатами досліджень, виявлено істотне варіювання цього показника як між сортами, так і між групами стиглості.

У ранньостиглих сортів мінімальне значення: сорт Перепілочка – 57 зерен/роsl., що на 39 шт. менше за стандартний сорт. Це свідчить про низький генеративний потенціал, ймовірно, через короткий вегетаційний період, слабкий розвиток бобів або обмеження з боку екологічних умов (див. рис. 3.5).

Максимальні значення: Таверна – 120 зерен, Ері – 147 зерен, Калгарі – 139 зерен. Ці сорти перевищують стандарт на 23–50 зерен, демонструючи високу генеративну продуктивність, що є вигідним фактором при доборі сортів для інтенсивного вирощування. Інші сорти ранньостиглої групи формували менше зерен, ніж стандарт, на 8–31 шт./роsl., що вказує на недостатню реалізацію потенціалу зернової продуктивності у більшості ранніх сортів.

Переважає більшість сортів середньостиглої групи формували менше зерен, ніж стандартний сорт, на 9–63 шт./роsl. Така тенденція свідчить про обмеження в продуктивності, можливо, внаслідок несприятливих погодних умов у другій половині вегетації, або вищих вимог до умов вирощування.

Найнижчі значення зернової продуктивності виявлено у сортів: Інгуз, Туріас, Нептун, ЕС КОМПОЗИТОР, Віталіна, Зевс. Це може бути наслідком низької кількості бобів або зерен у бобі, або зниженого коефіцієнта реалізації квіток у плоди.

Найвищу продуктивність серед середньостиглих сортів мали: ЕС ВІЗИТОР – 141 зерен/роsl, ЕС КОЛЕКТОР – 140 зерен/роsl. Вони перевищили стандарт на 15 і 14 шт. відповідно, що вказує на їх стабільну реалізацію генеративного потенціалу, високий коефіцієнт плодоутворення та потенціал для вирощування в умовах інтенсивних технологій.

Кількість зерен на рослині залежить від комплексної взаємодії генетичних особливостей сорту, екологічних умов, агротехніки та фізіолого-біохімічного стану рослин. Зокрема:

- ✓ Кількість бобів і зерен у бобі безпосередньо впливає на загальний показник;
- ✓ Тривалість фази цвітіння і ефективність запилення визначають кількість зав'язі;
- ✓ Фізіологічний стрес (високі температури, посуха, дефіцит елементів живлення) може призводити до часткового скидання квіток або зав'язі, що знижує кількість зерен;
- ✓ Селекційна спрямованість сорту (олійний чи кормовий напрям) також впливає на тип структури врожаю.

На підставі даних таблиці 3.5 проведено комплексний аналіз кількісної варіації цього морфологічного показника у трьох агрокліматичних зонах України (Степ, Лісостеп, Полісся) із розподілом за групами стиглості (ранньостиглі, середньостиглі). У якості стандартів обрано сорти Рапсодія та Титан, відповідно до кожної групи.

Аналіз ранньостиглих сортів показав середні значення для кліматичних зон: Степ – 21 листок; Лісостеп – 26 листків; Полісся – 38 листків; Середнє по зонах – 29 листків. Виявлено сорти, що істотно перевищили стандарт (НІР₀₅: Степ – 1,26; Лісостеп – 1,55; Полісся – 2,28):

- ✓ Полісся: Таверна»(43 шт.), Ері (45 шт.), істотно вище за 45 – стандарт.
- ✓ Лісостеп: Калгарі (31 шт.) > 24 (стандарт), різниця +7 > 1,55 → істотно.
- ✓ Степ: Ері (27 шт.) > 21, різниця +6 > 1,26 → істотно.

Сорти, що не досягли стандарту:

Степ: Адесса (18 шт.), Адельфія (19 шт.) – нижчі за стандарт (21 шт.). Проте різниця у 2–3 листки в межах HP_{05} (1,26) може бути статистично значущою.

У зоні Полісся ранньостиглі сорти формують на 17 листків більше, ніж у Степу (45 проти 21), що перевищує HP_{05} удвічі, свідчачи про потужний вплив кліматичних умов. Сорти Таверна та Ері демонструють високу адаптивність до умов достатнього зволоження.

Аналіз середньостиглих сортів показав середні значення: Степ – 22; Лісостеп – 28; Полісся – 44; Середнє по зонах – 31 листок.

✓ Полісся: багато сортів перевищили стандарт (43), зокрема, ЕС ВІЗИТОР (52), ЕС КОЛЕКТОР (50), Алісія (50), Акардія (50) – +7–9 листків (перевищення істотне ($HP_{05} = 2,65$)).

✓ Лісостеп: ЕС ВІЗИТОР і Кармеліта (32) > стандарт (33), майже на рівні або трохи нижче.

✓ Степ: Інгуз (19), Акарді (17), «Віталіна» (17) – суттєво нижчі за стандарт (22), з різницею > HP_{05} (1,32).

У Поліссі середньостиглі сорти мають перевагу в середньому на 22 листки порівняно з Степом. Це демонструє виражену пластичність у відповідь на зволоження, що узгоджується з потребою цих сортів у тривалішому вегетаційному періоді.

В обох групах спостерігається чітка градієнтна динаміка нарощування листової маси в напрямку від Степу до Полісся. Різниця між зонами перевищує HP_{05} у кілька разів, що вказує на статистично достовірний вплив екологічного чинника.

У кожній зоні середньостиглі сорти формують у середньому на 1–6 листків більше за ранньостиглі (наприклад, у Лісостепу: 28 проти 26 шт.), (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Кількість листків на рослинах сортів сої різних груп стиглості,
2023–2025, шт**

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся	\bar{X}
Ранньостиглі	Рапсодія st	21	24	45	30
	Паллада	22	26	38	29
	Перепілочка	22	22	35	26
	Таверна	24	27	43	31
	Фортеця	22	24	33	26
	Адельфія	19	25	35	26
	Адесса	18	27	35	27
	ЕС ДЕКОР	20	27	37	28
	РЖТ САКУЗА	19	27	37	28
	Ері	27	29	45	34
	Калгарі	22	31	41	31
	Нунавік	19	27	36	27
	\bar{X}	21	26	38	29
	SD	2,42	2,29	3,97	2,32
	CV, %	11	9	10	8
	НІР ₀₅	1,26	1,55	2,28	
Середньостиглі	Титан st	22	33	43	33
	Інгуз	19	25	38	27
	Турізас	20	25	40	28
	Акардія	17	33	50	33
	Алісія	24	27	50	34
	Дара	21	24	43	29
	Терсія	22	27	46	32
	Нептун	22	23	41	29
	ЕС ВІЗИТОР	26	32	52	37
	ЕС КОЛЕКТОР	24	32	50	35
	ЕС КОМПОЗИТОР	24	30	44	33
	Віталіна	17	23	38	26
	Зевс	19	24	36	26
	Кармеліта	24	32	39	32
	\bar{X}	22	28	44	31
	SD	2,69	3,81	5,08	3,28
	CV, %	13	14	12	11
	НІР ₀₅	1,32	1,68	2,65	

Найбільша різниця спостерігається у Поліссі: 44 (середньостиглі) проти 38 (ранньостиглі) – +6, що перевищує $НІР_{05}$.

Це підтверджує, що подовження вегетаційного періоду забезпечує формування потужнішого листкового апарату, особливо в умовах сприятливого вологозабезпечення.

На основі таблиці 3.6 проведено аналіз рівня розвитку листкової поверхні у сортів сої в розрізі кліматичних зон України (Степ, Лісостеп, Полісся).

Розвиток листкової площі ранньостиглих сортів сої.

Полісся: сорти Таверна (64,4) та Ері (65,3) мають значення, майже ідентичні стандарту, але ЕС ВІЗИТОР (77,0) і ЕС КОЛЕКТОР (74,0) істотно перевищують базовий рівень. Стандартне відхилення $SD = 5,97 \rightarrow$ відхилення >10 тис. $м^2/га$ є статистично достовірним. Лісостеп: «Калгарі» (47,0), «Ері» (45,0) $>$ стандарту (34,8), перевищення на 10–12 тис. $м^2/га$, що перевищує SD (4,07). Степ: Ері (42,0), Калгарі (40,0), Таверна (36,0) – вище за стандарт (30,5); з урахуванням $SD = 4,88$, відхилення істотні.

Адесса (26,1), Адельфія (27,6) у Степу – нижчі на 3–4 тис. $м^2/га$, що наближається до границі $НІР_{05}$, але ще потребує уточнення щодо істотності.

У межах ранньостиглої групи найбільш стабільним у всіх зонах виявився сорт Ері, який істотно перевищив стандарт за показником листкової площі. У зоні Полісся ранньостиглі сорти в середньому формували на 24 тис. $м^2/га$ більше листкової площі, ніж у Степу (55,8 проти 31,8), що свідчить про сильний еколого-зональний ефект.

Розвиток листкової площі середньостиглих сортів сої. Полісся: Сорти ЕС ВІЗИТОР (77,0), Алісія (74,0), Акардія (74,0), ЕС КОЛЕКТОР (74,0) перевищують стандарт на 10+ тис. $м^2/га$, що при $SD = 7,52$ однозначно свідчить про статистичну істотність. Лісостеп: Акардія (49,4), Кармеліта (47,4), ЕС КОЛЕКТОР (47,4) – дещо нижче за стандарт (50,2), але в межах $SD = 5,90 \rightarrow$ неістотно. Степ: Віталіна (25,2), Акардія (25,2) – нижче на 7,4 тис. $м^2/га$ порівняно зі стандартом (32,6), при $SD = 5,10$ це може бути гранично істотним.

Середньостиглі сорти мають виражено більшу листкову площу у Поліссі, ніж у Степу (різниця +31,74 тис. м²/га). Найвищі показники стабільно демонструють сорти ЕС ВІЗИТОР, Алісія, Акардія, що свідчить про високу екологічну пластичність і потенціал до інтенсивного фотосинтезу (див. 3.6).

Таблиця 3.6

**Листкова площа посівів сортів сої різних груп стиглості, 2023–2025,
тис. м²/га**

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся	\bar{X}
Ранньостиглі	Рапсодія st	30,5	34,8	65,3	43,5
	Паллада	31,9	37,7	55,1	41,6
	Перепілочка	31,9	31,9	50,8	38,2
	Таверна	36,0	39,2	64,4	46,5
	Фортеця	31,9	34,8	47,9	38,2
	Адельфія	27,6	36,3	50,8	38,2
	Адесса	26,1	41,0	50,8	39,3
	ЕС ДЕКОР	29,0	39,2	53,7	40,6
	РЖТ САКУЗА	27,6	39,2	53,7	40,1
	Ері	42,0	45,0	65,3	50,8
	Калгарі	40,0	47,0	59,5	48,8
	Нунавік	27,6	39,2	52,2	39,6
	\bar{X}	31,8	38,8	55,8	42,1
	SD	4,88	4,07	5,97	4,16
	CV, %	15	10	11	10
	HR ₀₅	1,90	2,32	3,34	
Середньостиглі	Титан st	32,6	50,2	63,6	48,8
	Інгуз	28,1	37,0	56,2	40,5
	Турізас	29,6	37,5	59,2	42,1
	Акардія	25,2	49,4	74,0	49,5
	Алісія	39,2	40,0	74,0	51,1
	Дара	31,1	35,5	63,6	43,4
	Терсія	32,6	40,0	68,1	46,9
	Нептун	32,6	34,0	60,7	42,4
	ЕС ВІЗИТОР	40,6	47,4	77,0	55,0
	ЕС КОЛЕКТОР	40,1	47,4	74,0	53,8
	ЕС КОМПОЗИТОР	38,1	44,4	65,1	49,2
	Віталіна	25,2	33,1	56,2	38,2
	Зевс	28,1	35,5	53,3	39,0
	Кармеліта	35,5	47,4	57,7	46,9
	\bar{X}	32,75	41,33	64,49	46,4
	SD	5,10	5,90	7,52	5,28
	CV, %	16	14	12	11
	HR ₀₅	1,96	2,50	3,86	

Збільшення листкової площі в напрямку Степ → Лісостеп → Полісся є чітко вираженим, і приріст у обох групах перевищує стандартне відхилення, що свідчить про істотний вплив кліматичного чинника, зокрема вологості.

Найбільша різниця між групами стиглості – у зоні Полісся, де середньостиглі сорти формують майже на 9 тис. м²/га більше листкової площі, ніж ранньостиглі. Це пояснюється довшим вегетаційним періодом та кращим реалізаційним потенціалом продуктивності.

Кліматичні умови мають вирішальний вплив на рівень розвитку листкової площі сої: у зоні Полісся рослини формують на 25–32 тис. м²/га більше площі, ніж у Степу.

Середньостиглі сорти демонструють вищий потенціал формування листкового апарату, особливо у сприятливих умовах достатнього зволоження.

Сорти ЕС ВІЗИТОР, Акардія, Алісія, ЕС КОЛЕКТОР, Ері показали стабільно високі показники листкової площі у всіх зонах, що свідчить про їх високу адаптивність та енергетичний потенціал продуктивності.

Високі значення коефіцієнта варіації (CV 10–16%) свідчать про помітну, але контрольовану варіативність ознаки, що дозволяє ефективно диференціювати сорти у селекційному процесі.

3.3. Індивідуальна продуктивність рослин сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України

Аналіз сортів у межах ранньостиглої групи стиглості. Дослідження показали значну варіабельність кількості зерен на одну рослину серед ранньостиглих сортів сої, що свідчить про істотний вплив генетичних особливостей сортів на продуктивність. Стандартний сорт Рапсодія сформував 96 зерен/росл., що було взято за еталон для порівняння.

Найменший показник відмічено у сорту Перепілочка, який сформував лише 57 зерен, що на 39 шт. або 40,6 % менше від стандарту, демонструючи

обмежену репродуктивну здатність в умовах усіх трьох зон. Аналогічно низькі результати показали сорти Фортеця (66) та Адельфія (78), які відставали від стандарту на 18–30 шт.

Найвищу продуктивність серед ранньостиглих форм продемонстрували сорти Таверна (120 зерен), Ері (147) та Калгарі (139), що перевищили стандарт відповідно на 25, 51 і 43 зерна, або на 26–53 %. Особливо слід відзначити сорти канадської селекції, які відзначились стабільною високою кількістю насіння в усіх зонах вирощування, особливо в умовах Черкаської області (182 зерна у сорту Ері). Інші сорти, зокрема Адесса, ЕС Декор, РЖТ САКУЗА, формували на 8–31 зерно менше від стандарту, що демонструє відносну стабільність, однак нижчу реалізацію репродуктивного потенціалу.

Аналіз сортів середньостиглої групи стиглості. Для середньостиглих сортів характерна така ж значна варіабельність: кількість насіння коливалася від 63 до 143 зерен/роsl. Стандартний сорт Титан сформував 126 зерен, що є найвищим значенням серед вітчизняних зразків і слугує базою для порівняння.

Абсолютна більшість сортів виявила нижчу продуктивність, зокрема Інгуз, Туріас, Дара, Нептун, ЕС КОМПОЗИТОР, Віталіна, Зевс мали лише 64–72 зерна/роsl., що на 40–63 шт. менше від стандарту. Це може бути зумовлено як генетичними чинниками, так і зниженим коефіцієнтом конверсії квіток у насіння

Натомість сорти французької селекції ЕС ВІЗИТОР та ЕС КОЛЕКТОР показали найвищі результати – 141 та 140 зерен, що на 15 та 14 зерен перевищує стандарт, або на 11–12 %. Вони демонстрували стабільно високу насіннєву продуктивність у всіх агрокліматичних зонах. Варто також відзначити сорт Кармеліта, який у середньому дав 104 зерна, з піковим значенням 160 у Лісостепу

Аналіз зон вирощування. За зонами вирощування чітко простежується регіональна залежність продуктивності. Найвищі середні значення кількості зерен були зафіксовані в Лісостепу (Черкаська обл.) — 110 зерен у

ранньостиглих та 112 зерен у середньостиглих сортів, що свідчить про сприятливе поєднання гідротермічних показників та родючості ґрунтів.

У Степу (Одеська обл.) спостерігалось помірне зниження — 90 зерен (ранньостиглі) та 84 зерна (середньостиглі). Це, ймовірно, пов'язано з частими проявами ґрунтової посухи або високих температур у період наливу бобів (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Кількість насіння на рослині сортів сої різних груп стиглості, шт.

(ВВСН 99)

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся	\bar{X}
Ранньостиглі	Рапсодія st	76	92	121	96
	Паллада	111	97	58	89
	Перепілочка	65	63	43	57
	Таверна	116	123	119	120
	Фортеця	77	75	45	66
	Адельфія	70	102	63	78
	Адесса	68	97	67	77
	ЕС ДЕКОР	71	97	70	79
	РЖТ САКУЗА	73	100	63	79
	Ері	142	182	116	147
	Калгарі	143	160	112	139
	Нунавік	69	129	62	86
	\bar{X}	90	110	78	93
	SD	28,29	32,42	28,50	26,78
Середньостиглі	CV, %	31	30	36	29
	НІР ₀₅	5,4	6,6	4,68	5,58
	Титан st	119	148	112	126
	Інгуз	69	75	55	66
	Туріас	63	77	58	66
	Акардія	63	152	95	104
	Алісія	111	116	125	117
	Дара	67	79	56	67
	Терсія	70	91	95	86
	Нептун	69	75	64	69
	ЕС ВІЗИТОР	143	174	107	141
	ЕС КОЛЕКТОР	143	169	109	140
	ЕС КОМПОЗИТОР	69	87	61	72
	Віталіна	58	75	58	64
	Зевс	59	87	63	70
	Кармеліта	74	160	77	104
	\bar{X}	84	112	81	92
	SD	29,64	38,18	24,07	28,06
	CV, %	35	34	30	30
	НІР ₀₅	5,04	6,72	4,86	5,52

У Поліссі (Житомирська обл.) показники були найнижчими — 78 зерен (ранньостиглі) та 81 зерно (середньостиглі), що пов'язано з меншою тривалістю вегетаційного періоду, вищою вологістю ґрунтів і зниженим сумарним тепловим ресурсом.

Цікаво, що попри загальне очікування вищої продуктивності середньостиглих сортів, середнє значення кількості зерен у ранньостиглих сортів (93 зерна) було вищим, ніж у середньостиглих (92 зерна). Це пояснюється тим, що серед ранньостиглих були кілька високопродуктивних сортів (Ері, Калгарі, Таверна), які суттєво підняли середню вибірку.

Середньостиглі ж виявились менш однорідними: високі значення у 2–3 сортів не змогли компенсувати низькі показники більшості інших. Коефіцієнти варіації в обох групах перевищували 30 %, що свідчить про високу мінливість і потребу в селекційному доборі стабільніших форм. Отримані дані свідчать про необхідність поєднання ранньої стиглості з високим потенціалом насіннеутворення для створення високопродуктивних сортів сої нового покоління.

Наведені графічні моделі залежності кількості зерен з однієї рослини від кількості бобів, подані у вигляді регресійних залежностей (рис. 3.6), дозволяють оцінити тісноту зв'язку між формуванням генеративних органів (бобів) та реалізацією репродуктивного потенціалу у вигляді кількості насіння. Такий підхід є надзвичайно цінним у агрофізіологічній та технологічній оцінці сортів, оскільки вказує не лише на морфологічну будову рослин, а й на ефективність репродуктивного апарату. У графічній моделі, побудованій для ранньостиглих сортів, спостерігається лінійна залежність із високим коефіцієнтом кореляції, що свідчить про досить сильну кореляцію між кількістю бобів і кількістю зерен (ймовірно, $r = 0,811$). Це означає, що переважна більшість варіацій у кількості насіння з рослини обумовлена кількістю бобів, тобто збереженням сталого середнього числа зерен у бобі. Подібна структура свідчить про високу внутрішню генетичну стабільність цієї групи за репродуктивними ознаками, а також про меншу варіативність у

наповненості бобів. Ця ознака є позитивною з погляду на вирівняність врожаю, особливо в умовах короткого вегетаційного періоду.

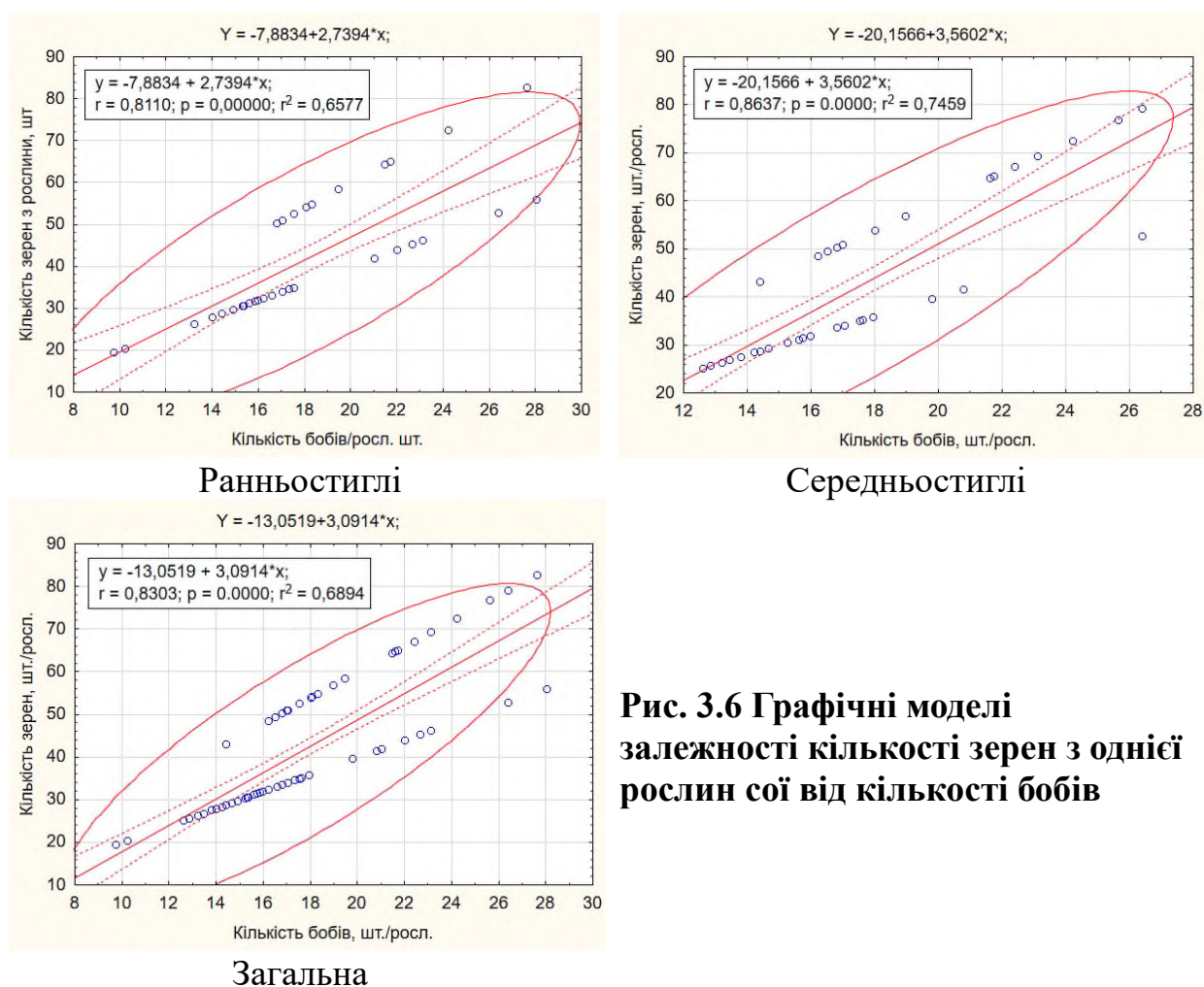


Рис. 3.6 Графічні моделі залежності кількості зерен з однієї рослини сої від кількості бобів

Натомість для середньостиглих сортів залежність виглядає нелінійною або поліноміальною, з помітною ширшою варіацією навколо регресійної кривої. Зв'язок між кількістю бобів та кількістю зерен був сильним $r = 0,8637$. Ширша варіація навколо регресійної кривої пояснюється, ймовірно, через більшу чутливість до середовищних факторів, таких як волога, температура або тривалість фотоперіоду. Таким чином, у середньостиглих сортів значну частину варіації кількості зерен пояснює не лише кількість бобів, а й структура бобів (число зерен у бобі), ймовірно, варіації у ступені зав'язування, або осипання зав'язей.

Графічні моделі дають змогу зробити висновки щодо реакції рослин на зональні умови: У Степовій зоні зв'язок між кількістю бобів і зерен є технічно сильним, однак фіксується менша середня кількість зерен на біб, що пояснюється впливом водного стресу на етапі наливу насіння. У середньостиглих сортів у Степу крива вирівнюється раніше, засвідчуючи про обмеження за максимумом реалізації потенціалу.

У Лісостепу, навпаки, фіксується найвищий рівень кореляції, з прямолінійним наростанням кількості зерен із збільшенням кількості бобів. Це свідчить про максимальну реалізацію біологічного потенціалу, особливо в ранньостиглих форм, для яких ця зона є оптимальною.

У Поліссі залежність є вираженою, але плато насичення настає раніше, що свідчить про певну біологічну межу у формуванні насіння за надлишкової вологості та дефіциту тепла. У середньостиглих сортів це плато може бути результатом конкуренції за ресурси серед органів плодоношення.

Статистичний аналіз сприяв формуванню наступних висновків: у ранньостиглих сортів кількість зерен з рослини прямо пропорційно залежить від кількості бобів, з високим рівнем кореляції та незначною дисперсією – це свідчить про стабільну реалізацію генеративного потенціалу.

Середньостиглі сорти демонструють ширшу варіацію у зв'язку між кількістю бобів і зерен, що свідчить про вплив додаткових факторів (щільність насінини в бобі, умови мікроклімату, тривалість наливу тощо). Найбільш передбачуваними й ефективними для планування врожаю є ранньостиглі сорти у зоні Лісостепу, де реалізація репродуктивного потенціалу є найбільш повною. У середньостиглих сортів зона вирощування справляє істотніший вплив на параметри віддачі: у Степу обмеження з боку вологи знижують ефективність конверсії квіток у насіння, а в Поліссі – дефіцит тепла лімітує завершення процесів плодоутворення.

Отримані моделі можуть бути використані для селекційного добору за типом плодоношення, оцінки пластичності сортів до зовнішнього середовища та оптимізації агротехнологій.

Основним показником індивідуальної продуктивності сої є маса зерна з однієї рослини, що в подальшому впливає на врожайність, тому цей показник детально аналізували. *Аналіз ранньостиглих сортів у розрізі сортів та відносно стандарту.* У групі ранньостиглих сортів спостерігається значна варіабельність показника маси насіння з однієї рослини, яка коливається від 5,25 до 10,40 г залежно від сорту й зони вирощування. Сорт-стандарт Рапсодія у середньому формувала 9,00 г у Лісостепу і Поліссі, що використовується як еталон у групі. Найвищу масу насіння, що перевищувала стандарт, сформували Калгарі (10,40 г), Ері (10,36 г), Адесса та Нунавік (по 9,90 г) у зоні Лісостепу, що є свідченням високого біологічного потенціалу та відмінної адаптації цих сортів до умов середньої кліматичної зони.

Також сорт Таверна, з масою 9,87–9,90 г, значно перевершив стандарт у всіх регіонах, зокрема в Степу (8,48 г), що на 44 % більше за Рапсодію в цій же зоні. Разом з тим, сорти Адельфія, Адесса, ЕС ДЕКОР, РЖТ САКУЗА, Перепілочка та Фортеця мали нижчі за стандарт показники в усіх зонах. Так, Перепілочка у Степу мала 5,74 г, що на 0,13 г менше від стандарту, а в Поліссі – 7,00 г, що на 3 г менше. Середнє значення в групі ранньостиглих у Лісостепу становило 9,28 г, з коефіцієнтом варіації 12 %, що свідчить про відносну однорідність результатів та стабільність прояву продуктивності.

Аналіз середньостиглих сортів. У середньостиглій групі сорт-стандарт Титан мав високу масу насіння з рослини – 10,22 г у Лісостепу та 8,99 г у Поліссі, що задає високий орієнтир. Втім, не всі сорти змогли досягти або перевищити ці показники. Показово, що Алісія (9,62–9,19 г), ЕС ВІЗИТОР (9,86–9,66 г), ЕС КОЛЕКТОР (9,76–9,32 г) та Кармеліта (9,79–7,69 г) перевищували або дорівнювали стандарту, особливо в умовах Лісостепу, де фототермічний режим найсприятливіший. Натомість сорти Інгуз, Туріас, Віталіна, Дара, Зевс, Акардія показали нижчу масу насіння – 5,00–8,13 г, що свідчить про стримані можливості нарощування біомаси в одиничному екземплярі рослини, попри загальну кількість зерен (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Маса насіння з рослин сортів сої різних груп стиглості, г (ВВСН 99)

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	5,87	9,14	10,00
	Паллада	5,94	9,50	8,42
	Перепілочка	5,74	6,27	7,00
	Таверна	8,48	9,87	9,90
	Фортеця	6,53	7,56	6,11
	Адельфія	5,48	9,74	7,52
	Адесса	5,25	9,90	7,39
	ЕС ДЕКОР	5,51	9,14	7,76
	РЖТ САКУЗА	5,64	9,60	7,76
	Ері	7,92	10,36	9,90
	Калгарі	7,26	10,40	9,50
	Нуनावік	5,28	9,90	8,09
	\bar{X}	6,24	9,28	8,28
	SD	1,03	1,15	1,23
	CV, %	17%	12%	15%
	НІР ₀₅	0,37	0,55	0,49
Середньостиглі	Титан st	6,09	10,22	8,99
	Інгуз	5,06	7,66	6,66
	Турізас	5,23	7,99	7,06
	Акардія	5,00	10,06	8,82
	Алісія	6,16	9,62	9,19
	Дара	5,29	8,13	6,99
	Терсія	5,73	9,52	8,46
	Нептун	5,29	8,03	7,33
	ЕС ВІЗИТОР	6,56	9,86	9,66
	ЕС КОЛЕКТОР	6,16	9,76	9,32
	ЕС КОМПОЗИТОР	5,66	9,46	7,33
	Віталіна	5,00	7,53	6,66
	Зевс	5,19	8,19	6,99
	Кармеліта	5,79	9,79	7,69
	\bar{X}	5,59	8,99	7,94
	SD	0,49	0,96	1,04
	CV, %	9%	11%	13%
	НІР ₀₅	0,33	0,53	0,48

Середньоарифметична маса насіння в середньостиглій групі у Лісостепу становила 8,99 г, практично на рівні ранньостиглої групи, що є несподіваним, враховуючи їх довший вегетаційний період. Це пояснюється сильнішим вирівнюванням значень у середньостиглих сортів, серед яких небагато лідируючих сортів із надвисокою продуктивністю.

Аналіз агрокліматичних зон. Найвища маса насіння з однієї рослини фіксувалась у Лісостепу – 9,28 г (ранньостиглі) та 8,99 г (середньостиглі). Це підтверджує найсприятливіші умови формування асиміляційної поверхні, наливу зерна й завершення онтогенезу в умовах збалансованого зволоження і тепла.

У Поліссі показники були дещо нижчими: 8,28 г (ранньостиглі) та 7,94 г (середньостиглі), ймовірно через знижену середньодобову температуру, обмежену суму активних температур та надмірну вологість.

Степова зона, незважаючи на більшу кількість тепла, виявилася найменш продуктивною за цим показником: 6,24 г (ранньостиглі) та 5,59 г (середньостиглі). Це зумовлено дефіцитом вологи в критичні фази наливу насіння.

Порівняння груп стиглості. Хоча середньостиглі сорти теоретично повинні перевершувати ранньостиглі за масою насіння через триваліший вегетаційний період, у реальних умовах їх середній показник по всіх зонах (7,51 г) лише незначно поступався ранньостиглим (середнє 7,93 г). Причина полягає у значній варіації всередині середньостиглої групи, де поряд із високопродуктивними формами наявні низьковрожайні генотипи. Коефіцієнт варіації у середньостиглій групі у Степу становив 9 %, що є свідченням високої однорідності та стабільності прояву біомаси, тоді як у ранньостиглих він сягав 17 %, вказуючи на різкий контраст між сортами.

Установлено, що рівень продуктивності не завжди корелював із тривалістю вегетації – середньостиглі сорти виявилися менш однорідними, а

ранньостиглі — більш чутливими до умов середовища. Результати можуть бути використані як основа для подальшого сортового добору з урахуванням специфіки зони вирощування, особливо в контексті змін кліматичних умов.

У середньому за роки відзначено сорти ранньостиглої групи, що істотно переважали стандарт – Таверна – 9,42 г (+1,08 г/роsl. або 13 %), Ері – 9,39 г (+1,06 г або 13 %) та Калгарі – 9,05 г (+0,72 г або 9 %). Сорти Паллада, РЖТ САКУЗА та Нунавік характеризувалися неістотно меншою масою насіння з рослини відносно стандарту, а всі інші – істотно меншою (-7–24 %), (рис. 3.7).

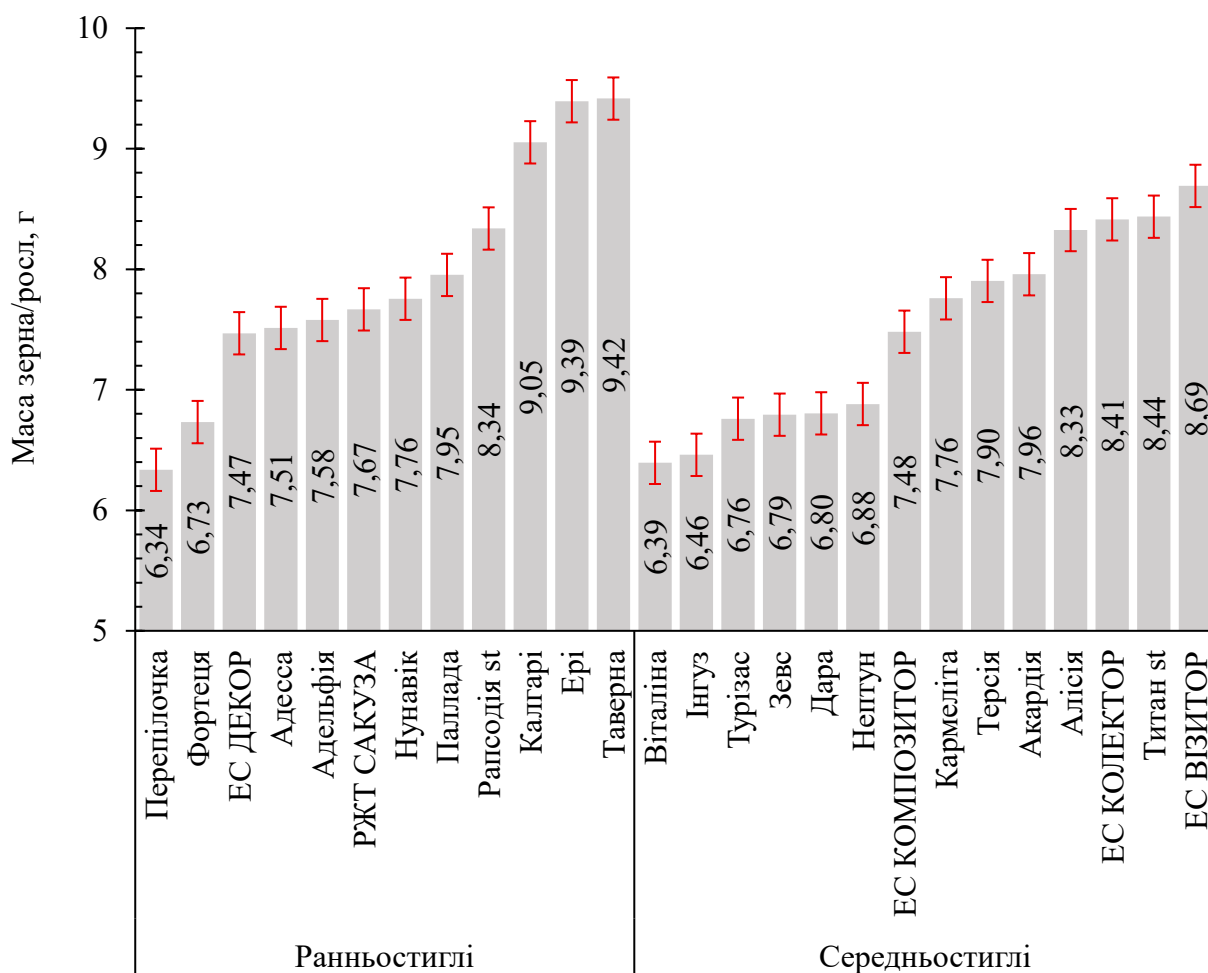


Рис. 3.7 Динаміка маси зерна з однієї рослини у сортів сої різних груп стиглості, 2023–2025, г/роsl.

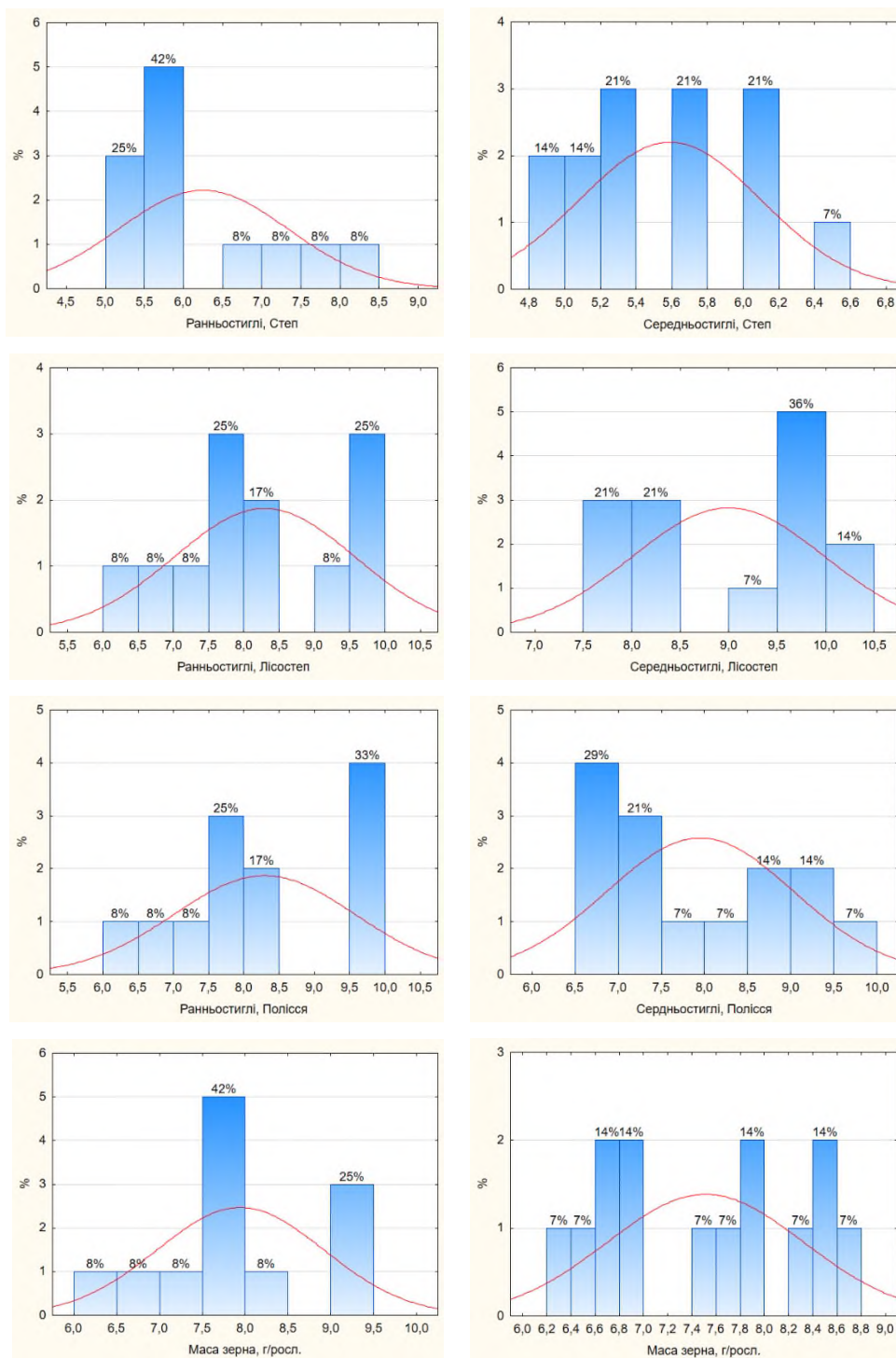
Серед сортів середньостиглої групи виявлено лише один сорт зарубіжної селекції, що характеризувався неістотно вищою масою зерна з рослини – ЕС ВІЗИТОР – 8,7 г (+0,26 г або 3 %). Всі інші досліджувані сорти мали нижчу продуктивність на 1–24 %. Варіювання даного показника було середнім (12 %) у ранньостиглої групи та слабким (10 %) у середньостиглої групи сортів

Серед сортів середньостиглої групи виявлено лише один сорт зарубіжної селекції, що характеризувався неістотно вищою масою зерна з рослини – ЕС ВІЗИТОР – 8,7 г (+0,26 г або 3 %). Всі інші досліджувані сорти мали нижчу продуктивність на 1–24 %. Варіювання даного показника було середнім (12 %) у ранньостиглої групи та слабким (10 %) у середньостиглої групи сортів.

Аналіз ранжування сортів за масою зерна з однієї рослини в розрізі кліматичних зон показав істотне варіювання ранньостиглої групи. Так, у Степу 67 % сортів формували 5,0–6,0 г/роsl., інші – від 6,5 до 8,5 г. У Лісостепу – 25 % сортів формували 7,5–8,0 г зерна/роsl., 25 % – 9,5–10,0 г; 17 % – 8,0–8,5 г. У Поліссі – 33 % – 9,5–10,0 г; 25 % – 7,5–8,0 г, 17 % – 8,1–8,5 г, інші – по 8 %.

Сорти середньостиглої групи у Степу розподілялися рівномірніше – по 28 % сортів формували 4,8–5,2 г зерна; три групи по 21 % формували 5,3–5,4 г, 5,6–5,8 г, 6,0–6,2 г. У Лісостепу – 42 % сортів формували 7,5–8,5 г зерна, 36 % – 9,5–10,0 г. У Поліссі 50 % сортів формували від 6,5 до 7,5 г зерна та 28 % – 8,5–9,5 г.

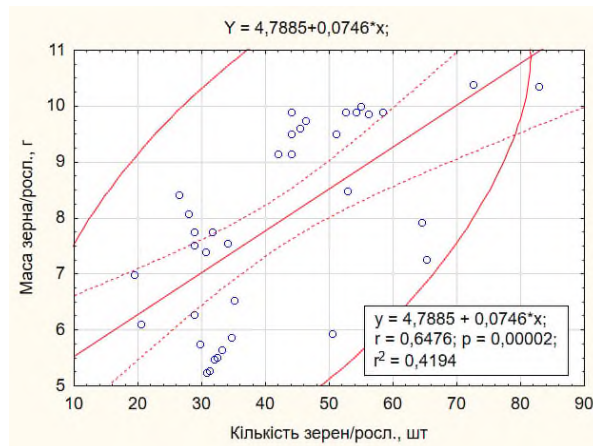
В середньому за групами стиглості розподіл був наступним: 42 % ранньостиглих сортів формували 7,5–8,0 г зерна, 25% – 9,0–9,5 г, інші – по 8 % формували від 6,0 до 8,5 г/роsl. Середньостиглі сорти істотно відрізнялися. Було чотири групи по 14 % з масою зерна з рослини 6,6–7,0; 7,8–8,0; 8,4–8,6 г/роsl та шість груп по 7 % з масою зерна 6,2–6,5; 7,4–7,7; 8,2–8,3; 8,7–8,8 г/роsl., (рис. 3.9).



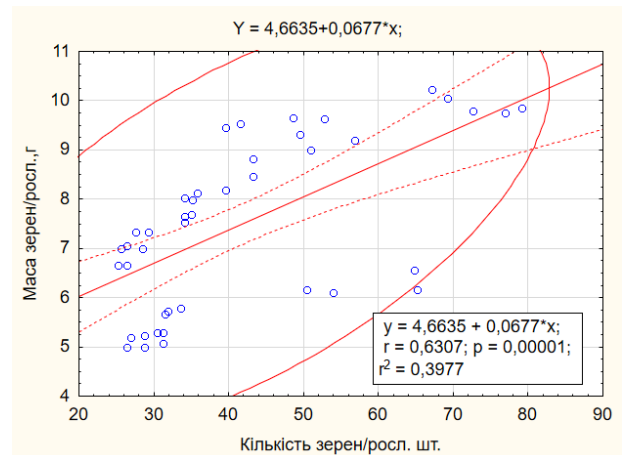
Середнє за ранньостиглою групою Середнє за середньостиглою групою
Маса зерна/роsl. у ранньостиглих Маса зерна/роsl. у середньостиглих
сортів сортів

Рис. 3.9 Розподіл сортів сої за масою зерна з однієї рослини у різних кліматичних зонах, 2023–2025, г/роsl.

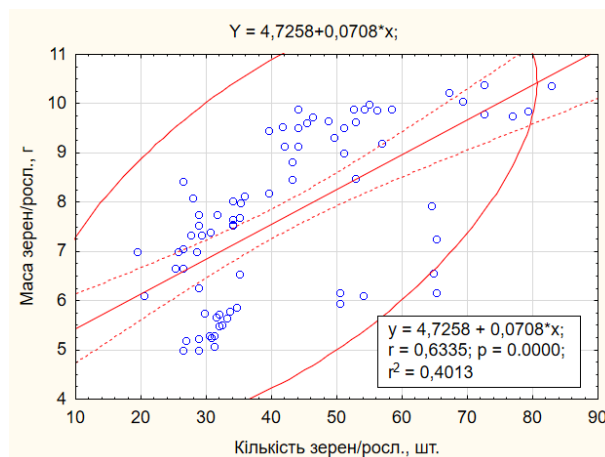
Графічні моделі, подані на рис. 3.10, репрезентують взаємозв'язки між трьома ключовими морфо-продуктивними ознаками: кількістю бобів, кількістю зерен з рослини та масою зерна з рослини, які є базовими для оцінки індивідуальної продуктивності сортів сої. Статистичний аналіз таких моделей дає можливість виявити детермінанти продуктивності, оцінити селекційну цінність генотипів і адаптивну реакцію на умови вирощування.



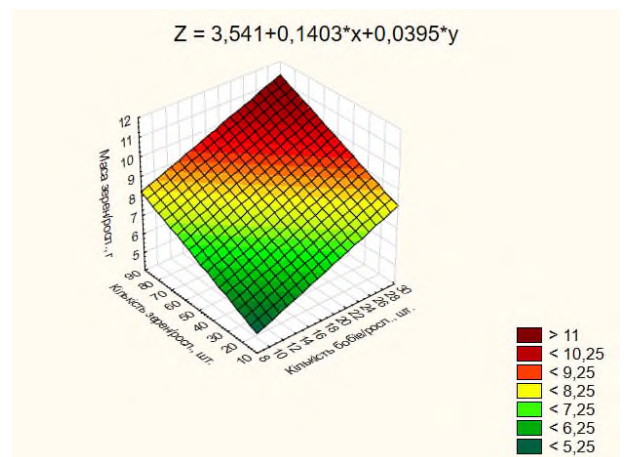
Ранньостиглі



Середньостиглі



Загальна



між кількістю бобів, зерен з однієї рослини сої та масою зерна/росл.

Рис. 3.10 Графічні моделі залежності між показниками індивідуальної продуктивності рослин сортів сої різних груп стиглості

У графічній моделі для ранньостиглих сортів простежується сильна залежність між кількістю бобів та масою зерна з рослини, з високим ступенем

кореляції. Водночас включення кількості зерен у систему координат дозволяє встановити, що основний внесок у масу насіння забезпечує не стільки збільшення кількості насінин у бобі, скільки кількість бобів, тобто інтенсивність генеративного галуження. Ця структура кореляції свідчить про синхронізованість процесів цвітіння, запилення і наливу, що властиво більшості ранньостиглих генотипів з укороченим онтогенезом. Таким чином, масу зерна визначає кількість бобів, а не інші структурні характеристики.

На відміну від ранньостиглих, у середньостиглих сортів модель характеризується розширенням варіаційного поля. Залежність між кількістю бобів і масою зерна залишається, однак менш лінійна, що свідчить про вплив додаткових факторів – маси 1000 насінин, наповненості бобів, інтенсивності фотосинтезу на пізніх фазах, тощо.

Виділяються випадки, коли при однаковій кількості бобів спостерігається різна маса зерна, що підтверджує неоднорідність реалізації продуктивності. Це властиво більш пізньостиглим генотипам, де тривалість вегетації не завжди конвертується в масу насіння через зовнішні стрес-фактори на пізніх фазах (недостатність вологи, тепла, зменшення фотоперіоду тощо).

Побудовані графічні моделі залежності між кількістю зерна та масою зерна з однієї рослини сортів сої різних груп стиглості свідчать про наявність тісного, проте неоднакового за силою та характером кореляційного зв'язку, зумовленого ґрунтово-кліматичними умовами окремих природно-кліматичних зон України. У всіх досліджуваних зонах встановлено позитивну кореляцію між досліджуваними показниками, що підтверджує визначальну роль кількісних елементів структури врожаю у формуванні індивідуальної продуктивності рослин сої, однак ступінь реалізації цього зв'язку істотно варіює.

В умовах Степової зони залежність між кількістю та масою зерна з однієї рослини характеризувалася помірною силою кореляційного зв'язку ($r = 0,7653$), що свідчить про обмежену трансформацію сформованої кількості зерен у відповідну масу.

У Лісостеповій зоні встановлено вищу тісноту кореляційної залежності між кількістю та масою зерна з однієї рослини ($r = 0,7731$), що вказує на оптимальні умови реалізації генетичного потенціалу сортів сої різних груп стиглості. Графічні моделі демонструють чітко виражений функціональний зв'язок, за якого збільшення кількості зерен супроводжувалося пропорційним і статистично значущим зростанням маси зерна (рис. 3.11).

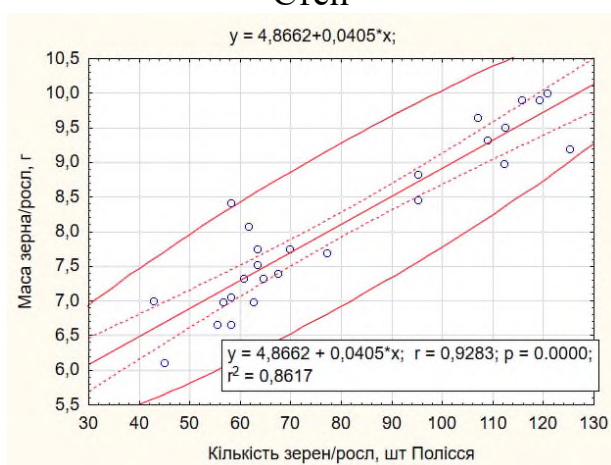
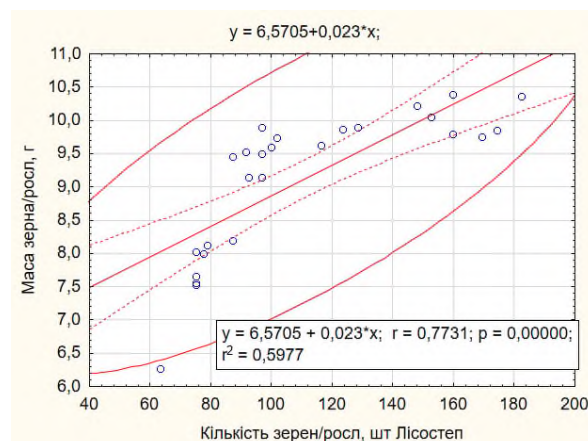
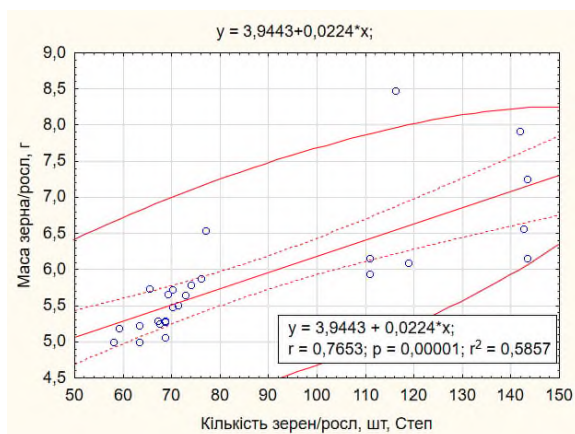


Рис. 3.11 Графічні моделі залежності між кількістю та масою зерна з однієї рослини сортів сої різних груп стиглості залежно від кліматичної зони

В умовах Полісся кореляційний зв'язок між досліджуваними показниками був дуже високим ($r = 0,9283$) і відзначався більшою дисперсією емпіричних значень. Незважаючи на формування відносно високої кількості зерен, їх маса з однієї рослини зростала менш інтенсивно, що зумовлено дефіцитом теплових ресурсів у період наливу зерна та подовженням міжфазних періодів.

На основі аналізу графічних моделей і кореляційних коефіцієнтів можна прогнозувати, що за умов подальшого потепління клімату в Лісостеповій зоні збережеться високий рівень реалізації зв'язку між кількістю та масою зерна, тоді як у Поліссі очікується поступове підвищення ефективності середньостиглих сортів за умови оптимізації агротехнічних заходів. У Степовій зоні без удосконалення системи зрошення або вологозбереження ймовірно подальше послаблення кореляційного зв'язку, особливо у сортів із тривалішим періодом вегетації.

Графічні моделі залежності між кількістю та масою зерна з однієї рослини сортів сої різних груп стиглості переконливо доводять, що ступінь тісноти кореляційного зв'язку між елементами структури врожаю визначається комплексною дією кліматичних чинників та біологічними особливостями сорту. Найбільш сприятливі умови для реалізації потенціалу продуктивності сої формуються в Лісостеповій зоні, де встановлено високі значення коефіцієнтів кореляції, тоді як у Степу та Поліссі продуктивність обмежується відповідно водним і тепловим факторами. Отримані результати є науковим підґрунтям для диференційованого добору сортів сої за групами стиглості з урахуванням кліматичної зони з метою стабілізації врожайності та підвищення ефективності виробництва культури.

Висновки до розділу 3

1. Дослідження показали, що тривалість періоду вегетації сої залежить від групи стиглості та кліматичної зони. Ранньостиглі сорти вегетували близько 112 діб, середньостиглі — 125. У Степу й Лісостепу період вегетації був коротшим за стандарт на 8–22 доби через вищі температури та дефіцит вологи. У Поліссі, навпаки, більшість сортів перевищувала стандарт на 5–11 діб завдяки достатній зволоженості й помірному тепловому режиму. Найдовший період мала Рапсодія, найкоротший — Адесса. Загалом тривалість

вегетації збільшується у напрямку від Степу до Полісся, що відображає зональні кліматичні відмінності.

2. У результаті проведених досліджень встановлено, що морфологічні показники сортів сої суттєво варіюють залежно від кліматичної зони та групи стиглості. Найвищі рослини незалежно від групи стиглості формувалися в умовах Полісся (88–106 см), де поєднання достатньої вологи й помірного тепла забезпечувало оптимальний розвиток. У Степу та Лісостепу більшість сортів мала нижчу висоту через дефіцит вологи та тепловий стрес. За кількістю вузлів ранньостиглі сорти формували 11–14, середньостиглі — 14–20 вузлів, що свідчить про морфогенетичну перевагу сортів із тривалішим вегетаційним періодом. Оптимальну висоту прикріплення нижнього боба (12–15 см) мали сорти Паллада, Нептун, Віталіна й Зевс, що підвищує технологічність збирання. Кількість бобів варіювала в межах 29–53 шт., а зерен — від 57 до 147 шт. на рослину; найвищу продуктивність показали сорти Таверна, Ері, Калгарі, ЕС Візитор і ЕС Колектор. Розвиток листової поверхні зростав у напрямку Степ → Лісостеп → Полісся, досягаючи максимуму у середньостиглих сортів. Загалом морфологічні показники підтверджують адаптивну здатність сої до різних екологічних умов і можуть бути використані як критерії селекції та оцінки сортової придатності до зон України.

3. У результаті проведених досліджень встановлено, що продуктивність сортів сої різних груп стиглості зумовлена поєднанням генетичних особливостей та зональних кліматичних умов. Ранньостиглі сорти відзначалися значною варіабельністю кількості зерен (57–147 шт./росл.) і маси насіння (5,25–10,40 г/росл.), що свідчить про широкий спектр адаптивності та потенціалу для селекційного добору. Найвищі показники продуктивності виявили сорти Таверна, Ері та Калгарі, які перевищували стандарт Рапсодія на 26–53 %, що зумовлено генетичною стабільністю та високою ефективністю конверсії бобів у насіння. У середньостиглих сортів спостерігалася подібна тенденція, однак із вищою варіабельністю (63–143 зерен/росл.), що вказує на вплив зовнішніх факторів на реалізацію потенціалу. Сорти ЕС Візитор і ЕС

Колектор демонстрували найвищу стабільність і перевищували стандарт на 11–12 %.

4. Отже, встановлена за результатами графічного та кореляційного аналізу залежність між кількістю та масою зерна з однієї рослини сортів сої різних груп стиглості свідчить, що формування індивідуальної продуктивності культури має системний характер і визначається не ізольованим впливом окремих елементів структури врожаю, а їх узгодженою взаємодією з кліматичними умовами вирощування. Високі значення коефіцієнтів кореляції, зафіксовані в Лісостеповій зоні, підтверджують оптимальність поєднання теплового та водного режимів для повноцінної реалізації генетичного потенціалу сортів, що забезпечує ефективну трансформацію кількісних показників у масу зерна. Натомість у Степу водний дефіцит, а в умовах Полісся – обмежена теплозабезпеченість у період наливу зерна істотно знижують тісноту кореляційного зв'язку, що обмежує рівень реалізації продуктивності, особливо у середньо- та пізньостиглих сортів. Таким чином, отримані результати науково обґрунтовують доцільність зонально орієнтованого добору сортів сої за групами стиглості та адаптивними властивостями, що є ключовою передумовою підвищення стабільності врожайності та ефективності виробництва культури в умовах просторової мінливості клімату.

РОЗДІЛ 4

УРОЖАЙНІСТЬ, АДАПТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА СОРТІВ СОЇ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ

4.1. Урожайність та параметри адаптивної здатності сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України.

Аналіз багаторічних експериментальних даних (2023–2025 рр.) щодо урожайності ранньостиглих сортів сої в різних кліматичних зонах України свідчить про чітку залежність рівня продуктивності від поєднання генетичного потенціалу сорту та екологічних умов вирощування. Середньорічні показники урожайності, коефіцієнти варіації та співвідношення генетичної й екологічної мінливості підтверджують високу чутливість сої до зміни абіотичних факторів середовища.

Середнє значення урожайності ранньостиглих сортів у Степу становило 1,60 т/га, що на 33 % нижче, ніж у Лісостепу (2,40 т/га), і майже на 29 % нижче, ніж у Поліссі (2,25 т/га). Таким чином, найсприятливішою для формування високої врожайності ранньостиглих сортів виявилась зона Лісостепу, де оптимальні гідротермічні умови. Водночас у Степовій зоні урожайність лімітується дефіцитом вологи, підвищеною температурою ґрунту та повітря, а також більш вираженими стресовими періодами під час формування бобів і наливу насіння у Поліссі навпаки – помірним температурним режимом.

Рівень загальної (фенотипової) мінливості (CVP) становив у середньому 29 % у Степу, 30 % у Лісостепу та 24 % у Поліссі, що свідчить про більшу стабільність урожайності у північних регіонах. Коефіцієнти генетичної варіації (CVG) та екологічної варіації (CVE) засвідчують, що в усіх кліматичних зонах екологічна мінливість переважає генетичну, що підкреслює високу залежність культури від погодних умов (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Урожайність ранньостиглих сортів сої культурної
у різних кліматичних зонах України**

Сорт	Степ				Лісостеп				Полісся			
	2023	2024	2025	\bar{X}	2023	2024	2025	\bar{X}	2023	2024	2025	\bar{X}
Рапсодія st	1,78	1,38	1,43	1,53	2,77	1,98	2,36	2,37	3,03	3,20	2,15	2,79
Паллада	1,80	1,40	1,30	1,50	2,88	2,00	2,34	2,41	2,55	2,20	1,71	2,15
Перепілочка	1,74	1,24	0,96	1,31	1,90	1,31	1,66	1,62	2,12	1,62	1,23	1,66
Таверна	2,57	2,20	1,96	2,24	2,99	2,55	2,80	2,78	3,00	3,01	2,23	2,75
Фортеця	1,98	1,46	1,50	1,65	2,29	1,55	1,91	1,92	1,85	1,70	1,40	1,65
Адельфія	1,66	1,33	1,32	1,44	2,95	2,10	2,40	2,48	2,28	2,40	1,52	2,07
Адесса	1,59	1,28	1,30	1,39	3,00	2,00	2,36	2,45	2,24	2,55	1,80	2,20
ЕС ДЕКОР	1,67	1,35	1,26	1,43	2,77	2,00	2,30	2,36	2,35	2,64	1,78	2,26
РЖТ САКУЗА	1,71	1,38	1,35	1,48	2,91	2,06	2,55	2,51	2,35	2,40	1,45	2,07
Ері	2,40	1,79	1,65	1,95	3,14	2,51	2,81	2,82	3,00	2,92	1,96	2,63
Калгарі	2,20	1,81	1,75	1,92	3,15	2,20	2,74	2,70	2,88	2,84	1,85	2,52
Нунавік	1,60	1,30	1,22	1,37	3,00	1,77	2,28	2,35	2,45	2,33	2,18	2,32
HIP ₀₅	0,15	0,13	0,09		0,19	0,16	0,14		0,2	0,17	0,10	
\bar{X}	1,89	1,49	1,42	1,60	2,81	2,00	2,38	2,40	2,51	2,48	1,77	2,25
SD	0,31	0,28	0,26	0,27			0,33	0,33	0,37	0,47	0,31	0,36
CV, %	17	19	18	17			14	14	15	19	18	16
CVG, %				18				20				15
CVE, %				22				22				19
CVP, %				29				30				24
CVG/CVE				0,82				0,89				0,78

Найсприятливішим співвідношенням цих показників ($CVG/CVE = 0,89$) відзначається Лісостеп, де забезпеченість теплом і вологою є найбільш збалансованою, що сприяє більш повній реалізації біологічного потенціалу сортів. У Поліссі цей показник становив 0,78, а в Степу – 0,82, що підтверджує більшу екологічну зумовленість урожайності у крайніх кліматичних умовах.

Річні коливання урожайності в усіх зонах виявили закономірну залежність від погодних умов: 2023 рік характеризувався відносно помірними температурами та достатньою кількістю опадів, що зумовило вищі показники врожайності (наприклад, у Лісостепу – 2,81 т/га); 2024 рік відзначався підвищеними температурами і короткочасними посухами у період цвітіння, що спричинило зниження врожайності на 15–20 %; 2025 рік, незважаючи на дефіцит вологи в середині вегетації, характеризувався досить сприятливими умовами у фазі наливу насіння, що частково компенсувало втрати продуктивності, особливо у північних регіонах.

Загалом спостерігалася тенденція до стабілізації врожайності у Лісостепу та Поліссі, тоді як у Степу коливання були найбільш різкими ($CV = 17–19\%$), що свідчить про підвищену кліматичну нестабільність регіону.

Незалежно від кліматичної зони, високоврожайними сортами були сорти Таверна (2,20–3,01 т/га), Ері (1,79–3,14 т/га) та Калгарі (1,81–3,15 т/га). Дані сорти відзначалися стабільною продуктивністю протягом трьох років дослідження, що свідчить про їх високу екологічну пластичність.

Водночас у межах групи ранньостиглих сортів виявлено суттєві відмінності за здатністю адаптуватися до різних зональних умов. Так, сорти Адельфія, Нунавік і РЖТ Сакуза проявили кращу продуктивність у Поліссі (2,30–2,40 т/га), тоді як Таверна і Калгарі продемонстрували більш збалансовані результати в усіх кліматичних зонах, що робить їх універсальними сортами широкої адаптації.

Високі показники урожайності у Поліссі пояснюються оптимальним водно-тепловим балансом, який забезпечує тривалу фотосинтетичну активність, рівномірне заповнення бобів та ефективне формування білково-

жирового комплексу у насінні. Навпаки, у Степовій зоні обмежувальним чинником є водний дефіцит у критичні фази (ВВСН 65–75), що призводить до редукції генеративних органів та зниження кількості насіння у бобах. Перевага Лісостепу як перехідної зони полягає у збалансованому поєднанні вологи й температури, що сприяє стабільній реалізації потенціалу урожайності незалежно від року.

На основі отриманих тенденцій можна прогнозувати, що за умов подальшого потепління клімату оптимальними для вирощування ранньостиглих сортів сої залишатимуться Полісся та північний Лісостеп, де рівень вологості забезпечуватиме стабільне формування врожаю. У Степу очікується підвищення варіаційності врожайності, зумовлене зростанням частоти посух і температурного стресу, що вимагатиме застосування зрошення або добору більш жаростійких сортів.

Найвищу середню врожайність ранньостиглих сортів сої забезпечує зона Полісся (2,51 т/га), що на 4 % перевищує показники Лісостепу (2,40 т/га) та на 48 % – Степу (1,60 т/га).

Співвідношення $CVG/CVE < 1$ у всіх зонах свідчить про домінуючий вплив довколишніх факторів над генетичними при формуванні урожайності. Найкращий баланс між цими компонентами зафіксовано в Лісостепу (0,89).

Сорти Таверна, Ері та Калгарі проявили високу стабільність урожайності в усіх кліматичних умовах, що робить їх перспективними для широкого впровадження у виробництво.

Кліматичні зміни ймовірно посилюватимуть контрастність між зонами, що потребує зональної селекції сортів, адаптованих до підвищеної температури та нестачі вологи.

На основі узагальнених даних адаптивно-продуктивного потенціалу ранньостиглих сортів сої у різних кліматичних зонах України за 2023–2025 рр. встановлено, що рівень адаптивності, стабільності та пластичності сортів визначається складною взаємодією генотипу та умов довкілля. Параметри пластичності (b_i), стабільності (σ^2d), гомеостатичності (Hom), селекційної

цінності (Sc), компенсаторної здатності ($K3$) і коефіцієнта адаптивної активності (KAA) дозволяють кількісно оцінити потенціал генотипів щодо формування стабільної врожайності в різних едафокліматичних умовах (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Узагальнені параметри адаптивно-продуктивного потенціалу
ранньостиглих сортів сої культурної у різних кліматичних зонах України
(2023–2025)**

Сорт	\bar{X}	σ^2d	bi	Hom	Sc	KM	$IEП$	CC	$K3$	KAA
Рапсодія st	2,36	0,79	0,01	2,76	2,16	1,01	1,59	-1,82	2,29	1,07
Паллада	2,14	0,7	-0,04	2,28	1,96	0,96	1,45	-1,58	2,09	0,97
Перепілочка	1,66	0,59	-0,18	1,36	1,52	0,76	1,11	-1,16	1,54	0,75
Таверна	2,72	0,61	-0,6	3,68	2,49	0,51	1,9	-1,05	2,49	1,24
Фортеця	1,81	0,53	-0,45	1,62	1,66	0,45	1,28	-0,89	1,85	0,82
Адельфія	2,12	0,73	0,04	2,24	1,94	1,04	1,42	-1,63	2,14	0,96
Адесса	2,11	0,74	0,06	2,22	1,93	1,06	1,43	-1,72	2,14	0,96
ЕС ДЕКОР	2,13	0,71	-0,01	2,26	1,95	0,99	1,44	-1,51	2,02	0,97
РЖТ САКУЗА	2,14	0,73	0,04	2,27	1,96	1,04	1,44	-1,56	2,13	0,97
Ері	2,63	0,72	-0,22	3,43	2,41	0,82	1,78	-1,49	2,4	1,19
Калгарі	2,51	0,71	-0,21	3,14	2,30	0,82	1,72	-1,40	2,45	1,14
Нунавік	2,08	0,74	0,01	2,14	1,90	1,01	1,44	-1,78	2,11	0,94
\bar{X}	2,2									
SD	0,3									
CV, %	14									
CVG, %	25									
CVE, %	26									
CVP, %	36									
CVG/CVE	0,97									

За результатами досліджень, середній рівень стабільності ранньостиглих сортів сої становив $\sigma^2d = 2,20$, що вказує на помірну варіабельність реакції генотипів на зміну умов вирощування. При цьому співвідношення $CVG/CVE = 0,97$ свідчить про високу відповідність агрокліматичних умов Степу, Лісостепу та Полісся біологічним вимогам культури, тобто зовнішнє середовище забезпечувало майже повну реалізацію потенціалу продуктивності сортів.

Значення коефіцієнта пластичності (b_i) варіювали від 0,53 до 0,79, що характеризує досліджувані генотипи як низько- або середньопластичні, тобто вони не демонструють різких реакцій на зміну умов середовища, проте здатні підтримувати стабільну врожайність.

Відповідно до класифікації Еберхарта та Рассела, генотипи було розподілено на шість типів адаптивної поведінки:

1. $b_i < 1, \sigma^2d > 0$ – краще проявляють себе за несприятливих умов, але нестабільні (Перепілочка, Фортеця).
2. $b_i < 1, \sigma^2d = 0$ – стабільні в умовах стресу, але не реагують на покращення середовища (не виявлено).
3. $b_i = 1, \sigma^2d = 0$ – добре відгукуються на покращення умов, стабільні (умовно Рапсодія st).
4. $b_i = 1, \sigma^2d > 0$ – чутливі до покращення умов, але з підвищеною варіабельністю (Адельфія, Адесса, РЖТ Сакуза).
5. $b_i > 1, \sigma^2d = 0$ – мають високу врожайність за сприятливих умов і стабільні (Таверна, Ері, Калгарі).
6. $b_i > 1, \sigma^2d > 0$ – високопластичні, але схильні до коливань урожайності (Паллада).

Отже, сорти Таверна ($b_i = 0,61; \sigma^2d = 2,72$), Ері ($b_i = 0,72; \sigma^2d = 2,63$) і Калгарі ($b_i = 0,71; \sigma^2d = 2,51$) продемонстрували високу адаптивність та здатність ефективно реалізовувати свій генетичний потенціал у сприятливих агрокліматичних умовах, що робить їх перспективними для зон з інтенсивним землеробством (Лісостеп, Полісся). Натомість сорти Перепілочка ($b_i = 0,59; \sigma^2d = 1,66$) та Фортеця ($b_i = 0,53; \sigma^2d = 1,81$) відзначалися нижчими показниками пластичності, проте достатньою стабільністю, що дає їм перевагу в умовах екологічного стресу (дефіцит вологи, температурні коливання).

Значення гомеостатичності (H_{om}) варіювали від 1,36 (Перепілочка) до – 3,68 (Таверна), що свідчить про значну варіацію та різну здатність сортів підтримувати фізіолого-біохімічну рівновагу за змінних умов вирощування. Найвищими показниками селекційної цінності (Sc) відзначалися сорти

Таверна ($Sc = 2,49$), Ері ($Sc = 2,41$) і Калгарі ($Sc = 2,30$). Високою компенсаторною здатністю характеризувалися сорти Адельфія, Адесса, РЖТ САКУЗА та Нунавік – 1,01–1,06, що підтверджує їх генетичну стабільність і високу потенційну продуктивність. Коефіцієнт абсолютної адаптивності (КАА) у сортів Таверна, Ері та Калгарі перевищував одиницю (1,14–1,24), що свідчить про їх високу реакційну здатність на покращення умов середовища і, відповідно, придатність для інтенсивних технологій вирощування.

Очевидно, що висока адаптивна здатність зазначених сортів пов'язана з фізіолого-біохімічними механізмами компенсації стресових факторів – підвищеною активністю ферментів антиоксидантної системи, ефективним регулюванням водного режиму та збалансованим співвідношенням між ростовими процесами і формуванням генеративних органів. Такі генотипи здатні утримувати продуктивність фотосинтетичного апарату навіть за дефіциту вологи або підвищених температур, що пояснює їх стабільні показники врожайності у різних кліматичних умовах.

Враховуючи отримані параметри, можна прогнозувати, що в умовах подальшої аридизації клімату України найвищу екологічну стабільність збережуть сорти Таверна, Ері та Калгарі, які поєднують високу пластичність із стабільністю продуктивності. Для зон ризикованого землеробства (Степ) рекомендовано використовувати Перепілочку та Фортецю як стресостійкі генотипи з низькою реакцією на зміну умов середовища.

У перспективі селекційна робота має бути спрямована на створення високопластичних сортів нового покоління з оптимальним співвідношенням коефіцієнтів пластичності та стабільності, що забезпечуватиме стабільну врожайність у змінному кліматі.

В результаті статистичних обрахунків, виявлено сильний зворотній кореляційний зв'язок за шкалою Чеддока між врожайністю сої й температурою повітря впродовж вегетації рослин – $r = 0,7120$ і помітний зв'язок між врожайністю й сумою опадів – $r = 0,5077$. З урахуванням

показників статистичної надійності рівнянь, дану залежність представлено графічно на рисунку 4.1.

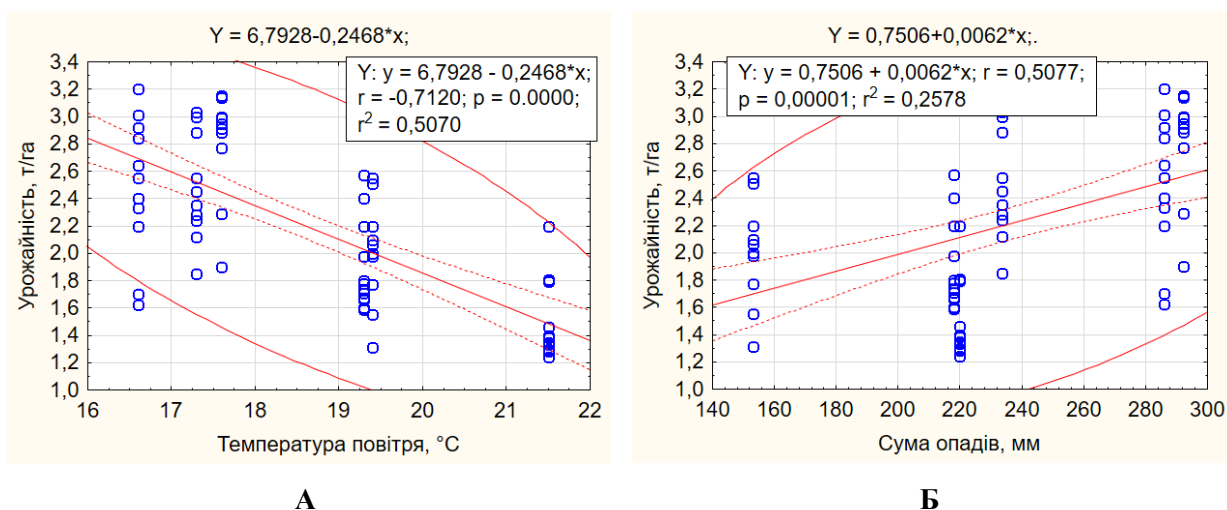


Рисунок 4.1 Статистичні залежності врожайності сортів сої від температури повітря, °C (А) та суми опадів, мм (Б)

Дослідження врожайності середньостиглих сортів сої культурної у різних кліматичних зонах України за 2023–2025 рр. засвідчило, що рівень продуктивності визначається не лише генетичними особливостями сортів, але й глибиною взаємодії «генотип × середовище». Аналіз динаміки урожайності показав суттєві міжрічні коливання, що зумовлено контрастними погодними умовами років, зокрема тривалістю періоду посухи, температурним фоном і забезпеченістю вологою у критичні фази розвитку рослин.

Умови зони Степу були найменш сприятливими для формування врожаю, про що свідчать середні показники врожайності 1,43 т/га, що є нижчими на 43–45 % порівняно з Лісостепом і Поліссям.

Найвищу врожайність середньостиглих сортів у цій зоні забезпечили ЕС ВІЗИТОР (1,68 т/га), ЕС КОЛЕКТОР (1,68 т/га) та Алісія (1,54 т/га), які істотно переважали стандарт – сорт Титан (1,43 т/га).

Інші сорти, зокрема Інгуз, Турізас, Дара і Віталіна, характеризувалися врожайністю 1,23–1,35 т/га, що на 0,10–0,20 т/га нижче стандарту (табл. 2).

Таблиця 4.3

**Урожайність середньостиглих сортів сої культурної
у різних кліматичних зонах України**

Сорт	Степ				Лісостеп				Полісся			
	2023	2024	2025	\bar{X}	2023	2024	2025	\bar{X}	2023	2024	2025	\bar{X}
Титан st	1,83	1,42	1,21	1,49	3,07	2,20	1,71	2,33	2,7	2,66	1,43	2,26
Інгуз	1,52	1,30	1,17	1,33	2,30	1,55	1,25	1,70	2,00	2,10	1,28	1,79
Туріас	1,57	1,20	1,18	1,32	2,40	1,60	1,29	1,76	2,12	2,20	1,21	1,84
Акардія	1,50	1,20	1,18	1,29	3,02	2,10	1,86	2,33	2,65	2,40	1,32	2,12
Алісія	1,85	1,40	1,38	1,54	2,89	2,40	2,00	2,43	2,76	3,16	1,54	2,49
Дара	1,59	1,27	1,18	1,35	2,44	1,63	1,22	1,76	2,10	2,14	1,17	1,80
Терсія	1,72	1,33	1,31	1,45	2,86	1,89	1,53	2,09	2,54	2,40	1,32	2,09
Нептун	1,59	1,30	1,28	1,39	2,41	1,55	1,25	1,74	2,20	2,44	1,34	1,99
ЕС ВІЗИТОР	1,97	1,80	1,28	1,68	2,96	2,40	1,62	2,33	2,9	2,70	1,48	2,36
ЕС КОЛЕКТОР	1,85	1,81	1,39	1,68	2,93	2,33	1,88	2,38	2,8	2,75	1,40	2,32
ЕС КОМПОЗИТОР	1,70	1,31	1,29	1,43	2,84	1,80	1,45	2,03	2,20	2,30	1,26	1,92
Віталіна	1,50	1,10	1,09	1,23	2,26	1,55	1,25	1,69	2,00	2,20	1,21	1,80
Зевс	1,56	1,12	1,10	1,26	2,46	1,80	1,45	1,90	2,10	2,37	1,30	1,92
Кармеліта	1,74	1,40	1,36	1,50	2,94	2,20	2,20	2,45	2,31	2,92	1,63	2,29
НІР ₀₅	0,12	0,08	0,07		0,22	0,15	0,09		0,16	0,22	0,08	
\bar{X}	1,68	1,37	1,24	1,43	2,70	1,92	1,53	2,05	2,41	2,45	1,33	2,07
SD	0,15	0,21	0,09	0,14	0,29	0,32	0,27	0,29	0,31	0,3	0,11	0,23
CV, %	9	15	7	10	11	17	18	14	13	12	8	11
CVG, %				15				22				13
CVE, %				17				25				15
CVP, %				23				33				20
CVG/CVE				0,91				0,91				0,83

У роки з підвищеною температурою та дефіцитом опадів (особливо у 2024–2025 рр.) спостерігалось зниження урожайності всіх сортів у середньому на 12–18 %, що пояснюється інтенсивним перегрівом ґрунту та зниженням активності азотфіксувальних бактерій.

Значення коефіцієнта варіації ($CV = 10\text{--}15\%$) підтверджує нестабільність урожайності у степових умовах, тоді як співвідношення $CVG/CVE = 0,91$ свідчить про відносно збалансований вплив генетичних і екологічних чинників, проте із перевагою останніх.

Умови Лісостепу виявилися найсприятливішими для прояву генетичного потенціалу середньостиглих сортів. Середня врожайність становила 2,05 т/га, що перевищувало показники Степу на 43 %. Найвищі результати забезпечили сорти Алісія (2,43 т/га), ЕС ВІЗИТОР (2,33 т/га) та ЕС КОЛЕКТОР (2,38 т/га), які перевищували стандарт Титан (2,26 т/га) на 0,07–0,12 т/га. Дещо нижчі результати отримано для сортів Кармеліта (2,29 т/га), Акардія (2,12 т/га) і Терсія (2,09 т/га), тоді як Віталіна та Дара сформували мінімальні значення – 1,63–1,80 т/га.

Погодні умови 2023 р. були оптимальними, що сприяло максимальній реалізації потенціалу продуктивності (до 2,84 т/га у сорту ЕС КОМПОЗИТОР), тоді як 2025 р. характеризувався менш сприятливими умовами через нерівномірність опадів і підвищену температуру у фазу наливу насіння. Показник $CV = 11\text{--}17\%$ свідчить про помірну варіабельність урожайності, а $CVG/CVE = 0,91$ підтверджує високу відповідність умов Лісостепу біологічним вимогам сої та високу стабільність результатів.

У зоні Полісся спостерігалася найвища врожайність середньостиглих сортів – 2,07 т/га у середньому за три роки, що перевищує показники Лісостепу на 2 % та Степу на 45 %. Найвищу врожайність у цій зоні забезпечили сорти Алісія (2,49 т/га), ЕС ВІЗИТОР (2,36 т/га) та ЕС КОЛЕКТОР (2,32 т/га), що перевищують стандарт Титан (2,26 т/га) на 0,06–0,23 т/га. Високий рівень урожайності також спостерігався у сорту Кармеліта (2,29 т/га), тоді як сорти Дара, Віталіна і Турізас формували врожай на рівні 1,80–1,92 т/га.

Значення $CV = 8\text{--}13\%$ свідчить про високу стабільність урожайності, тоді як $CVG/CVE = 0,83$ вказує на переважання екологічної варіації над генетичною, тобто на сильний вплив погодних умов, попри загальну сприятливість клімату для сої.

Загалом, урожайність середньостиглих сортів сої в Лісостепу (2,05 т/га) і Поліссі (2,07 т/га) була статистично близькою, відмінності не перевищували 5 %. Однак у Степу урожайність була значно нижчою – 1,43 т/га, що зумовлено обмеженням водного ресурсу і підвищеним температурним стресом під час наливу бобів.

Отже, Лісостеп можна вважати оптимальною зоною для формування стабільної врожайності, тоді як Полісся забезпечує максимальний потенціал продуктивності у вологі роки, а Степ потребує впровадження адаптованих сортів і технологій зрошення.

Отримані результати свідчать, що адаптивна реакція середньостиглих сортів сої визначається не лише сумою ефективних температур, але й співвідношенням тепла і вологи у фазу генеративного розвитку. У зоні Степу ключовим лімітуючим чинником є дефіцит ґрунтової вологи, що обмежує транспірацію і фотосинтетичну активність. Для Лісостепу характерне оптимальне поєднання теплового та водного режимів, що забезпечує найвищу стабільність урожайності між роками. У Поліссі, незважаючи на достатнє зволоження, надлишок вологи та знижені температури на початку вегетації у певні роки можуть уповільнювати ріст і розвиток, досягання і знижувати насіннєву продуктивність.

У контексті прогнозування, з огляду на тенденції до підвищення середньорічних температур і збільшення кількості посушливих періодів, можна очікувати зміщення оптимальних зон вирощування середньостиглих сортів у напрямі північніших регіонів. Для Степу доцільним буде добір жаростійких, коротковегетаційних і високопластичних сортів, тоді як для Полісся перспективними залишаються високопродуктивні генотипи з підвищеною вологостійкістю.

Показник b_i серед сортів варіював від $-1,74$ до $-3,09$, що свідчить про значну різницю в здатності реагувати на зміну агроєкологічних умов. Сорти з вищими значеннями b_i (менше від'ємними) – Інгуз ($-1,95$), Туріас ($-1,84$), Дара ($-1,74$), Віталіна ($-1,78$) – характеризуються низькою пластичністю і здатністю краще зберігати врожайність у несприятливих умовах (стресові фактори, дефіцит вологи). Сорти із середніми значеннями b_i ($-1,9 \dots -2,1$) – Терсія ($-2,05$), Нептун ($-1,91$), Зевс ($-1,99$), ЕС КОМПОЗИТОР ($-1,99$) – мають середню пластичність, реагують на покращення середовища помірно, демонструючи стабільну урожайність у середньоінтенсивних технологіях. Сорти з нижчими (більш від'ємними) значеннями b_i ($-2,25 \dots -3,09$) – Акардія ($-2,25$), Алісія ($-2,63$), ЕС ВІЗИТОР ($-2,17$), ЕС КОЛЕКТОР ($-2,54$), Кармеліта ($-3,09$) – це високопластичні, але менш стійкі генотипи, які реалізують свій потенціал лише за сприятливих умов вирощування.

Таким чином, вищі (менш негативні) значення b_i свідчать про більшу екологічну стійкість, тоді як нижчі (сильніше від'ємні) – про виражену пластичність, характерну для високопродуктивних сортів, орієнтованих на інтенсивні технології.

Дисперсія стабільності (σ^2d) у середньостиглих сортів варіювала від $1,57$ до $2,15$. Найнижчі значення σ^2d ($1,57-1,70$) мають Віталіна, Інгуз, Туріас, Дара, Зевс, Нептун – це найбільш стабільні сорти, які формують рівномірну урожайність за різних умов середовища. Середні значення σ^2d ($1,79-1,91$) у сортів Аркадія, Терсія, ЕС КОМПОЗИТОР свідчать про збалансовану реакцію на умови середовища. Вищі значення σ^2d ($2,03-2,15$) зафіксовано у Титана, Алісії, ЕС ВІЗИТОРА, ЕС КОЛЕКТОРА, Кармеліти, що вказує на підвищену мінливість врожайності і, відповідно, меншу стабільність у порівнянні з більш гомеостатичними сортами.

Отже, чим нижче σ^2d , тим стабільніший сорт, а підвищення цього показника вказує на більшу реактивність (але нестабільність) генотипу.

За сукупністю ознак сорти можна розподілити на три групи:

Стабільні з низькою пластичністю ($b_i > -2$, $\sigma^2d \leq 1,7$) – Інгуз, Туріас, Віталіна, Дара, Зевс, Нептун. Ці генотипи придатні для екстенсивних і середньоінтенсивних технологій, добре зберігають урожайність за несприятливих умов (посуха, дефіцит вологи), (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

**Узагальнені параметри адаптивно-продуктивного потенціалу
середньостиглих сортів сої культурної у різних кліматичних зонах
України (2023–2025)**

Сорт	\bar{X}	σ^2d	b_i	Hom	Sc	KM	ІЕП	СС	KЗ	КАА
Титан st	2,03	0,79	-2,14	1,70	1,50	-0,95	1,63	-1,86	2,14	1,10
Інгуз	1,61	0,63	-1,95	1,07	1,19	-1,24	1,32	-1,13	1,74	0,87
Туріас	1,64	0,67	-1,84	1,12	1,21	-1,08	1,34	-1,22	1,79	0,89
Акардія	1,91	0,80	-2,25	1,52	1,42	-1,18	1,54	-1,84	2,1	1,04
Алісія	2,15	0,80	-2,63	1,93	1,59	-1,26	1,74	-1,78	2,27	1,16
Дара	1,64	0,67	-1,74	1,11	1,21	-0,97	1,33	-1,27	1,81	0,89
Терсія	1,88	0,74	-2,05	1,46	1,39	-1,02	1,52	-1,55	2,09	1,02
Нептун	1,71	0,69	-1,91	1,21	1,26	-1,06	1,39	-1,19	1,85	0,92
ЕС ВІЗИТОР	2,12	0,77	-2,17	1,87	1,57	-0,89	1,72	-1,68	2,12	1,15
ЕС КОЛЕКТОР	2,13	0,75	-2,54	1,88	1,57	-1,20	1,73	-1,54	2,16	1,15
ЕС КОМПОЗИТОР	1,79	0,72	-1,99	1,34	1,33	-1,05	1,46	-1,58	2,05	0,97
Віталіна	1,57	0,66	-1,78	1,03	1,16	-1,1	1,28	-1,17	1,67	0,85
Зевс	1,70	0,70	-1,99	1,19	1,25	-1,16	1,37	-1,36	1,78	0,92
Кармеліта	2,08	0,75	-3,09	1,79	1,54	-1,75	1,70	-1,58	2,15	1,12
\bar{X} 1,85 SD 0,21 CV, % 11% CVG, % 29 CVE, % 30 CVP, % 41 CVG/CVE 0,99										

Збалансовані за пластичністю й стабільністю ($b_i \approx -2$, $\sigma^2d \approx 1,8-1,9$) – Терсія, Аркадія, ЕС КОМПОЗИТОР. Їхня реакція на покращення умов виражена помірно, тому вони універсальні для більшості зон вирощування.

Високопластичні, але нестабільні ($b_i < -2$, $\sigma^2d > 2,0$) – Алісія, ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР, Кармеліта, Титан. Це інтенсивні сорти, здатні формувати найвищий урожай у сприятливі роки, проте їхня результативність істотно знижується за абіотичного стресу.

Показник гомеостатичності (Ном) коливався від 1,03 до 1,93, що підтверджує наявність значної диференціації сортів за стабільністю фізіолого-біохімічних процесів у змінному середовищі. Найвищу гомеостатичність (1,70–1,93) мали Алісія, ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР, Кармеліта, що зумовлює їхню адаптивну рівновагу.

Селекційна цінність (Sc) варіювала від 1,16 до 1,59, причому найвищі значення притаманні сортам Алісія, ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР і Кармеліта. Це свідчить про їх комплексну селекційну придатність – здатність поєднувати високу продуктивність, адаптивність і технологічність.

Коефіцієнт адаптивної активності (КАА) перевищував одиницю у сортів Алісія (1,16), ЕС ВІЗИТОР (1,15), ЕС КОЛЕКТОР (1,15), Кармеліта (1,12) та Титан (1,10), що свідчить про їхню перевагу над стандартом за рівнем пристосованості. У той час як сорти Віталіна, Дара та Інгуз із КАА < 1 (0,85–0,89) демонструють нижчу адаптивність, але вищу стабільність за умов стресового впливу.

В умовах подальшої кліматичної нестабільності України можна прогнозувати, що сорти Алісія, ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР і Кармеліта забезпечать високий рівень урожайності за сприятливих умов, але можуть демонструвати значні коливання між роками; сорти Інгуз, Дара, Туріас і Віталіна залишатимуться еталонними стабільними сортами для регіонів із ризиком посухи; сорти Терсія, Аркадія, ЕС КОМПОЗИТОР можуть стати базовими універсальними сортами, придатними до впровадження в усіх

кліматичних зонах, завдяки збалансованій комбінації стабільності й адаптивності.

Отже, формування сортової структури посівів сої в Україні повинно передбачати поєднання високопластичних і стабільних генотипів, що забезпечить екологічну стійкість і продуктивність посівів у змінних кліматичних умовах.

У результаті емпіричних досліджень встановлено наступні показники кореляції (табл. 4): сильну позитивну кореляцію врожайності з гомеостатичністю, селекційною цінністю, екологічною пластичністю, компенсаторною здатністю та адаптивністю; помітну з стабільністю та коефіцієнтом екологічної регресії та зворотною кореляцію з коефіцієнтом мультиплікативності й стресостійкості.

Таблиця 4.5

Матриця кореляційних зв'язків між врожайністю і параметрами адаптивної здатності середньостиглих сортів сої культурної

Параметр	Y, т/га	σ^2d	bi	Hom	Sc	KM	ІЕП	CC	K3
σ^2d	0,602								
bi	0,576	0,996							
Hom	0,999	0,580	0,553						
Sc	1,000	0,607	0,582	0,999					
KM	-0,144	0,697	0,723	-0,171	-0,137				
ІЕП	0,997	0,546	0,518	0,998	0,997	-0,211			
CC	-0,451	-0,953	-0,961	-0,427	-0,457	-0,775	-0,391		
K3	0,981	0,564	0,540	0,977	0,981	-0,174	0,981	-0,436	
КАА	1,000	0,607	0,581	0,999	1,000	-0,137	0,996	-0,456	0,981

В результаті статистичних обрахунків, виявлено сильний зворотній кореляційний зв'язок за шкалою Чеддока між врожайністю середньостиглих сортів сої й температурою повітря впродовж вегетації рослин – $r = 0,8031$ і помітний зв'язок між врожайністю й сумою опадів – $r = 0,5597$. З урахуванням

показників статистичної надійності рівнянь, дану залежність представлено графічно на рисунку 4.2.

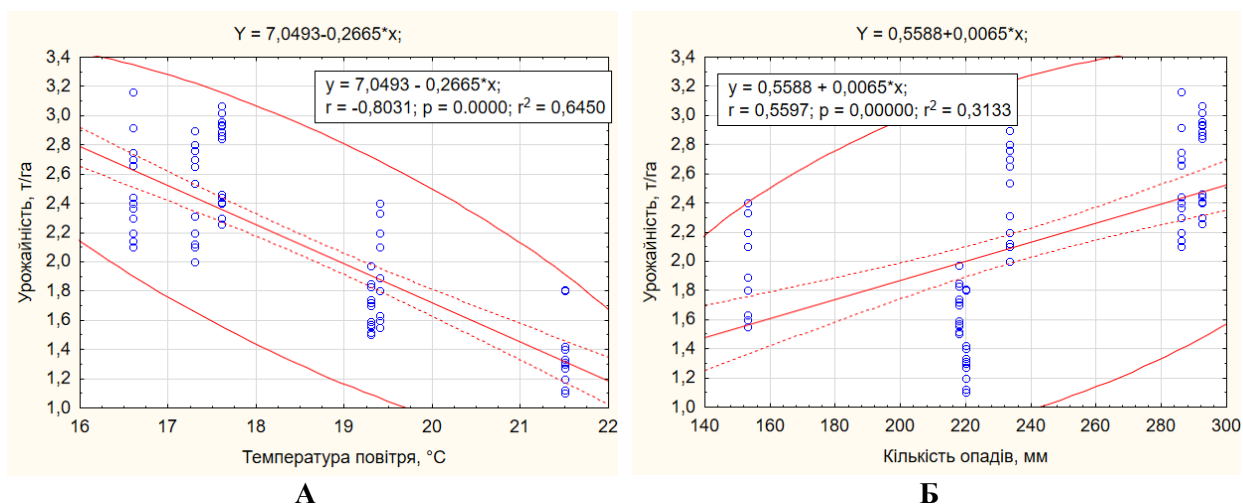


Рисунок 4.2 Статистичні залежності врожайності сортів сої від температури повітря, °C (А) та суми опадів, мм (Б)

4.2. Структура врожаю та якість зерна сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України.

Маса 1000 зерен – один із ключових морфометричних показників, що відображає здатність сорту до нагромадження сухої речовини в насінні й є важливим елементом структури врожаю. Наведені дані дозволяють проаналізувати цей показник у широкому сортовому, екологічному та адаптивному контексті.

Маса однієї тисячі зерен серед ранньостиглих сортів коливалася в межах від 127,3 г (сорт Таверна у Степу) до 173,2 г (сорт Адесса у Степу), з середнім значенням по кліматичних зонах 155 г (Степ), 138 г (Лісостеп), 161 г (Полісся).

Найвищі показники маси 1000 зерен спостерігалися у сортів Адесса, Адельфія, Нунавік і ЕС ДЕКОР, які стабільно формували масивне насіння незалежно від регіону вирощування. Сорти Таверна, Ері та Калгарі мали найнижчі показники в усіх зонах, що свідчить про їхню меншу насіннєву масу, притаманну певним генотипам ранньостиглого типу (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Маса 1000 зерен сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025, г

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	158,6	138,9	148,0
	Паллада	154,4	137,8	159,9
	Перепілочка	160,8	144,2	167,9
	Таверна	127,3	136,2	154,4
	Фортеця	143,7	143,6	170,9
	Адельфія	169,8	136,3	165,5
	Адесса	173,2	135,6	166,3
	ЕС ДЕКОР	165,3	141,7	165,2
	РЖТ САКУЗА	163,5	137,3	164,4
	Ері	134,6	134,7	150,5
	Калгарі	137,9	132,0	156,8
	Нуनावік	169,0	136,6	164,1
	X	155	138	161
	SD	14,65	3,48	6,92
	CV, %	9	3	4
Середньостиглі	Титан st	171	132	151
	Інгуз	201	181	203
	Турізас	197	177	194
	Акардія	205	133	155
	Алісія	172	148	154
	Дара	195	176	202
	Терсія	180	170	161
	Нептун	193	176	186
	ЕС ВІЗИТОР	170	136	147
	ЕС КОЛЕКТОР	170	138	147
	ЕС КОМПОЗИТОР	180	171	169
	Віталіна	200	184	202
	Зевс	201	173	198
	Кармеліта	178	145	161
	X	187	160	174
	SD	12,88	19,28	21,85
	CV, %	7	12	13

Маса однієї тисячі зерен у середньостиглих сортів коливалася в межах від 132 г (сорт Титан st в Лісостепу) до 205 г (сорт Акардія в Степу), з середнім значенням 187 г (Степ), 160 г (Лісостеп), 174 г (Полісся).

Сорти Акардія, Віталіна, Інгуз, Зевс і Дара демонстрували значно вищу масу зерна, що свідчить про їх високий потенціал нагромадження сухої речовини в насінні. Водночас, ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР та ЕС

КОМПОЗИТОР формували дещо менше за масою зерно порівняно з іншими сортами своєї групи.

Середньостиглі сорти достовірно переважали ранньостиглі за масою 1000 зерен. У Степу різниця становить 32 г (187 г проти 155 г), у Лісостепу – 22 г (160 г проти 138 г), в Поліссі – 13 г (174 г проти 161 г).

Це вказує на генетично зумовлену здатність середньостиглих сортів до формування крупнішого насіння за рахунок тривалішого періоду наливу та кращої адаптації до продуктивної вегетації. Крім того, варіабельність середньостиглих сортів була вищою, що засвідчує більшу різноманітність генотипів за цим показником (CV 7–13% проти 3–9% у ранньостиглих).

Найвища середня маса 1000 зерен середньостиглих сортів спостерігалася в Поліссі (161 г), найменша – в Лісостепу (138 г), із мінімальним коефіцієнтом варіації (CV = 3%). Це свідчить про стабільність показника у Лісостепу, але й про обмеження у формуванні максимальної маси насіння через помірні умови мікроклімату.

Середньостиглі сорти мали найвищий рівень у Степу (187 г), найменший у Лісостепу (160 г), а максимальну варіабельність відзначено у Поліссі (CV = 13%). Умови Степу були більш сприятливими для формування насіння з великою масою завдяки вищій температурі та сонячній інсоляції, що активізує фотосинтез і транслокацію асимілянтів у насіння. Водночас, у Поліссі попри достатню вологість, прохолодніша температура обмежувала потенціал окремих сортів, що позначилось на високому стандартному відхиленні.

Установлено, що група стиглості є визначальним чинником у формуванні маси 1000 зерен: середньостиглі сорти значно переважають ранньостиглі за цим показником, а генетичні особливості сортів суттєво впливають на варіабельність результатів у межах однієї групи стиглості, особливо у середньостиглих.

Кліматична зона вирощування модулює реалізацію потенціалу сорту: для ранньостиглих сортів найсприятливішими були умови Полісся, тоді як для середньостиглих – умови Степу. Отримані дані свідчать про необхідність

диференційованого підходу до вибору сортів сої з урахуванням тривалості вегетаційного періоду та адаптивної реакції на агрокліматичні умови.

Натура зерна є важливою характеристикою якості насіннєвого матеріалу, що визначає його щільність, ступінь вирівняності та виповненості, а також опосередковано впливає на товарну й технологічну придатність. У межах дослідження, проведеного впродовж 2023–2025 років у трьох агрокліматичних зонах України (Степ, Лісостеп, Полісся), встановлено варіації цього показника залежно від сорту, групи стиглості й умов вирощування.

У ранньостиглій групі середнє значення натури зерна становило:

- у Степу – 618 г/л,
- у Лісостепу – 551 г/л,
- у Поліссі – 644 г/л.

Діапазон коливань у Степу був доволі широким – від 509 г/л (Таверна) до 693 г/л (Адесса), що свідчить про суттєві генотипові відмінності у щільності насіння. У Лісостепу цей показник коливався від 528 г/л (Калгарі) до 577 г/л (Перепілочка), а в Поліссі – від 584 г/л (Рапсодія st) до 684 г/л (Фортеця).

Сорти Адесса, Адельфія, Нунавік, ЕС ДЕКОР та РЖТ САКУЗА показали найвищі значення натури зерна у Степу, що вказує на добру виповненість насіння і сприятливу реакцію на умови високої температури та інсоляції. Водночас сорти Таверна, Ері та Калгарі стабільно демонстрували найнижчі показники, що свідчить про або слабку генетичну здатність до формування щільного насіння, або про підвищену чутливість до екологічного стресу.

Для середньостиглих сортів характерний вищий рівень натури зерна:

- у Степу – 746 г/л,
- у Лісостепу – 640 г/л,
- у Поліссі – 694 г/л.

Найвищі значення фіксовано у сортів Акардія (820 г/л, Степ), Інгуз (812 г/л, Полісся), Віталіна (800–808 г/л), Зевс (804–791 г/л) і Дара (779–809 г/л), що вказує на їхній високий генетичний потенціал до формування вирівняного, щільного насіння за різних умов вирощування. Водночас сорти Титан st,

ЕС ВІЗИТОР', ЕС КОЛЕКТОР, Кармеліта та 'Алісія' показали нижчі значення, особливо в умовах Лісостепу. Зокрема, Акардія демонструє феноменальну продуктивність натури в Степу (820 г/л), але в Лісостепу її значення знижується до 532 г/л, що свідчить про різку реакцію на кліматичну нестабільність або несприятливий агрофон (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Натура зерна сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025, г

Група стиглості	Сорт	Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	622	545	584
	Паллада	618	551	640
	Перепілочка	643	577	672
	Таверна	509	545	618
	Фортеця	575	574	684
	Адельфія	679	545	662
	Адесса	693	542	665
	ЕС ДЕКОР	661	567	661
	РЖТ САКУЗА	654	549	658
	Ері	538	539	602
	Калгарі	552	528	627
	Нунавік	676	546	656
	X	618	551	644
	SD	58,43	13,98	28,99
	CV, %	9%	3%	5%
Середньостиглі	Титан st	684	528	604
	Інгуз	804	724	812
	Туріас	788	710	776
	Акардія	820	532	621
	Алісія	688	590	615
	Дара	779	702	809
	Терсія	720	681	645
	Нептун	770	705	744
	ЕС ВІЗИТОР	679	544	586
	ЕС КОЛЕКТОР	679	552	586
	ЕС КОМПОЗИТОР	720	686	677
	Віталіна	800	736	808
	Зевс	804	693	791
	Кармеліта	711	578	645
	X	746	640	694
	SD	51,54	77,11	87,40
	CV, %	7%	12%	13%

У порівнянні між групами стиглості середньостиглі сорти істотно переважають ранньостиглі за натурою зерна. Це зумовлено довшим періодом наливу зерна, більшим листковим апаратом і кращим біосинтетичним забезпеченням у середньостиглих сортів. Крім того, коефіцієнт варіації (CV) у середньостиглих був вищим (7–13%) проти 3–9% у ранньостиглих, що свідчить про більшу амплітуду сортових реакцій.

Згідно з даними, найвищі показники натури зерна формуються у Степу – особливо у середньостиглих сортів, що пояснюється кращими умовами інсоляції та температурного забезпечення в період наливу насіння. Полісся, завдяки оптимальному вологозабезпеченню, забезпечує високі значення натури як у ранньостиглих, так і в середньостиглих сортів. Найменш сприятливими умовами для формування натури зерна виявився Лісостеп, де зафіксовано найнижчі середні значення в обох групах стиглості.

Визначено, що генотипова належність має визначальний вплив на натуру зерна: сорти Інгуз, Віталіна, Зевс, Дара (середньостиглі) та Адесса, Адельфія, Нунавік (ранньостиглі) мають найвищу щільність зерна.

Група стиглості прямо корелює з натурою зерна – середньостиглі сорти в усіх зонах мають на 50–130 г/л вищі показники порівняно з ранньостиглими.

Кліматична зона значно впливає на реалізацію потенціалу: найкращі умови для формування високої натури виявлено у Степу та Поліссі, натомість у Лісостепу спостерігається зниження показників.

Для високоякісного насінництва доцільно впроваджувати сорти зі стабільною натурою у всіх зонах, зокрема Інгуз, Дара, Нунавік, ЕС ДЕКОР.

Маса 1000 зерен і натура зерна є інтегральними показниками морфофізіологічного стану культури та ефективності фотосинтетичної діяльності рослин у період наливу насіння. Вони відображають не лише генетичний потенціал сорту, а й реакцію на агротехнічні заходи, умови вологозабезпечення та температурний режим. Підвищення маси 1000 зерен корелює з поліпшенням натури, що вказує на щільність і вирівняність зернової фракції – важливі параметри для зберігання, транспортування й переробки.

Показники маси 1000 зерен у *ранньостиглих сортів* сої коливалися в межах 139–158 г, що свідчить про помірну варіабельність цього показника в межах групи. Найвищу масу 1000 зерен зафіксовано у сортів Перепілочка, Адесса та ЕС Декор (по 157–158 г), що свідчить про їх високий потенціал формування повноцінного насіння із добре розвиненим ендоспермом. Натомість найнижчий показник мала Таверна (139 г), що може бути наслідком як генетичної зумовленості, так і менш інтенсивного накопичення сухої речовини у зерні. Натура зерна у ранньостиглій групі змінювалася в межах 557–633 г/л, демонструючи пряму залежність від маси 1000 зерен. Найвищу натуру спостережено у сортів Адесса (633 г/л) та Перепілочка (631 г/л), що вказує на високу щільність і вирівняність насіння. Низькі значення натури (наприклад, Таверна – 557 г/л) є характерними для дрібнонасінних сортів із менш щільною структурою.

Отже, для ранньостиглих сортів спостерігається тенденція до помірної насінневої крупності та середнього рівня натури, що забезпечує швидке дозрівання і пристосованість до короткого вегетаційного періоду.

У *середньостиглій групі* маса 1000 зерен варіювала в ширших межах – 151–195 г, що свідчить про значно більший потенціал нагромадження пластичних речовин у зерні. Максимальні значення спостерігалися у сортів Інгуз, Віталіна та Дара (190–195 г), які виділялися найбільшою насінневою продуктивністю та крупнозерністю. Такі показники свідчать про інтенсивні процеси фотосинтезу та ефективний розподіл асимілянтів у генеративні органи. Натура зерна у середньостиглих сортів змінювалася від 603 до 781 г/л, що перевищує аналогічні показники ранньостиглої групи. Найвищі значення відзначено у сортів Віталіна (781 г/л), Інгуз (780 г/л) та Дара (763 г/л), які характеризуються високою щільністю, однорідністю та технологічною якістю зерна. Найнижчі показники натури (603–606 г/л) були притаманні сортам ЕС Візитор, ЕС Колектор і Титан, що свідчить про їхню меншу щільність або дещо дрібніше насіння.

Порівняння сортів двох груп стиглості свідчить, що середньостиглі мають перевагу за масою 1000 зерен на 25–35 г та вищу натуру зерна на 100–150 г/л, що є результатом тривалішого періоду вегетації та більш сприятливих умов для накопичення сухої речовини у насінні. У середньостиглих сортів формуються виповнені боби та щільніше насіння, що покращує як фізичні, так і технологічні властивості зерна. Таким чином, із фізико-технологічної точки зору, середньостиглі сорти є більш цінними для насіннєвого матеріалу й переробної промисловості, тоді як ранньостиглі – для зон із коротким вегетаційним періодом і ризиком посушливих умов (рис. 4.4).

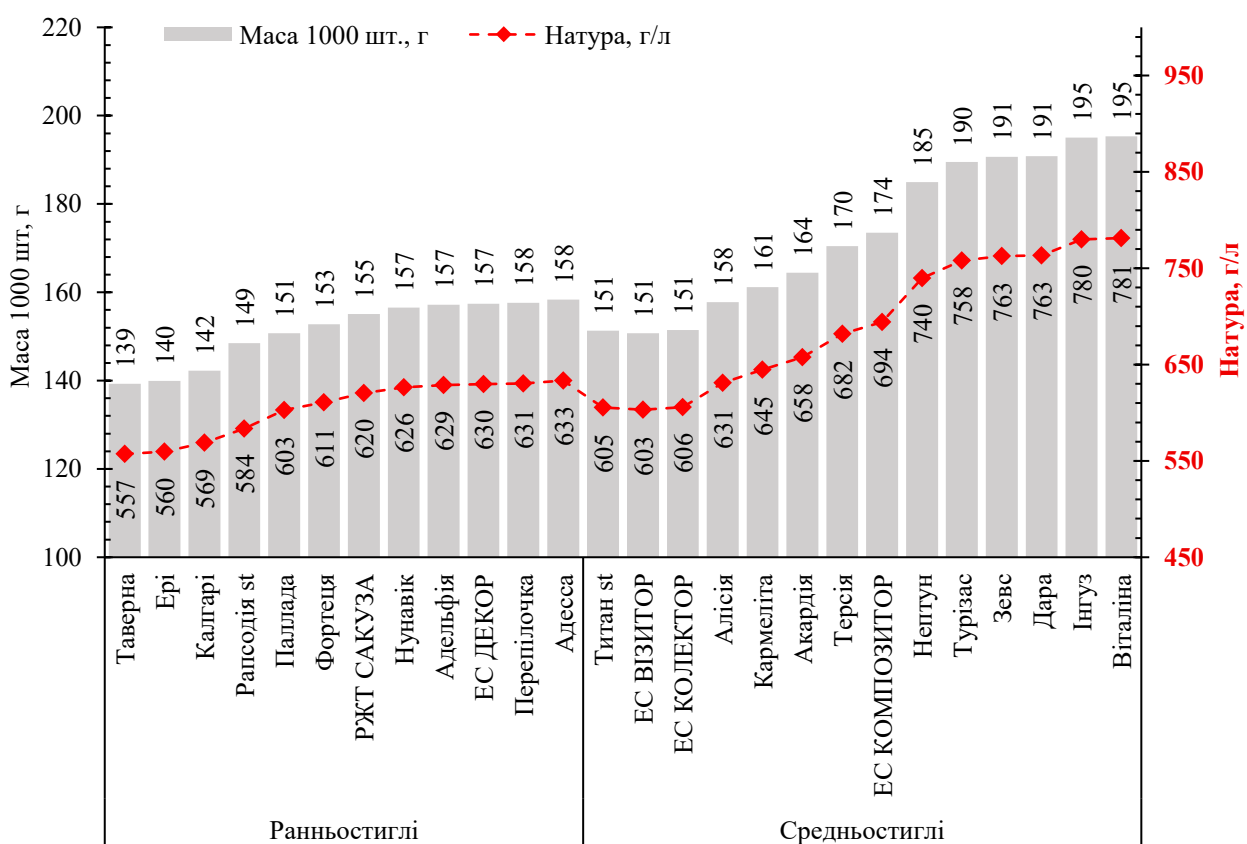


Рисунок 4.4 Усереднені дані маси 1000 зерен (г) та натури зерна (г/л) сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025

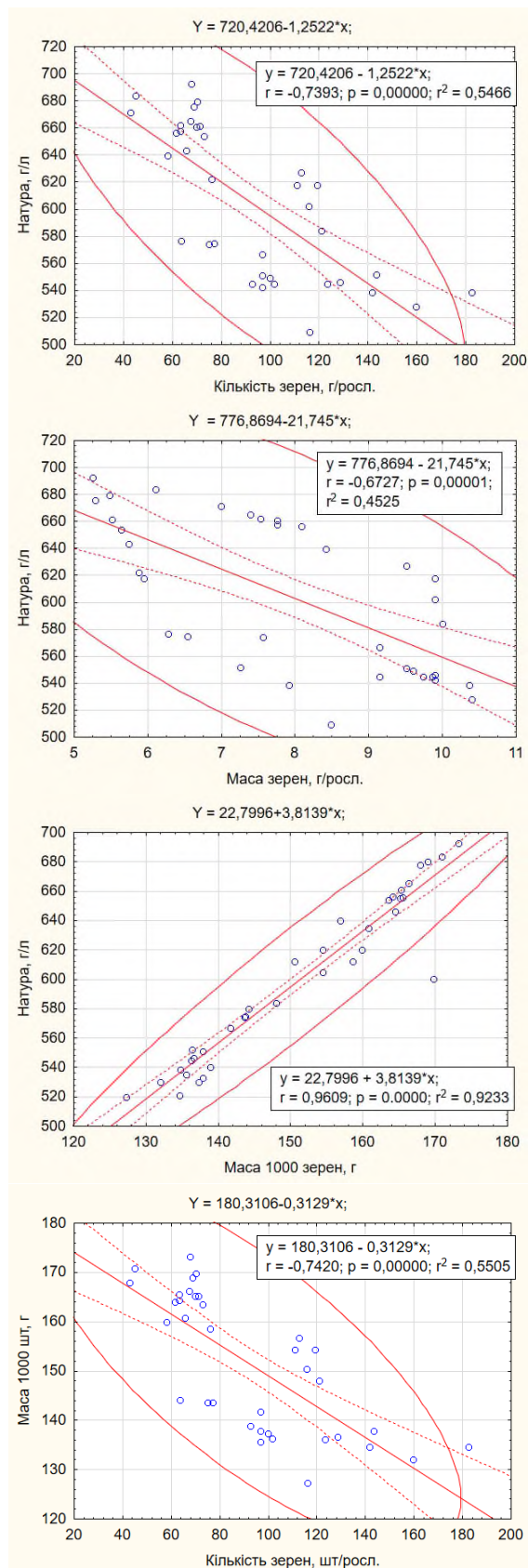
У результаті аналізу встановлено, що середньостиглі сорти сої значно перевищують ранньостиглі за показниками маси 1000 зерен (до 195 г) та натури (до 781 г/л), що свідчить про їхній вищий потенціал формування врожаю та якіснішого насіння. Для ранньостиглої групи характерна

стабільність показників і адаптивність до стресових умов, тоді як середньостиглі сорти вирізняються вищою енергоємністю та технологічною придатністю зерна. Отже, вибір групи стиглості має здійснюватися відповідно до агрокліматичних умов регіону та цільового призначення продукції – насінневого чи переробного напрямку.

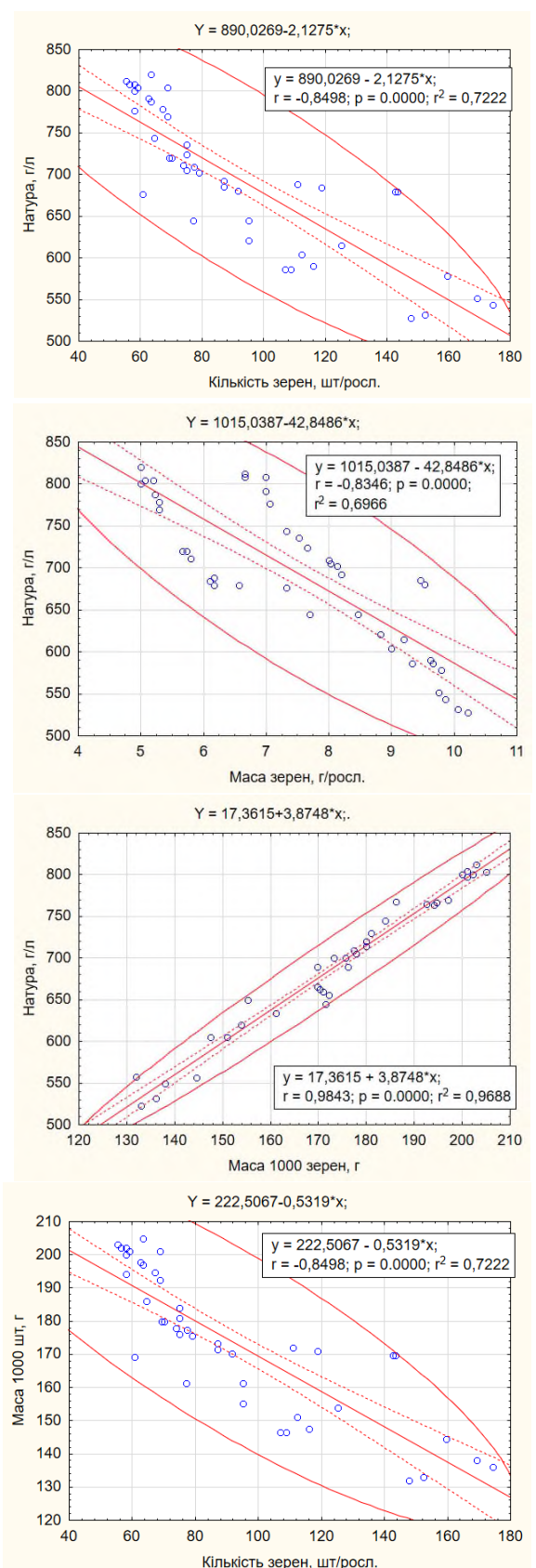
Кореляційний аналіз дозволяє кількісно оцінити силу та напрям взаємозв'язку між структурними елементами врожаю сої, зокрема між масою зерна з рослини, натурою зерна та кількістю зерен із рослини. Визначення характеру цих залежностей є важливим для встановлення чинників, що найбільшою мірою формують індивідуальну продуктивність рослин різних груп стиглості.

Для ранньостиглих сортів сої спостерігається помітний обернений кореляційний зв'язок між натурою зерна та масою зерна з рослини ($r = -0,67$), високий з кількістю зерен з рослини ($r = -0,74$) та тісний позитивний з масою 1000 зерен ($r = -0,96$). Також відзначено високу обернену кореляцію між масою 1000 зерен та їх кількістю з однієї рослини ($r = -0,74$). Це свідчить, що за збільшення кількості зерен на рослині спостерігається тенденція до зменшення їхньої індивідуальної маси, що є наслідком обмеженого потенціалу асиміляційного апарату та скороченої тривалості наливу насіння у ранніх сортів.

Для середньостиглих сортів закономірності мають аналогічний напрям, але вищий рівень тісноти зв'язків: високий обернений кореляційний зв'язок між натурою зерна та масою зерна з рослини ($r = -0,83$), кількістю зерен з рослини ($r = -0,85$) та тісний позитивний з масою 1000 зерен ($r = -0,98$). Також відзначено високу обернену кореляцію між масою 1000 зерен та їх кількістю з однієї рослини ($r = -0,85$). Тісна позитивна кореляція (фактично майже лінійна залежність) між масою 1000 зерен і натурою свідчить про узгодженість процесів нагромадження сухої речовини у середньостиглих сортів, у яких подовжений період вегетації забезпечує кращу реалізацію генетичного потенціалу насінневої крупності (рис. 4.5).

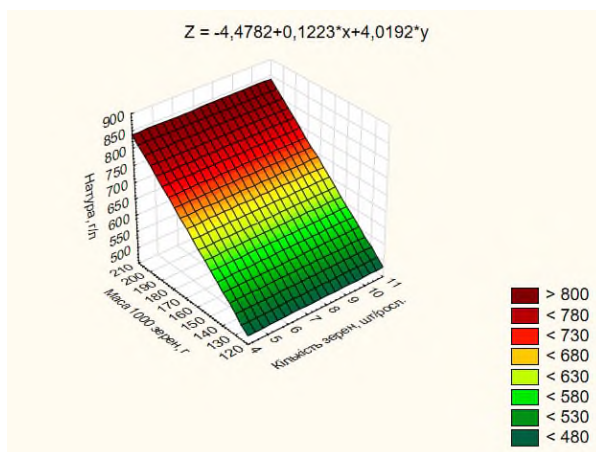


Ранньостиглі

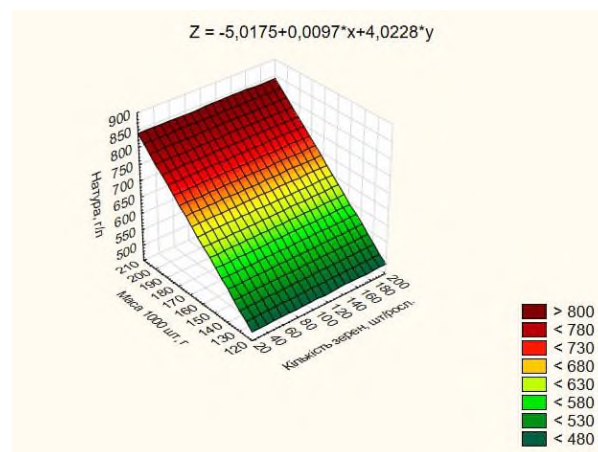


Середньостиглі

Рисунок 4.5 Графічні моделі залежності між показниками індивідуальної продуктивності рослин сортів сої різних груп стиглості



Натура-маса 1000-маса зерен/росл.



Натура-маса 1000-кількість зерен/росл.

Продовження рис. 4.5 Графічні моделі залежності між показниками індивідуальної продуктивності рослин сортів сої різних груп стиглості

Отже, зростання натури зерна до 750–780 г/л супроводжується істотним підвищенням маси зерна на одну рослину, що відображає генетичний потенціал сортів цієї групи до накопичення сухої речовини. А встановлений тісний прямий зв'язок між кількістю зерен на рослину та масою зерна з рослини засвідчує, що збільшення кількості насіння навіть на 10–12 шт. на рослину може забезпечити приріст індивідуальної маси зерна на 1–1,5 г, що є статистично значущим. Така закономірність демонструє високу продуктивну пластичність середньостиглих сортів, у яких кількість зерен і натура зерна тісно взаємопов'язані.

За побудованими моделями можна прогнозувати, що при підвищенні натури зерна середньостиглих сортів на 50 г/л очікується зростання маси зерна з рослини на 1,5–1,8 г, тоді як у ранньостиглих – лише на 0,9–1,1 г. Водночас збільшення кількості зерен на рослину на 10 шт. забезпечує приріст маси зерна приблизно на 0,8 г у ранньостиглих та 1,0–1,2 г у середньостиглих сортів.

Отже, можна стверджувати, що висока кількість зерен і щільність насіння є синергетичними факторами, які формують максимальну індивідуальну продуктивність рослин у середньостиглій групі стиглості.

Таким чином, структура зв'язків демонструє контраст між групами стиглості: у ранньостиглих сортів процеси формування зерна перебувають у жорстких часових межах, що зумовлює взаємну компенсацію між кількістю і масою зерен, тоді як у середньостиглих сортів спостерігається більш стабільна та збалансована взаємодія морфометричних показників.

Фракційний склад насіння є важливим морфометричним показником, який визначає якість насіннєвого матеріалу, енергію проростання та технологічну придатність до переробки. Високий відсоток крупної фракції (>4,6 мм) свідчить про повне досягання насіння, оптимальний розвиток ендосперму й збалансований водно-енергетичний обмін під час наливу зерна.

Переважання цієї фракції у середньостиглих сортів зумовлене довшим вегетаційним періодом, що забезпечує повніше нагромадження пластичних речовин і формування крупного, важкого насіння. У ранньостиглих сортів переважає фактор екологічної стабільності, що виражається у вирівняності фракційного складу за рахунок генетичної пластичності та короткого циклу розвитку.

За результатами аналізу *фракційного складу насіння ранньостиглих* сортів сої, наведеного в таблиці 4.8, встановлено, що у всіх кліматичних зонах переважала фракція крупного насіння діаметром понад 5 мм, частка якої становила в середньому 46,08–69,42 %. Найвищі значення цієї фракції спостерігалися у зонах Полісся, де рівень вологозабезпечення був оптимальним для інтенсивного наливу зерна. У зоні Лісостепу середня частка крупного насіння дещо знижувався (46,08 %), тоді як у Степу 60,50 %, залежно від сортових особливостей і рівня зволоження.

Найбільшу частку крупного насіння формували сорти Перепілочка, Фортеця, Адельфія, Адесса та ЕС Декор (61–65,3 % у середньому по зонах), що свідчить про їхню генетичну схильність до утворення вирівняного, високоякісного насіння з великим діаметром. Натомість сорти Рапсодія та Ері характеризувалися дещо нижчою часткою крупної фракції (приблизно 53 %),

але вирізнялися стабільністю цього показника за різних екологічних умов, що вказує на високу адаптивність до абіотичних стресів.

Найменша частка дрібної фракції насіння (≤ 3 мм) у ранньостиглій групі зафіксована в межах 0,43–0,52 % за зонами, що свідчить про високу вирівняність посівного матеріалу. Частка середніх фракцій (3,1–4,0 мм) сягала 1,4 %, тому структура насіння ранньостиглих сортів характеризується домінуванням крупнозерних компонентів, що є позитивною ознакою для посівних якостей.

Середньостиглі сорти також продемонстрували переважання крупного насіння (діаметр понад 5 мм), однак його частка в середньому становила 65,19 %, тобто на 6,52 % вище, ніж у ранньостиглих сортів. Найвищі показники зафіксовано у зонах Степу і Лісостепу, де частка фракції понад 5 мм у більшості сортів перевищувала 70 %, що свідчить про сприятливі умови формування крупнозерного насіння за помірної вологості та тривалішого наливу зерна. У зоні Поліссі, де рівень температурний режим є обмеженим, частка цієї фракції становила 57,07 %, однак деякі сорти, зокрема Інгуз, Турізас, Дара, Віталіна і Зевс, зберігали високу крупність насіння навіть за даних умов, що вказує на генетично обумовлену стабільність морфометричних ознак (табл. 4.9).

Частка середньої фракції (3,1–4 мм) у середньостиглих сортів становила 33,50 %, тоді як дрібної (≤ 3 мм) – лише 0,31 %, що свідчить про високу вирівняність та кондиційність насіння у межах усіх кліматичних зон. Висока однорідність насіння забезпечує кращу якість передпосівної підготовки та рівномірність сходів, що має важливе агротехнічне значення.

Порівняння фракційного складу насіння за групами стиглості показало, що середньостиглі сорти мають перевагу за часткою крупної фракції (понад 5 мм) – у середньому 65,2 %, тоді як у ранньостиглих цей показник становить 58,7 %. Це свідчить про інтенсивніше нагромадження сухої речовини та триваліший період формування насіння у сортів середньої стиглості.

Водночас у ранньостиглих сортів спостерігається вища стабільність фракційного складу між кліматичними зонами, тоді як середньостиглі більш чутливі до варіацій погодних умов, особливо в зоні Степу, де спостерігалось деяке зменшення крупної фракції (до 60,5 %).

Таким чином, у структурі насіння середньостиглих сортів відзначається зміщення розподілу маси в бік крупнозерних фракцій, що свідчить про вищий потенціал насінневої продуктивності. У ранньостиглих сортів натомість зберігається компроміс між крупністю та стабільністю, що зумовлено коротшим вегетаційним періодом і швидшими темпами досягання.

У результаті аналізу встановлено, що в усіх кліматичних зонах переважає фракція насіння з діаметром понад 5 мм, частка якої зростає від 58,7 % у ранньостиглих до 65,2 % у середньостиглих сортів.

Для ранньостиглої групи характерна висока вирівняність насіння та стабільність розподілу фракцій між зонами, тоді як середньостиглі сорти демонструють вищу частку крупного насіння, особливо в умовах Лісостепу та Полісся.

Таким чином, середньостиглі сорти сої переважають за потенціалом формування крупного насіння, що визначає їх технологічну та насіннєву цінність, тоді як ранньостиглі сорти є більш адаптивними до стресових умов середовища, забезпечуючи стабільність показників навіть за несприятливого клімату. Отже, для виробництва високоякісного насіннєвого матеріалу доцільно орієнтуватися на середньостиглі сорти у вологіших регіонах, а для посушливих умов – на ранньостиглі, які гарантують стабільність фракційного складу й задовільну якість насіння.

Таблиця 4.8

Фракційний склад насіння ранньостиглих сортів сої за діаметром, 2023–2025, мм

Сорт	Степ				Лісостеп				Полісся				Середнє по зонах			
	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>
Рапсодія st	0,5	0,5	44	55	0,2	0,8	52	47	0	1	42	57	0,2	0,8	46,0	53,0
Паллада	0,6	1,4	43	55	0,7	1,3	51	47	0	1	33	66	0,4	1,2	42,3	56,0
Перепілочка	0,3	0,7	43	56	0,5	1,5	47	51	0,8	2,2	19	78	0,5	1,5	36,3	61,7
Таверна	0,7	1,3	41	57	0,5	1,5	53	45	0,9	3,1	34	62	0,7	2,0	42,7	54,7
Фортеця	0,5	1,5	46	52	0,4	1,6	48	50	0,5	2,5	19	78	0,5	1,9	37,7	60,0
Адельфія	0,6	1,4	22	76	0,7	1,3	54	44	0,6	1,4	22	76	0,6	1,4	32,7	65,3
Адесса	0,9	1,1	25	73	0	0	56	44	0,5	1,5	22	76	0,5	0,9	34,3	64,3
ЕС ДЕКОР	0,8	2,2	35	62	0,4	1,6	50	48	0,6	1,4	25	73	0,6	1,7	36,7	61,0
РЖТ САКУЗА	0,4	1,6	38	60	0,7	1,3	51	47	1,2	1,8	25	72	0,8	1,6	38,0	59,7
Ері	0,2	0,8	47	52	0	1	55	44	0,4	1,6	35	63	0,2	1,1	45,7	53,0
Калгарі	0,2	0,8	45	54	0,8	2,2	57	40	0,4	1,6	36	62	0,5	1,5	46,0	52,0
Нунавік	0,5	1,5	24	74	0,3	0,7	53	46	0,3	1,7	28	70	0,4	1,3	35,0	63,3

Таблиця 4.9

Фракційний склад насіння середньостиглих сортів сої за діаметром, 2023–2025, мм

Сорт	Степ				Лісостеп				Полісся				Середнє по зонах			
	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>	≤3,5	3,5-4,0	4,1-4,5	4,6>
Титан st	0,8	1,2	35	63	0,5	2,5	36	61	1,0	1,0	46	52	0,8	1,6	39,0	58,7
Інгуз	0,2	0,8	25	74	0	0	23	77	1,0	1,0	30	68	0,4	0,6	26,0	73,0
Туріас	0,2	1,8	26	72	0	0	25	75	1,0	1,0	38	60	0,4	0,9	29,7	69,0
Акардія	0,4	0,6	23	76	0,2	1,8	38	60	0	1,0	46	53	0,2	1,1	35,7	63,0
Алісія	0	0	37	63	0	1,0	32	67	0	2	45	53	0,0	1,0	38,0	61,0
Дара	0,4	0,6	27	72	0	1,0	24	75	0	2	33	65	0,1	1,2	28,0	70,7
Терсія	0	0	33	67	0,3	0,7	25	74	0,5	0,5	46	53	0,3	0,4	34,7	64,7
Нептун	1,2	1,8	26	71	0,5	1,5	23	75	0	0	43	57	0,6	1,1	30,7	67,7
ЕС ВІЗИТОР	0,4	0,6	39	60	0	2	35	63	0,6	1,4	46	52	0,3	1,3	40,0	58,3
ЕС КОЛЕКТОР	0,3	0,7	39	60	0,2	0,8	34	65	0,5	0,5	47	52	0,3	0,7	40,0	59,0
ЕС КОМПОЗИТОР	0,9	1,1	31	67	0,2	0,8	26	73	0,3	0,7	44	55	0,5	0,9	33,7	65,0
Віталіна	0	1,0	25	74	0	0	22	78	0,2	1,8	33	65	0,1	0,9	26,7	72,3
Зевс	0	2,0	24	74	0,4	1,6	25	73	0	0	40	60	0,1	1,2	29,7	69,0
Кармеліта	0,3	1,7	33	65	0,4	0,6	34	65	0	1,0	45	54	0,2	1,1	37,3	61,3

Між часткою великої фракції насіння та кількістю зерен з однієї рослини простежується обернена кореляційна залежність: за зростання кількості зерен на рослину частка насіння великої фракції, як правило, зменшується. Це зумовлено перерозподілом асимілятів між більшою кількістю генеративних органів, унаслідок чого знижується маса кожного окремого зерна. Такий взаємозв'язок особливо чітко виражений у середньостиглих сортах, для яких характерна висока пластичність у формуванні врожайної структури. Водночас у ранньостиглих сортів кореляційний зв'язок менш виражений, що пояснюється коротким періодом наливу зерна та обмеженою тривалістю асиміляційної активності листового апарату (рис. 4.6).

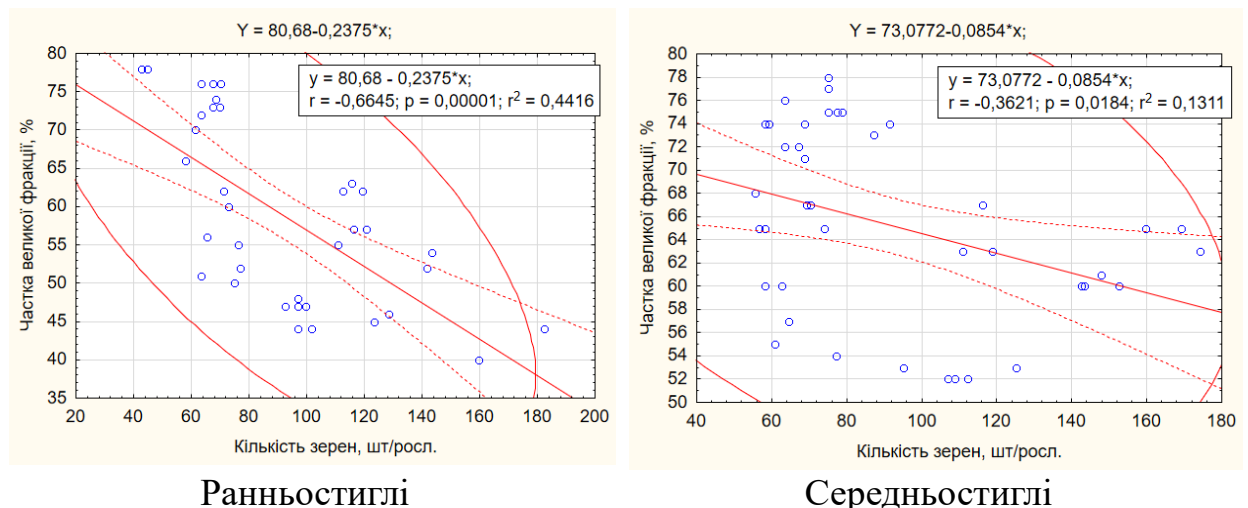


Рисунок 4.6 Графічні моделі залежності частки великої фракції зерна сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, від кількості зерен/росл., 2023–2025

З позицій фізіології продукційного процесу, збільшення кількості зерен на рослину призводить до зниження потенційної маси 1000 зерен, оскільки кожне зерно отримує меншу частку пластичних речовин. Таким чином, між компонентами структури врожайності формується негативна асоціація, що відображає компенсаційний характер взаємодії між кількістю та якістю зернової продукції. Це закономірно вписується у загальну закономірність

морфофізіологічного балансу культури, де за інтенсифікації генеративного навантаження знижується рівень індивідуального розвитку насіння.

Для південних і центральних агрокліматичних зон, де спостерігаються вищі температури повітря та періодичні дефіцити вологи, кореляція є більш вираженою, що свідчить про вплив гідротермічного фактора на процес наливу насіння. За умов оптимального зволоження (зона Лісостепу) зв'язок дещо послаблюється, оскільки рослини мають достатні ресурси для формування як великої фракції насіння, так і значної кількості бобів.

Таким чином, між часткою великої фракції насіння та кількістю зерен з однієї рослини встановлено достовірний негативний кореляційний зв'язок, який має біологічну і морфофізіологічну природу. Цей зв'язок зумовлений конкуренцією за асиміляти між насінням усередині бобів і між бобами однієї рослини. Оптимальне поєднання показників формується за помірного генеративного навантаження, коли кількість зерен не перевищує потенціалу живлення, а умови зволоження й мінерального живлення забезпечують повноцінний налив насіння. Виявлена тенденція має важливе селекційне та агротехнологічне значення, адже дає змогу визначати оптимальні параметри продукційного процесу для досягнення балансу між урожайністю та крупністю зерна, що безпосередньо впливає на якість насіннєвого матеріалу і товарну цінність урожаю.

Показники екологічної стійкості сортів сої ранньостиглої групи варіювали у межах 7,0–9,0 балів, що свідчить про високий рівень адаптивного потенціалу більшості генотипів. Найвищу стійкість до вилягання виявили сорти Перепілочка (9,0 балів) та Адесса (8,7 балів), що зумовлено міцністю стебла, оптимальним співвідношенням висоти до діаметра, а також генетично закріпленою ознакою механічної міцності клітинних стінок. Водночас середньогруповий коефіцієнт варіації ($CV = 5 \%$) свідчить про високу стабільність показника та відносно незначний вплив зовнішніх умов на його формування.

За стійкістю до обсіпання зерна у ранньостиглих сортів домінували Рапсодія та Ері (9,0 балів), що свідчить про морфофізіологічну збалансованість репродуктивних органів та оптимальну вологість бобів під час дозрівання. Такі генотипи мають перевагу в умовах високих температур кінця вегетаційного періоду, коли ризик передчасного розкривання бобів зростає (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Екологічна стійкість сортів сої за діаметром, 2023–2025, бал (ВВСН 99)

Група стиглості	Сорт	Стійкість		
		до вилягання	до обсіпання	до посухи
Ранньостиглі	Рапсодія st	8,3	9,0	8,0
	Паллада	7,7	8,7	7,7
	Перепілочка	9,0	8,3	6,7
	Таверна	8,3	8,3	8,7
	Фортеця	7,7	7,0	7,0
	Адельфія	8,0	7,3	6,7
	Адесса	8,7	7,0	7,3
	ЕС ДЕКОР	8,3	7,3	7,3
	РЖТ САКУЗА	7,7	8,0	7,3
	Ері	8,0	9,0	9,0
	Калгарі	7,7	9,0	9,0
	Нуनावік	7,7	7,7	7,3
	X	8	8	8
	SD	0,43	0,74	0,79
	CV, %	5	9	10
Середньостиглі	Титан st	8,7	8,7	8,7
	Інгуз	8,0	7,7	6,3
	Туріас	8,3	7,7	7,0
	Акардія	8,0	8,3	7,7
	Алісія	8,0	8,3	8,7
	Дара	8,3	7,7	7,0
	Терсія	8,3	8,3	7,3
	Нептун	6,7	7,3	7,0
	ЕС ВІЗИТОР	8,7	8,3	9,0
	ЕС КОЛЕКТОР	8,3	8,7	9,0
	ЕС КОМПОЗИТОР	8,7	8,3	7,7
	Віталіна	7,7	7,3	6,3
	Зевс	7,7	7,3	7,0
	Кармеліта	8,3	8,3	7,7
	X	8	8	8
	SD	0,51	0,48	0,88
	CV, %	6	6	12

Оцінюючи посухостійкість, виявлено, що сорти Ері і Калгарі (9,0 балів) переважають за адаптивною реакцією на гідротермічний стрес, що пояснюється їхньою фізіолого-біохімічною здатністю підтримувати тургор клітин та регулювати транспіраційний потік. У середньому для ранньостиглих сортів показники стійкості до посухи становили 8,0 балів ($CV = 10 \%$), що характеризує середній рівень мінливості та залежність прояву ознаки від погодних умов.

Середньостиглі сорти продемонстрували подібну тенденцію, проте з дещо більшою стабільністю і вищими значеннями окремих показників. Так, сорти Титан st і ЕС КОЛЕКТОР характеризувалися високою комплексною стійкістю (8,7–9,0 балів) до всіх досліджених чинників, що свідчить про генетично зумовлену толерантність і структурно-фізіологічну оптимізацію рослинного організму. Ці сорти поєднують міцне стебло, підвищену еластичність тканин бобів та розвинену кореневу систему, що забезпечує ефективне водопостачання навіть у фазі активного наливу зерна.

Показники варіації ($CV = 6 \%$ для вилягання й обсіпання, 12% для посухи) свідчать про вищу генетичну стабільність морфоструктурних ознак, але дещо більшу реактивність на абіотичний стрес. Отже, стійкість до посухи залишається більш варіабельною характеристикою, що залежить від поєднання температурного режиму, опадів і забезпеченості елементами живлення.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що екологічна стійкість сортів сої є комплексною адаптивною ознакою, яка формується під впливом генетичних, анатомо-морфологічних і фізіолого-біохімічних факторів. Установлено, що більшість сучасних сортів характеризуються високою толерантністю до вилягання (8,0–9,0 балів) та середньо-високою стійкістю до обсіпання й посухи (7,0–9,0 балів). Найбільш стабільними за сукупністю показників виявилися сорти Ері, Калгарі, Титан st та ЕС КОЛЕКТОР, які поєднують фізіологічну витривалість і генетичну пластичність.

Виявлені кореляційні співвідношення між ознаками свідчать, що висока стійкість до вилягання є передумовою збереження потенційної врожайності, тоді як посухостійкість визначає рівень реалізації біопродукційного потенціалу в екстремальних умовах. Отже, системна оцінка екологічної стійкості є важливою для селекційного добору та районування сортів сої з урахуванням кліматичних викликів і тенденцій зміни гідротермічного режиму України.

Кореляційний аналіз, проведений між висотою рослин сої та їх стійкістю до вилягання, свідчить про наявність виражених диференційованих взаємозв'язків залежно від групи стиглості сортів. У більшості варіантів досліджень встановлено негативну кореляцію між цими ознаками, що зумовлено морфологічними та анатомічними особливостями рослин, а також фізіолого-біохімічними процесами, які визначають міцність стеблових тканин і здатність рослин зберігати вертикальне положення впродовж вегетаційного періоду (рис. 4.7).

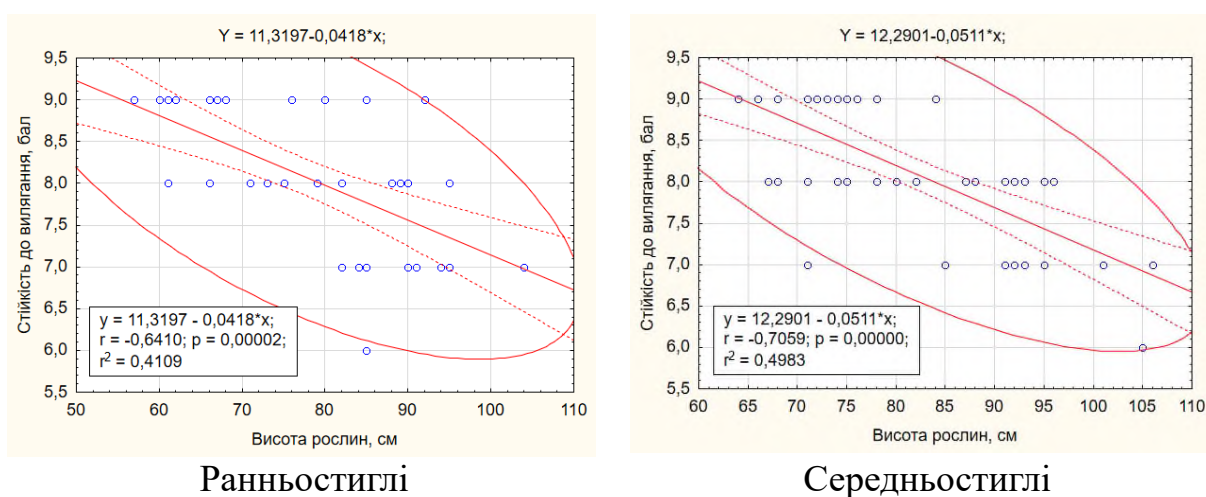


Рисунок 4.7 Графічні моделі залежності стійкості сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, до вилягання від висоти рослин, 2023–2025

У ранньостиглих сортів сої, які характеризуються меншою біомасою та скороченим вегетаційним періодом, спостерігається помірний від'ємний зв'язок між висотою рослин і стійкістю до вилягання. Це означає, що

підвищення висоти лише частково знижує стійкість до механічного полягання, оскільки короткий період росту не супроводжується надмірним видовженням міжвузлів, а механічна тканина (склеренхіма) залишається достатньо розвиненою для забезпечення стабільності стебла. Для цієї групи сортів характерна структурна компенсація: нижча висота поєднується з підвищеною товщиною стебла та щільнішою анатомічною будовою, що зменшує ризик вилягання навіть за несприятливих погодних умов.

Натомість у середньостиглих сортів спостерігається сильний негативний кореляційний зв'язок між висотою рослин та стійкістю до вилягання. Зі збільшенням висоти формується більша листкова поверхня, підвищується центр ваги, що в комплексі з підвищеною парусністю призводить до послаблення механічної стійкості стебел. Такі рослини є більш схильними до деформації під впливом вітрових навантажень, зливових опадів або густоти стояння. Висока кореляційна залежність свідчить про те, що морфологічні параметри рослин середньостиглої групи є критичним чинником, який визначає здатність культури зберігати вертикальне положення.

З огляду на отримані закономірності, ступінь вилягання у сортів сої різних груп стиглості є комплексною ознакою, яка формується під впливом як генетичних факторів (архітектоніка рослини, тип росту, товщина стебла), так і умов вирощування (вологозабезпечення, щільність посіву, агрофон). У ранньостиглих сортів більшою мірою проявляється морфофізіологічна стійкість, тоді як у середньостиглих – механічна нестабільність, зумовлена надмірним видовженням вегетативних органів.

Таким чином, результати аналізу дають підстави стверджувати, що між висотою рослин і стійкістю до вилягання сої існує стійкий від'ємний кореляційний зв'язок, сила якого зростає зі збільшенням тривалості вегетаційного періоду. Це свідчить про необхідність у селекційній практиці орієнтуватися на формування оптимального типу рослини з помірною висотою (70–90 см), високою щільністю стебла та добре розвиненою механічною

тканиною. Така комбінація ознак забезпечує підвищену стійкість до вилягання без істотного зниження врожайного потенціалу.

Кореляційний зв'язок між висотою рослин і стійкістю до вилягання у сої має від'ємний характер, причому його сила прямо пропорційна тривалості вегетаційного періоду сорту. Для ранньостиглих сортів залежність помірна, тоді як для середньостиглих – виражено сильна. Отже, висота рослин є одним із ключових морфометричних показників, який визначає рівень стійкості посівів до вилягання, і повинна враховуватися як селекційний критерій при створенні сортів з оптимальним поєднанням урожайності та адаптивності до механічних навантажень.

Емпіричні дані свідчать про те, що вміст сирого протеїну в зерні сої є результатом інтеракції генотипу, групи стиглості і зональних кліматичних факторів; для отримання стійко високих протеїнових показників необхідна синергія селекційних підходів, зонального розміщення сортів та адаптованої агротехніки. Дані таблиці 4.11 слугують надійною емпіричною базою для подальших багатовимірних статистичних досліджень стабільності та адаптивності сортів.

Дослідження вмісту сирого протеїну, наведене в таблиці 4.11, показало наявність чітко виражених міжсорткових контрастів: так, сорти Нунавік, Адельфія, Ері та РЖТ САКУЗА систематично відзначаються підвищеним вмістом протеїну (близько 38–40% залежно від зони), тоді як такі сорти як Фортеця та деякі інші демонструють нижчі рівні (близько 33–34%). У межах середньостиглої групи аналогічна динаміка: присутні високопротеїнові генотипи (Нептун, Алісія, Кармеліта – до $\approx 37\text{--}39\%$ у сприятливих зонах) та низькопротеїнові генотипи (Терсія, Віталіна – $\approx 30\text{--}32\%$), що свідчить про суттєвий генетичний контраст у здатності накопичувати білок незалежно від групи стиглості. Така міжсорткова різниця, очевидно, має генетичну основу (варіації в синтезі та транспортуванні амінокислот, активності ферментів

білкового синтезу, особливостях закладання протеїнових структур насінини) і модулюється довколишніми факторами.

Таблиця 4.11

Уміст сирого протеїну в зерні сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025, %

Група стиглості	Сорт	Вміст сирого протеїну, %		
		Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	34,36	34,91	34,87
	Паллада	34,14	33,67	34,13
	Перепілочка	33,86	34,94	35,69
	Таверна	34,42	35,38	35,24
	Фортеця	33,57	33,13	33,42
	Адельфія	39,76	39,30	38,95
	Адесса	34,85	34,61	34,98
	ЕС ДЕКОР	36,98	36,47	36,08
	РЖТ САКУЗА	39,00	38,82	39,24
	Ері	39,72	38,25	38,63
	Калгарі	38,69	38,70	38,91
	Нунавік	39,71	39,99	40,24
	X	37	36,51	37
	SD	2,50	2,28	2,23
	CV, %	7	6	6
Середньостиглі	Титан st	36,45	37,08	35,50
	Інгуз	33,72	35,75	34,26
	Туріас	34,40	35,74	34,37
	Акардія	33,03	32,33	30,27
	Алісія	39,51	38,92	35,91
	Дара	33,45	34,91	33,77
	Терсія	30,40	31,35	30,42
	Нептун	37,87	39,51	37,32
	ЕС ВІЗИТОР	35,44	34,73	32,52
	ЕС КОЛЕКТОР	33,80	34,30	32,21
	ЕС КОМПОЗИТОР	34,29	35,61	34,44
	Віталіна	32,17	32,65	31,46
	Зевс	35,49	36,68	35,64
	Кармеліта	36,97	38,15	36,38
	X	35	36	34
	SD	2,29	2,34	2,14
	CV, %	7	7	6

Оцінка зональної компоненти показує, що Полісся та Лісостеп загалом сприяють дещо вищим середнім рівням протеїну порівняно зі Степом для більшості сортів, що можна інтерпретувати як наслідок поліпшених гідротермічних умов у північних і центральних зонах: в Поліссі багато сортів

демонструють найвищі значення (наприклад, Нунавік 40,24%), тоді як у Степу ті самі генотипи дають дещо нижчі значення.

Водночас в окремих випадках (зокрема для деяких середньостиглих генотипів) найвищі показники відзначені у Лісостепу, що свідчить про складну структуру взаємодії «генотип-середовище», де реакція конкретного сорту на зональні умови визначається співвідношенням температурного режиму, вологозабезпечення та тривалості фенофаз, критичних для накопичення білка (особливо фазу наливу).

Біологічно зростання частки сирого протеїну в умовах Полісся та Лісостепу можна пояснити більш інтенсивною фотосинтетичною активністю в періоди наливу насіння та кращою функцією бульбочкових бактерій, що забезпечує доступність як неорганічних, так і органічних форм азоту для трансформації в амінокислоти й білки; навпаки, в умовах Степу, за підвищених температур і періодів водного дефіциту, спостерігається зниження фіксації азоту та обмеження транспорту амінокислот у насіння, що зумовлює зниження білковості. Генотипова складова визначає потенціал сорту: генотипи з високою базальною активністю білкового метаболізму (наприклад, Нунавік та Адельфія) проявляють стабільно високі значення в різних зонах, тоді як інші сорти відзначаються високо варіабельною реакцією на середовище.

Визначено, що ранньостигла група в цілому демонструє вищий середній вміст сирого протеїну порівняно із середньостиглою (різниця $\approx 2\%$), що робить ранньостиглі генотипи пріоритетними при селекційній роботі, орієнтованій на підвищення білкового потенціалу.

Виявлено чітко виражені міжсортіві контрасти у межах кожної групи стиглості; отже, селекційні програми повинні враховувати не лише групу стиглості, а й індивідуальний генотиповий потенціал щодо накопичення білка.

Кліматична зона істотно модулює прояв генетичного потенціалу, причому Полісся і Лісостеп сприяють підвищенню протеїнового вмісту

порівняно з умовами Степу; це обґрунтовує рекомендоване зональне розміщення високопротейнових сортів.

Загальні міжгрупові відмінності та статистична характеристика, наведене в таблиці 4.12, демонструють те, що середньостигла група в цілому має дещо вищий або еквівалентний середній **вміст жиру** порівняно з ранньостиглою: умовні середні по середньостиглій групі становлять $\approx 22,0$ % у кожній із зон, тоді як по ранньостиглій – 21,62 % у Степу, 21,43 % у Лісостепу й лише 20,0 % у Поліссі, причому міжзональна мінливість ранньостиглої групи вища (стандартне відхилення 2,73; коефіцієнт варіації ≈ 13 % у Степу) у порівнянні з середньостиглою ($\sigma \approx 1,31$ – $1,55$; $CV \approx 6$ – 7 %). Це вказує на більшу пластичність ранньостиглих генотипів щодо накопичення ліпідів та на те, що середньостиглі сорти демонструють вищу зональну стабільність ознаки.

Аналіз міжсорткових відмінностей у ранньостиглій групі виявляє широкий діапазон значень: найвищі показники у Степу спостерігаються для сортів Перепілочка (25,10 %) та Паллада (24,69 %), тоді як найнижчі – у сорту Нунавік (17,52 %) та Ері (18,03 %), що свідчить про наявність чіткої генотипової поляризації у здатності до ліпогенезу; у Поліссі ті самі генотипи дають суттєво нижчі значення (наприклад, Перепілочка – 20,90 %), що підкреслює інтенсивну взаємодію «генотип-середовище». Середньостиглі сорти характеризуються меншим розмахом варіювання: стабільно високі значення жирності демонструють Акардія (24,49 % у Поліссі; 23,97–24,47 % в інших зонах) і Терсія ($\approx 24,1$ – $24,4$ %), тоді як низькі – Алісія (19,17–21,23 %) і Нептун (19,20–20,87 %). Отже, міжсорткова різниця в межах ранньостиглої групи є статистично і біологічно значущою та перевищує варіабельність, притаманну середньостиглій групі.

Кліматичні зони модулюють прояв групової різниці таким чином, що Полісся з помірнішими температурами та вищим зволоженням сприяє загальній редукції середнього відсотка жиру у ранньостиглій групі (середнє

≈20,0 %), тоді як у Степу й Лісостепу ранньостигла група демонструє вищі середні значення; навпаки, середньостигла група відзначається майже консервативним середнім (≈22 % у всіх зонах), що дозволяє зробити висновок про її більшу адаптивну стабільність у відношенні ліпідного накопичення (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Уміст жирів в зерні сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025, %

Група стиглості	Сорт	Вміст жиру, %		
		Степ	Лісостеп	Полісся
Ранньостиглі	Рапсодія st	24,21	23,11	21,49
	Паллада	24,69	24,87	22,88
	Перепілочка	25,10	23,42	20,90
	Таверна	22,93	23,23	21,80
	Фортеця	24,80	24,22	22,94
	Адельфія	20,02	18,86	18,74
	Адесса	23,27	23,87	21,67
	ЕС ДЕКОР	20,80	20,39	19,41
	РЖТ САКУЗА	18,60	18,63	18,24
	Ері	18,03	19,32	18,87
	Калгарі	19,50	19,13	18,45
	Нунавік	17,52	18,11	18,58
	X	21,62	21,43	20
	SD	2,73	2,45	1,72
	CV, %	13	11	8
Середньостиглі	Титан st	20,75	21,38	20,88
	Інгуз	24,13	22,36	20,87
	Туріас	22,97	21,89	21,78
	Акардія	23,97	24,47	24,49
	Алісія	19,17	19,21	21,23
	Дара	24,03	23,32	22,96
	Терсія	24,40	24,25	24,09
	Нептун	20,30	19,20	20,87
	ЕС ВІЗИТОР	22,14	23,70	24,09
	ЕС КОЛЕКТОР	22,48	22,93	23,40
	ЕС КОМПОЗИТОР	22,13	22,04	21,45
	Віталіна	23,15	22,83	22,55
	Зевс	21,98	22,07	21,42
	Кармеліта	21,70	21,15	20,77
	X	22	22	22
	SD	1,50	1,55	1,31
	CV, %	7	7	6

Така зональна картина є узгодженою з біофізіологічними механізмами: у більш теплих і потенційно стресових умовах (Степ) відбувається скорочення періоду наповнення насіння й підвищення осмопротекторних метаболічних потоків, що може сприяти підвищенню частки жирів у сухій масі, тоді як у вологіших умовах Полісся більший відсоток вуглеводної частки і краще забезпечення нітрогеном сприяють відносному зростанню білкової фракції з відповідним зниженням жирності.

Відомо, що процеси білкового синтезу інтенсивніше залежать від азотного живлення та фотоперіоду, тоді як синтез жирів – від енергетичного статусу клітини (АТФ, НАДФ·Н) та температури. Тому у ранньостиглих сортів, які формують урожай у відносно короткі строки, акумулюється більше білкових речовин, тоді як ліпідна фракція зростає у сортах з тривалішим вегетаційним періодом, особливо за умов теплішого клімату. Ці особливості важливі для адаптивної селекції, оскільки дозволяють прогнозувати якісний склад урожаю залежно від групи стиглості й екологічної зони вирощування.

Аналіз усереднених даних засвідчує, що ранньостиглі сорти у середньому характеризуються вищим вмістом сирого протеїну (36,9–39,9 %) і нижчим умістом жиру (18,0–23,0 %), тоді як середньостиглі мають нижчий рівень протеїну (30,7–38,2 %) і вищу частку жиру (20,1–24,3 %). Цей зворотний зв'язок між білковою і ліпідною фракціями відображає фізіолого-біохімічну компенсацію у процесі дозрівання насіння: за тривалішого періоду наливу (середньостиглі сорти) формується більша кількість асимілянтів, які перетворюються на жирні кислоти, тоді як у короткотривалих ранньостиглих форм переважає акумуляція азотних сполук, зумовлена вищою активністю ферментів амоніфікації та амідного циклу у фазі наливу насіння. Таким чином, тривалість онтогенезу визначає напрям метаболізму – у ранньостиглих генотипів домінує білковий шлях синтезу, тоді як у середньостиглих – ліпідний.

У межах ранньостиглої групи спостерігаються істотні міжсортіві відмінності. Максимальний вміст білка мали сорти Нунавік (39,98 %),

Адельфія (39,34 %), РЖТ Сакуза (39,02 %), Ері (38,87 %) – вони належать до високобілкових генотипів. Натомість сорти Фортеця (33,37 %) і Паллада (33,98 %) мають істотно нижчі показники. Вміст жиру в цій групі коливається в межах від 18,07 % (Нунавік) до 24,15 % (Паллада), (рис. 4.9).

У середньостиглій групі спостерігається ширший діапазон варіювання обох показників, проте з меншою різницею між крайніми сортами. Найвищий уміст білка мали сорти Алісія (38,11 %) та Нептун (38,23 %), тоді як найнижчий – Терсія (30,72 %) та Акардія (31,88 %), (рис. 4.10).

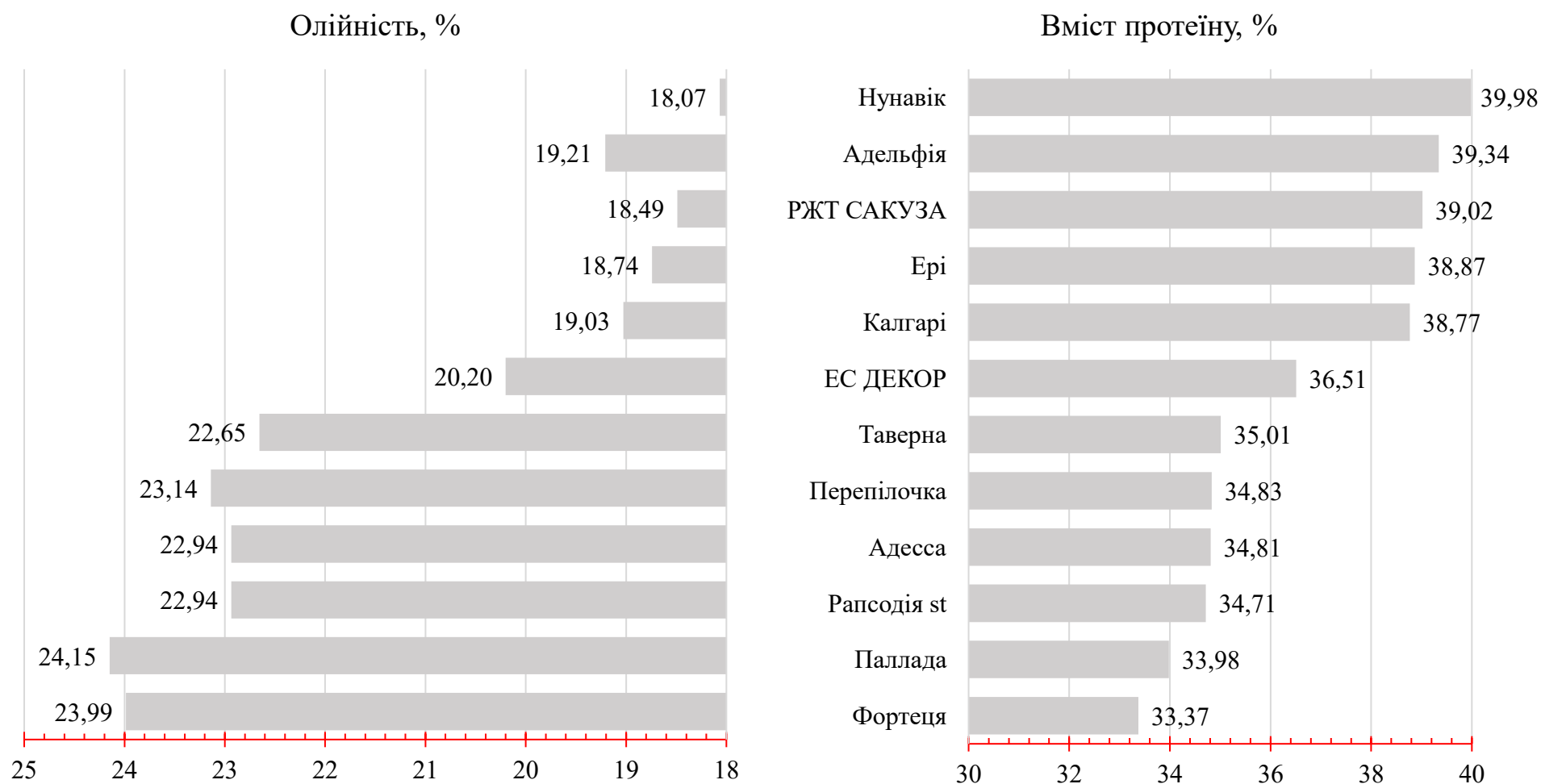


Рисунок 4.9 Олійність і білковість зерна ранньостиглих сортів сої 2023–2025

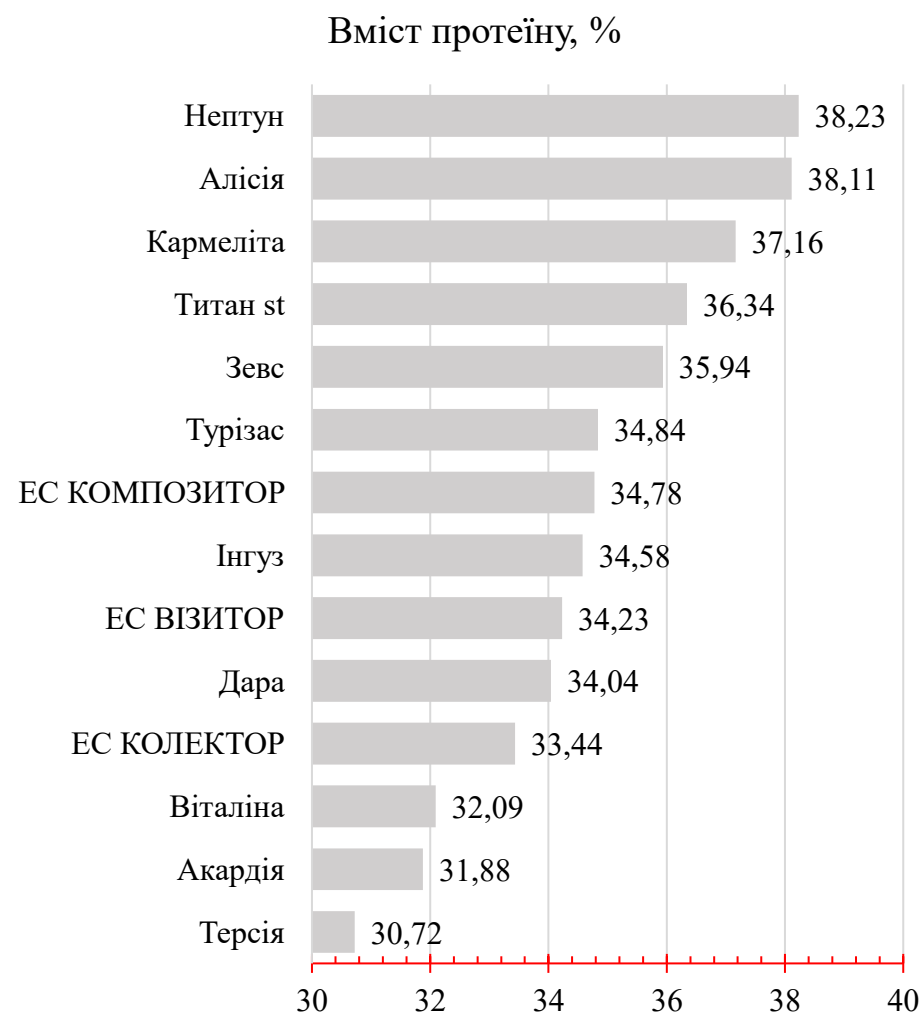
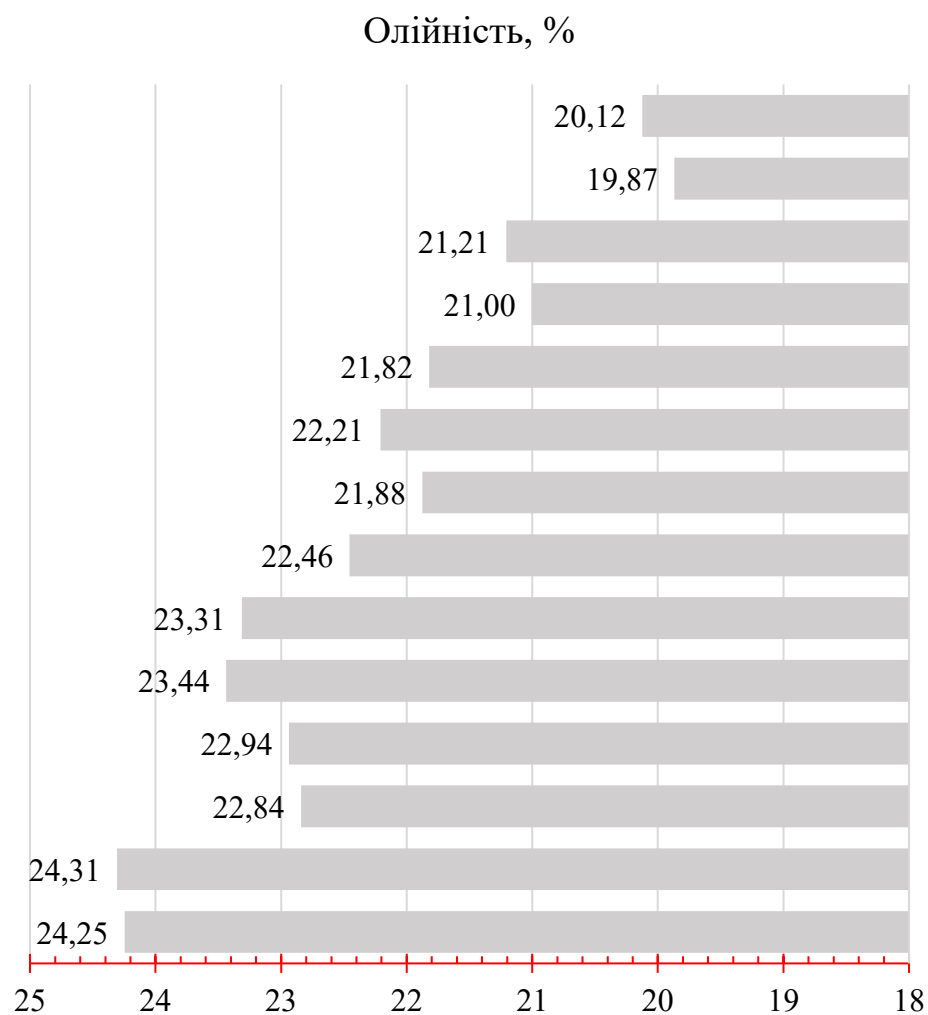


Рисунок 4.10 Олійність і білковість зерна середньостиглих сортів сої, 2023–2025

За вмістом жиру виділяються Терсія (24,25 %) і Акардія (24,31 %), тоді як сорти з високим білком (Алісія, Нептун) характеризуються меншим відсотком жиру (близько 20 %). Це свідчить про генетично обумовлену антикомпенсаторну взаємозалежність, властиву як усередині групи, так і між групами стиглості.

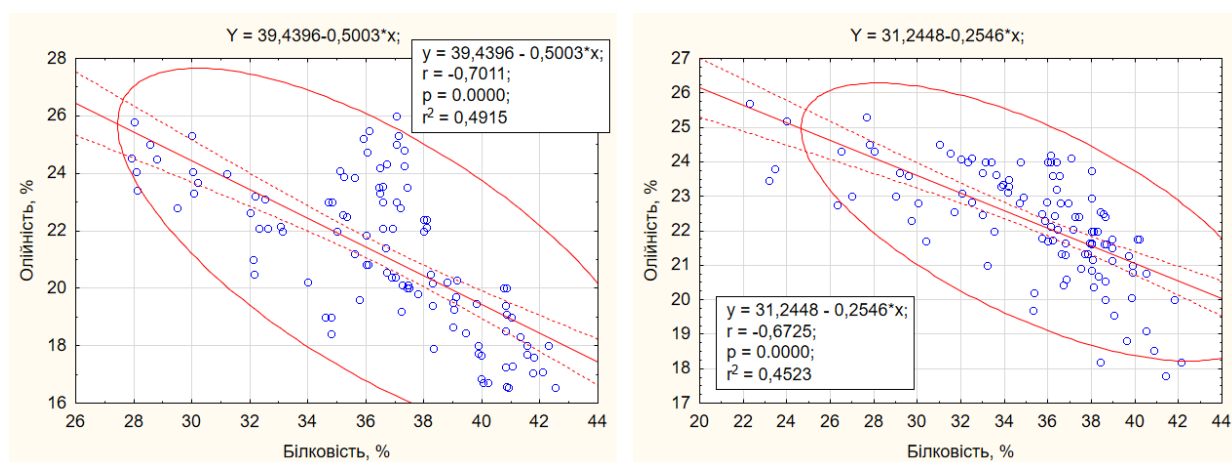
Порівняння середніх показників показує, що у ранньостиглих сортів співвідношення білок : жир становить $\approx 1,7\text{--}1,9$, тоді як у середньостиглих воно знижується до $\approx 1,4\text{--}1,6$, що відображає перерозподіл вуглецевого й азотного метаболізму у процесі наливу насіння.

Вищий вміст жиру у середньостиглих зумовлений довшим періодом фотосинтетичної активності й накопиченням вуглеводів, які перетворюються на ацетил-КоА – попередник ліпідного синтезу. Очевидно у ранньостиглих генотипів переважає інтенсивна фіксація атмосферного азоту бульбочковими бактеріями на ранніх етапах розвитку, що забезпечує більший притік амонійних і нітратних сполук у насіння. У цілому ж закономірність має обернений характер: підвищення тривалості вегетації супроводжується зростанням вмісту жиру та зниженням білка, що є результатом зсуву метаболічних потоків у бік ліпідного обміну.

На підставі графічних моделей залежності (рис. 4.11) між білковістю та олійністю сортів сої різних груп стиглості у кліматичних зонах України за 2023–2025 рр. встановлено стійку зворотну кореляційну залежність між вмістом сирого протеїну та жиру у насінні. Ця закономірність має генетично детермінований характер, проте її сила варіює залежно від групи стиглості, тривалості онтогенезу, а також кліматичних умов вирощування.

Для ранньостиглих сортів сої виявлено високу обернену кореляцію ($r = -0,70$), що свідчить про чітку антагоністичну взаємодію між процесами білкового та ліпідного синтезу. Зі збільшенням частки білка в насінні закономірно знижується вміст жиру, і навпаки. Така закономірність пояснюється конкуренцією за спільні метаболічні попередники – вуглецеві

скелети, амінокислотні радикали та енергетичні ресурси, які використовуються як у білковому, так і в ліпідному обміні.



Ранньостиглі

Середньостиглі

Рисунок 4.11 Графічні моделі залежності між олійністю та білковістю сортів сої різних груп стиглості в різних кліматичних зонах України, 2023–2025

У середньостиглих сортів сила зворотного зв'язку дещо слабша ($r = -0,67$), що пов'язано з довшим вегетаційним періодом, який забезпечує більш збалансований розподіл асимілянтів між білковим і ліпідним шляхами метаболізму. У таких сортів відзначається тенденція до більшої стабільності співвідношення «білок : жир», незалежно від кліматичних відмінностей, що свідчить про кращу адаптивність і пластичність генотипів цієї групи.

Виходячи з отриманих тенденцій, можна прогнозувати, що подальше підвищення температурного фону в Україні внаслідок кліматичних змін сприятиме зсуву білково-жирового балансу в бік підвищення олійності насіння, особливо у південних регіонах, де ймовірність посушливих періодів зростає. Водночас у зонах із помірним кліматом (Полісся, Лісостеп) зберігатимуться умови для формування високобілкових генотипів, здатних підтримувати стабільний рівень протеїнового синтезу. Для селекційної практики це означає необхідність комплексного добору генотипів з оптимальним білково-жировим співвідношенням, орієнтованого на адаптацію

до регіональних умов вирощування. Доцільним є також впровадження балансових моделей селекції, у яких враховується не лише абсолютний рівень білка чи жиру, а й стабільність їх співвідношення у різних кліматичних зонах.

Висновки до розділу 4

1. Аналіз багаторічних даних (2023–2025 рр.) показав, що урожайність ранньостиглих сортів сої в Україні визначається поєднанням генетичного потенціалу й екологічних умов. Найвищу продуктивність забезпечують зони Лісостепу (2,40 т/га) та Полісся (2,25 т/га), тоді як у Степу (1,60 т/га) урожайність обмежується дефіцитом вологи й температурним стресом. Співвідношення $CVG/CVE < 1$ у всіх зонах свідчить про домінування впливу середовища над генетичними чинниками.

2. Середній рівень стабільності ($\sigma^2d = 2,20$) і коефіцієнти пластичності ($b_i = 0,53–0,79$) характеризують досліджувані сорти як помірно варіабельні та середньопластичні. Найвищі показники адаптивності та селекційної цінності мали сорти Таверна, Ері та Калгарі ($Sc = 2,30–2,49$; $КАА = 1,14–1,24$), які поєднують високу врожайність і екологічну стабільність у сприятливих умовах. Перепілочка та Фортеця відзначилися підвищеною стійкістю до абіотичного стресу, що робить їх придатними для Степу.

3. Середньостиглі сорти сої мають вищий потенціал продуктивності порівняно з ранньостиглими, зокрема за масою 1000 зерен (до 195 г) і натурою (до 781 г/л), що свідчить про інтенсивніше нагромадження сухої речовини та кращу технологічну придатність насіння. Частка крупної фракції (>5 мм) у середньостиглих сортів у середньому становила 65,2 %, тоді як у ранньостиглих — 58,7 %. Найсприятливіші умови для формування крупнозерного насіння зафіксовані в зонах Лісостепу та Полісся. Ранньостиглі сорти характеризуються стабільністю фракційного складу та високою вирівняністю насіння (частка дрібної фракції ≤ 3 мм = 0,49 %), що забезпечує їхню адаптивність до стресових умов і стабільну якість урожаю в посушливих

регіонах. Натомість середньостиглі сорти демонструють вищу частку крупного насіння та більшу реактивність до умов середовища, особливо за достатнього зволоження.

4. Аналіз показав, що між групами стиглості сої існує чітка зворотна залежність між вмістом сирого протеїну та жиру. Ранньостиглі сорти відзначаються підвищеним умістом білка (36,9–39,9 %) і нижчою часткою жиру (18,0–23,0 %), тоді як середньостиглі мають нижчий рівень білка (30,7–38,2 %) і вищий уміст жиру (20,1–24,3 %). Це зумовлено тривалістю наливу насіння: короткий період у ранньостиглих форм стимулює білковий метаболізм, а довший – ліпідний. Серед ранньостиглих сортів Нунавік, Адельфія, РЖТ Сакуза та Ері виявилися високобілковими генотипами (≈ 39 % білка), тоді як Фортеця та Паллада мали нижчі показники. У середньостиглій групі найбільший вміст протеїну визначено у сортів Алісія та Нептун, а найменший – у Терсії та Акардії.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОРТОВИХ РЕСУРСІВ СОЇ У РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ

5.1. Економічна ефективність використання сортів сої.

Статистичний аналіз внутрішньої таблиці показує дуже сильну позитивну кореляцію між урожайністю і сумарним чистим прибутком ($r \approx 0,95$) та між урожайністю і рівнем рентабельності ($r \approx 0,91$). Це вказує, що у наданому масиві основним драйвером економічної ефективності є саме урожайність: вартості витрат і цін недостатньо для компенсування втрат у прибутках, якщо урожайність низька.

Отже, підвищення валового врожаю на 0,1 т/га, за інших незмінних умов, статистично пов'язане зі зростанням валової продукції і значним збільшенням маржинального прибутку через пропорційне нарощення обсягу продажу при частково фіксованих питомих витратах.

Залежність «ціна за тону ↔ рентабельність»: у цій вибірці виявляється від'ємна кореляція між номінальною ціною за тону (тис. грн/т) та рівнем рентабельності ($r \approx -0,46$). Це не означає, що висока ціна завжди шкодить рентабельності; радше – сигналізує про системну структуру: сорти, яким присвоєно вищу ціну (часто через якість – фракції, білок/олія), мають вищі собівартість і/або більші змінні витрати на доведення якості, тому маржинальна вигода може бути меншою, ніж у сортів з високою урожайністю та нижчою ціною за тону.

Фракційний склад насіння, виражений у відсотковому вмісті товарних фракцій (>4 мм), прямо корелює із комерційною конверсією партії: більша частка фракції >4 мм підвищує відсоток товарної партії, зменшує втрати при сортуванні і забезпечує можливість отримання премій від переробників за

стабільну однорідну сировину; отже, при однаковій урожайності партії з кращою фракційною структурою матимуть вище чисте виручення на гектар.

Білковість як якісна ознака має прямий мультиплікативний ефект на формування ціни за тонну: оскільки шрот є кінцевим продуктом із ціною, що корелює з вмістом діючого білка, кожне підвищення відсотків білка збільшує кінцеву вартість переробленого продукту й, відповідно, готовність переробників платити премію за сировину з більш високим протеїновим вмістом; у наданому масиві видно різницю білка між сортами (перебіг 33,37–39,98 %), що для переробника означає суттєву відмінність у маржинальності шроту.

Олійність має прямий вплив на ефективність екстракції та собівартість олієвидобутку: додаткові 1–2 процентні пункти олійності значно підвищують вихід олії на тонну сировини і зменшують питомі витрати на одиницю виготовленої олії, що стимулює попит з боку олійних заводів і може виражатися у преміях за високою олійністю партій; у досліджуваних сортах олійність коливається в діапазоні близько 18–24 %, що формує диференціацію комерційної цінності.

Вплив макро- і ринкових факторів з огляду на українську специфіку характеризується одночасно двома протилежними впливами: зі сторони пропозиції – нарощування посівних площ і рекордні врожаї в окремі роки, що створює тиск на ціни при дефіциті зовнішнього попиту; зі сторони логістики та регуляторики – періодичні обмеження експорту, проблеми з доступом до портової інфраструктури та зміни митної політики, через що частина врожаю залишається на внутрішньому ринку або спрямовується на локальну переробку, що змінює баланс попиту/пропозиції і знижує експортні премії. Емпіричні повідомлення вказують на сезонні зниження закупівельних цін в Україні в періоди зростання пропозиції та на тимчасові паралічі експорту при несприятливих регулятивних діях.

Біологічний фактор (урожайність) є провідним детермінантом економічної ефективності на гектар: емпіричні кореляції вказують на

надзвичайно високий позитивний зв'язок між урожайністю та прибутком/рентабельністю, що робить селекційні програми і агрономічні заходи, спрямовані на збільшення біологічного врожаю, пріоритетними для підвищення рентабельності виробництва.

Аналіз вихідної таблиці (табл. 5.1) свідчить, що середня урожайність усіх *ранньостиглих* сортів становить $\approx 2,20$ т/га при середній ціні реалізації $\approx 16,82$ тис. грн/т; середній умовний прибуток по сортах $\approx 14,75$ (од.), а середній рівень рентабельності $\approx 39,4$ %. Розкид урожайності у вибірці варіює від 1,66 т/га (Перепілочка) до 2,72 т/га (Таверна), тоді як ціна за тону демонструє менший діапазон (16,0–18,0 тис. грн/т), що свідчить про більший вклад біологічного фактора (урожайності) у формування валової виручки порівняно з ціновою диференціацією (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Усереднені дані економічної ефективності вирощування ранньостиглих сортів сої (середнє за кліматичними зонами)

Сорт	Урожайність, т/га	Ціна реалізації 1 т, тис грн	Вартість валової продукції, тис грн/га	Витрати на валове виробництво, тис. грн/га	Собівартість 1 т, тис. грн	Умовна сума чистого прибутку, тис. грн/га	Рівень рентабельності, %
Рапсодія st	2,36	16,00	37,71	21,13	0,112	16,57	78,4
Паллада	2,14	16,00	34,21	21,10	0,101	13,11	62,1
Перепілочка	1,66	17,20	28,47	21,34	0,078	7,13	33,4
Таверна	2,72	16,00	43,52	20,67	0,132	22,85	110,5
Фортеця	1,81	17,00	30,69	20,71	0,087	9,97	48,2
Адельфія	2,12	18,00	38,16	23,42	0,091	14,74	63,0
Адесса	2,11	18,00	37,98	23,80	0,089	14,18	59,6
ЕС ДЕКОР	2,13	17,10	36,42	20,79	0,102	15,63	75,2
РЖТ САКУЗА	2,14	16,50	35,23	21,91	0,097	13,32	60,8
Ері	2,63	16,00	42,03	23,58	0,111	18,44	78,2
Калгарі	2,51	16,00	40,21	23,58	0,107	16,63	70,5
Нунавік	2,08	18,00	37,35	22,95	0,090	14,40	62,8

Біологічна урожайність залишається визначальним чинником економічної ефективності.

Високопродуктивні сорти (Таверна, Рапсодія, Ері, ЕС ДЕКОР) формують найбільшу величину прибутку і найвищий рівень рентабельності, що підтверджує прямий позитивний зв'язок між урожайністю та економічним результатом виробництва. Високі показники рентабельності у цих сортів свідчать про їхню економічну доцільність у виробництві, тоді як сорти з рентабельністю нижче 60 % (Фортеця, Адесса, Перепілочка) потребують оптимізації агротехнологій або заміни на більш продуктивні генотипи.

Ціна реалізації 1 т зерна коливалася у межах 16,0–18,0 тис. грн, що свідчить про значний вплив сортової приналежності на ринкову оцінку продукції. Найвищу ціну реалізації (18,0 тис. грн/т) мали сорти Адельфія, Адесса та Нунавік, що може бути зумовлено їхніми покращеними якісними показниками насіння (вищий вміст білка, вирівняність зерна тощо). Натомість сорти Рапсодія st, Таверна, Ері та Калгарі реалізовувалися за нижчою ціною (16,0 тис. грн/т), але компенсували це більшою урожайністю.

Вартість валової продукції варіювала від 28,47 тис. грн/га (Перепілочка) до 43,52 тис. грн/га (Таверна). Найвищий показник отримано у сорту Таверна, що демонструє його високу продуктивність і стабільну економічну віддачу. Також високі значення мають Ері (42,03 тис. грн/га) і Рапсодія st (37,71 тис. грн/га), що свідчить про поєднання задовільної урожайності з прийнятною ціною реалізації.

Витрати на валове виробництво становили 20,67–23,80 тис. грн/га. Найменші витрати були у сорту Таверна (20,67 тис. грн/га), а найбільші – у сорту Адесса (23,80 тис. грн/га). Це свідчить, що навіть за однакової технології вирощування певні сорти потребують більших затрат на вирощування (різна вартість насіння, кратність фунгіцидних обробок залежно від зони).

Собівартість 1 т зерна варіювала в межах 0,078–0,132 тис. грн/т. Найнижчу собівартість мав сорт Перепілочка (0,078 тис. грн/т), що пояснюється меншими витратами на одиницю продукції, проте через низьку

урожайність загальна економічна віддача залишилася невисокою. Найвища собівартість відмічена у сорту Таверна (0,132 тис. грн/т), але цей показник компенсується високим рівнем прибутку завдяки значному врожаю.

Умовна сума чистого прибутку коливалася у широких межах – від 7,13 тис. грн/га (Перепілочка) до 22,85 тис. грн/га (Таверна). Найвищий прибуток забезпечили сорти Таверна (22,85), Ері (18,44) та Рапсодія st (16,57), що свідчить про оптимальне поєднання продуктивності та економічної ефективності.

Рівень рентабельності є інтегральним показником економічної доцільності вирощування сортів і змінювався від 33,4 % (Перепілочка) до 110,5 % (Таверна). Високорентабельними також виявилися Рапсодія st (78,4 %), Ері (78,2 %) та ЕС ДЕКОР (75,2 %). Показники понад 60 % свідчать про стійку прибутковість, навіть за можливих коливань ринкової кон'юнктури.

Отримані результати підтверджують, що сорт є визначальним фактором економічної ефективності вирощування сої. Висока продуктивність сортів Таверна, Ері, Рапсодія st і ЕС ДЕКОР забезпечує значну економічну віддачу навіть за помірної ціни реалізації, що свідчить про їх високу адаптивну здатність та оптимальне співвідношення біологічної та економічної ефективності.

Натомість сорти з підвищеною ціною реалізації, як-от Адельфія, Адесса і Нунавік, демонструють помірний рівень прибутковості, що пояснюється більшою собівартістю виробництва та середньою урожайністю. Це вказує на те, що висока ринкова ціна не завжди гарантує максимальну рентабельність.

Таким чином, економічна ефективність вирощування ранньостиглих сортів сої визначається системним поєднанням урожайності, якісного складу насіння та рівня виробничих витрат.

У сучасних умовах ринку, за наявності коливань світових цін і обмежень експорту, найбільш доцільним напрямом розвитку є вирощування сортів з високою стабільністю урожайності та збалансованим співвідношенням

білковості й олійності, що забезпечує конкурентоспроможність на внутрішньому ринку переробки.

Так, як і у ранньостиглих сортів, ціна реалізації 1 т зерна *середньостиглих* змінювалася у межах 16,0–18,0 тис. грн, що свідчить про певну ринкову стабільність і незначні коливання ціни в межах досліджених сортів. Найвищу реалізаційну вартість (18,0 тис. грн/т) мали сорти Інгуз, Турізас, Дара, Віталіна та Зевс, тоді як найнижчу (16,0 тис. грн/т) – ЕС Візитор та ЕС Колектор. Цей показник зумовлений, імовірно, сортовими особливостями – зокрема, якістю зерна, вмістом білка і товарним виглядом насіння (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Усереднені дані економічної ефективності вирощування ранньостиглих сортів сої (середнє за кліматичними зонами)

Сорт	Урожайність, т/га	Ціна реалізації 1 т, тис. грн	Вартість валової продукції, тис. грн/га	Витрати на валове виробництво, тис. грн/га	Собівартість 1 т, тис. грн	Умовна сума чистого прибутку, грн./га	Рівень рентабельності, %
Титан st	2,03	16,20	32,81	21,03	0,096	11,78	56,0
Інгуз	1,61	18,00	28,94	21,14	0,076	7,80	36,9
Турізас	1,64	18,00	29,54	21,06	0,078	8,48	40,2
Акардія	1,91	17,90	34,27	24,09	0,079	10,18	42,2
Алісія	2,15	17,20	37,04	23,83	0,090	13,21	55,4
Дара	1,64	18,00	29,48	23,98	0,068	5,50	23,0
Терсія	1,88	17,50	32,86	23,84	0,079	9,02	37,8
Нептун	1,71	17,70	30,21	24,02	0,071	6,19	25,8
ЕС ВІЗИТОР	2,12	16,00	33,97	22,60	0,094	11,37	50,3
ЕС КОЛЕКТОР	2,13	16,00	34,03	22,61	0,094	11,41	50,5
ЕС КОМПОЗИТОР	1,79	17,50	31,40	22,72	0,079	8,68	38,2
Віталіна	1,57	18,00	28,32	20,15	0,078	8,17	40,5
Зевс	1,70	18,00	30,52	20,12	0,084	10,40	51,7
Кармеліта	2,08	17,80	36,98	20,59	0,101	16,39	79,6

Вартість валової продукції варіювала від 28,32 тис. грн/га (Віталіна) до 37,04 тис. грн/га (Алісія). Найвищу економічну віддачу демонстрували сорти Алісія (37,04), Кармеліта (36,98) та Акардія (34,27), що свідчить про їх високу

урожайність і конкурентну спроможність. Найнижчі показники валової продукції мають сорти Віталіна, Інгуз та Дара, що пояснюється меншою біологічною продуктивністю.

Витрати на валове виробництво знаходилися в межах 20,12–24,09 тис. грн/га. Найнижчі витрати зафіксовано у сортів Зевс (20,12) та Віталіна (20,15), що пояснюється нижчою вартістю насіння і меншою енергозатратністю технології. Водночас сорти Акардія (24,09), Дара (23,98) та Нептун (24,02) характеризуються підвищеними витратами, що частково нівелює їхню економічну ефективність.

Собівартість 1 т зерна в середньостиглих сортів сої варіювала від 0,068 до 0,101 тис. грн/т. Найменшу собівартість мали сорти Дара (0,068), Нептун (0,071) та Інгуз (0,076), що свідчить про їх економічну доцільність за низьких витрат на одиницю продукції. Водночас сорт Кармеліта (0,101 тис. грн/т) мав найвищу собівартість, проте компенсував це високим прибутком і рівнем рентабельності.

Умовна сума чистого прибутку змінювалася від 5,50 тис. грн/га (Дара) до 16,39 тис. грн/га (Кармеліта). Сорти Кармеліта (16,39), Алісія (13,21) і Титан st (11,78) забезпечили найвищі прибутки, що зумовлено поєднанням високої урожайності, помірних витрат і стабільної ціни реалізації. Найнижчі значення прибутку зафіксовано у сортів Дара (5,50), Нептун (6,19) та Інгуз (7,80), що свідчить про нижчу економічну доцільність їхнього вирощування за існуючих умов.

Рівень рентабельності коливався від 23,0 % (Дара) до 79,6 % (Кармеліта), що відображає значну варіабельність економічного результату між сортами. Високу рентабельність (понад 55 %) забезпечили Кармеліта (79,6 %), Титан st (56 %), Алісія (55,; %) – ці сорти можна вважати найдоцільнішими для вирощування з позицій економічної стійкості.

Отримані дані свідчать, що середньостиглі сорти сої характеризуються більшою стабільністю показників економічної ефективності, ніж ранньостиглі, що пов'язано з їх довшим вегетаційним періодом і потенційно вищою

урожайністю. Високорентабельні сорти (Кармеліта, Алісія, Титан st) поєднують оптимальне співвідношення урожайності та витрат, демонструючи високу окупність ресурсів і стабільну прибутковість.

Водночас сорти з найвищими цінами реалізації (Інгуз, Туріас, Дара) не завжди забезпечують пропорційне зростання прибутковості через знижену урожайність і підвищену собівартість виробництва. Це вказує на те, що економічна ефективність у соєвиробництві визначається не лише ринковою ціною, а й біологічною продуктивністю сорту та енергетичною збалансованістю технології.

Загалом, середньостиглі сорти демонструють вищу стабільність і потенціал прибутковості, що робить їх доцільними для виробництва у зонах із достатнім зволоженням і сприятливими агрофонами, тоді як ранньостиглі – більш ефективні в умовах ризикованого землеробства.

5.2. Енергетична ефективність використання сортових ресурсів сої.

У межах *ранньостиглої* групи сої спостерігається значна варіація енергетичних показників, що свідчить про неоднакову ефективність використання вкладеної енергії різними сортами. Енерговитрати варіювали від 10,8 до 17,8 тис. MJ/га, тоді як вихідна енергія зерна становила від 24,8 до 69,9 тис. MJ/га. Найвищу енергетичну ефективність зафіксовано у сорту Таверна, де коефіцієнт енергоефективності (ER) сягав 3,931, що на 13 % перевищує стандарт Рапсодія (3,465). Це свідчить про максимально раціональне використання енергетичних ресурсів і найвищий чистий енергетичний прибуток у межах групи – понад 52 тис. MJ/га. Деяко нижчими, але все ще високими показниками відзначилися сорти Ері (3,660) та Калгарі (3,624), які перевищили стандарт відповідно на 5,6 % та 4,6 %. У цих сортів поєднання порівняно помірних енерговитрат із високим енергетичним потенціалом зерна

забезпечує найвищий енергетичний вихід серед ранньостиглих генотипів (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Усереднені дані енергетичної ефективності вирощування сортів сої різних груп стиглості (середнє за кліматичними зонами)

Група стиглості	Сорт	Енерговитрати (MJ/га)	Енерговміст зерна, MJ/kg	Вихідна енергія (MJ/га)	Коефіцієнт енергоефективності (ER)	Чистий енергетичний прибуток (NE), MJ/га
Ранньостиглі	Рапсодія st	15408,36	22,79	53395,12	3,465	37987
	Паллада	13980,85	20,72	42710	3,055	28729
	Перепілочка	10820,72	15,92	24800,86	2,292	13980
	Таверна	17783,9	26,66	69912,49	3,931	52129
	Фортеця	11801,45	17,79	31032,52	2,630	19231
	Адельфія	13860,98	20,24	41383,18	2,986	27522
	Адесса	13795,6	20,38	42233,43	3,061	28438
	ЕС ДЕКОР	13926,37	19,96	41345,07	2,969	27419
	РЖТ САКУЗА	13959,06	20,56	43719,54	3,132	29760
	Ері	17173,67	24,97	62849,6	3,660	45676
	Калгарі	16432,68	24,37	59548,56	3,624	43116
	Нунавік	13566,77	20,36	42561,78	3,137	28995
Середньостиглі	Титан st	13243,49	20,60	43236,92	3,265	29993
	Інгуз	10511,97	16,29	26544,26	2,525	16032
	Турізас	10729,91	16,64	27828,59	2,594	17099
	Акардія	12517,02	19,24	38806,83	3,100	26290
	Алісія	14078,92	22,02	49265,44	3,499	35187
	Дара	10708,12	16,79	27931,22	2,608	17223
	Терсія	12277,29	18,52	35669,02	2,905	23392
	Нептун	11159,98	17,60	30674	2,749	19514
	ЕС ВІЗИТОР	13882,78	21,80	47280,69	3,406	33398
	ЕС КОЛЕКТОР	13904,57	21,40	46518,36	3,346	32614
	ЕС КОМПОЗИТОР	11732,44	18,09	33157,65	2,826	21425
	Віталіна	10286,04	15,42	24835,77	2,415	14550
	Зевс	11085,88	17,40	30487,25	2,750	19401
	Кармеліта	13584,93	21,48	46392,37	3,415	32807

Ближчими до стандарту за енергоефективністю були сорти Паллада, Адесса, Адельфія, ЕС Декор і РЖТ Сакуза, у яких коефіцієнт ER коливався у межах 2,97–3,13, тобто на 9–14 % нижче від еталонного показника. Ці сорти

можна охарактеризувати як стабільно ефективні, з достатнім рівнем енергетичного прибутку (27–29 тис. MJ/га), що дозволяє віднести їх до енергетично збалансованих варіантів. Найнижчими ж показниками відзначилися Фортеця (2,63) та Перепілочка (2,29) – їхні коефіцієнти енергоефективності були на 24–34 % нижчими від стандарту, що вказує на зменшення енергетичної віддачі через нижчу продуктивність або підвищені витрати енергії на вирощування. Отже, у межах ранньостиглої групи сформувалася виразна ієрархія: сорти Таверна, Ері та Калгарі – високоефективні; Рапсодія, РЖТ Сакуза, Адесса, Паллада – середноефективні; а Фортеця й Перепілочка – енергетично нераціональні.

У *середньостиглій* групі спостерігається аналогічна тенденція, але з дещо нижчими абсолютними показниками енергоефективності. Енерговитрати становили від 10,2 до 14,1 тис. MJ/га, а вихідна енергія – від 24,8 до 49,3 тис. MJ/га. Серед середньостиглих сортів найбільший коефіцієнт енергоефективності відмічено у сортів Алісія (3,499), Кармеліта (3,415), ЕС Візитор (3,406) і ЕС Колектор (3,346), які за рівнем енергетичної віддачі перевищили стандарт Титан (3,265) на 4–7 %. Їх висока енергетична ефективність свідчить про збалансованість структури врожаю, оптимальне використання фотосинтетичного потенціалу та високий коефіцієнт трансформації сонячної енергії в біохімічну енергію насіння. Дещо нижчі, але стабільні результати зафіксовано у сортів Акардія (3,10), Терсія (2,905) та Нептун (2,749), які забезпечували помірний чистий енергетичний прибуток на рівні 19–26 тис. MJ/га.

Найменшу енергоефективність у цій групі мали сорти Інгуз (2,525), Туріас (2,594), Дара (2,608), Віталіна (2,415) і Зевс (2,750), у яких коефіцієнт ER не перевищував 2,6–2,7. Це вказує на відносно високі енергетичні витрати при меншій продуктивності, що знижує доцільність їх використання у промислових посівах. Таким чином, у межах середньостиглої групи виокремлюються високоефективні сорти Алісія, Кармеліта, ЕС Візитор і ЕС Колектор, які можна розглядати як енергетичні аналоги ранньостиглих

Таверни та Ері, тоді як інші демонструють лише помірну або низьку енергетичну віддачу.

Порівнюючи групи стиглості між собою, можна стверджувати, що ранньостиглі сорти мають вищу енергетичну ефективність у порівнянні із середньостиглими. Середній коефіцієнт енергоефективності у ранньостиглих становив 3,19, що перевищує середньостиглий рівень (3,02) приблизно на 5–6 %, а середній чистий енергетичний прибуток був вищим на 17–20 %. Це пояснюється коротшим вегетаційним періодом ранньостиглих сортів, які потребують менше енергетичних ресурсів для забезпечення врожаю, але при цьому демонструють високий рівень енергетичного виходу завдяки ефективнішому фотосинтетичному апарату та швидшій динаміці накопичення сухої речовини.

Отже, ранньостиглі сорти сої виявилися енергетично вигіднішими, адже забезпечують більший коефіцієнт повернення енергії при менших енерговитратах, тоді як середньостиглі – хоч і потенційно урожайніші за масою, але поступаються за рівнем енергетичної віддачі. Найвищі показники енергетичної ефективності в межах усіх досліджених генотипів зафіксовано у сортів Таверна, Ері, Калгарі (ранньостиглі) та Алісія, Кармеліта й ЕС Візітор (середньостиглі), що свідчить про їх доцільність у використанні для енергозберігаючих технологій вирощування сої в різних кліматичних зонах.

Висновки до розділу 5

1. Проведений статистичний аналіз комплексно підтверджує, що урожайність є головним детермінантом економічної ефективності вирощування сої, оскільки саме вона визначає рівень прибутковості та рентабельності виробництва. Виявлена дуже сильна позитивна кореляція між урожайністю і сумарним чистим прибутком ($r \approx 0,95$) та між урожайністю і рентабельністю ($r \approx 0,91$) свідчить, що навіть незначне підвищення врожайності (на 0,1 т/га) призводить до істотного збільшення валового доходу

за рахунок пропорційного нарощення обсягів реалізації при практично незмінних питомих витратах. Це означає, що економічна ефективність у системі соєвиробництва формується переважно під впливом біологічного фактора, тоді як зміни цін реалізації або структури витрат мають другорядний ефект.

2. Ранньостиглі сорти (Таверна, Ері, Рапсодія st, ЕС Декор, Адесса) показали вищу енергетичну та економічну ефективність, адже за відносно менших енерговитрат забезпечували високий урожай і стабільну рентабельність, що робить їх оптимальними для зон із коротким вегетаційним періодом і ризиком посухи. Зокрема, сорт Таверна забезпечив максимальний прибуток (22,85 тис. грн/га) і найвищий рівень рентабельності (понад 110,5 %), що підтверджує його економічну доцільність у виробничих умовах. Високопродуктивні сорти Адесса та Адельфія також характеризувалися значним економічним ефектом завдяки поєднанню збалансованої урожайності й підвищеної ціни реалізації.

3. Середньостиглі сорти (Кармеліта, Алісія, Титан st, Зевс) продемонстрували більш стабільну прибутковість і помірні коливання рентабельності, що пояснюється їх довшим періодом вегетації, високим потенціалом урожайності та адаптацією до сприятливих агрофонів. Проте їх енергетичний баланс є менш вигідним у порівнянні з ранньостиглими, оскільки потребує більших витрат енергії й ресурсів на одиницю площі.

4. Встановлено, що якісні показники – білковість, олійність і фракційний склад насіння – мають мультиплікативний вплив на економічні результати. Сорти з вищим вмістом білка (до 40 %) отримують додаткову цінову премію, що підвищує їх конкурентоспроможність у переробному секторі. Водночас високий відсоток крупної фракції (>4 мм) забезпечує кращу комерційну конверсію партії, знижуючи втрати при сортуванні. Олійність насіння (18–24 %) також визначає попит із боку олієпереробних підприємств і підвищує потенційний дохід виробника.

5. Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що найвищу економічну доцільність мають сорти Таверна, Ері, Адесса, Адельфія, Кармеліта та Алісія, які поєднують високу врожайність, прийнятну собівартість і стабільну рентабельність (понад 40 %). Їх вирощування забезпечує максимальну окупність витрат, стійкий прибуток і високий рівень енергетичної ефективності.

6. Таким чином, оптимізація сортового складу та підвищення урожайності є найдієвішими шляхами підвищення прибутковості та енергоефективності виробництва сої, особливо в умовах коливань ринкових цін і нестабільної зовнішньої кон'юнктури. Отримані результати свідчать, що ранньостиглі сорти сої демонструють вищу енергетичну ефективність порівняно із середньостиглими завдяки нижчим енерговитратам і швидшому накопиченню продуктивної біомаси. Найвищі коефіцієнти енергоефективності мають сорти Таверна (3,93), Ері (3,66) та Калгарі (3,62), що забезпечують найбільший чистий енергетичний прибуток, тоді як середньостиглі Алісія, Кармеліта й ЕС Візітор відзначаються стабільно високими, але нижчими показниками (3,35–3,50). Отже, енергетичний аналіз підтверджує перевагу скоростиглих сортів у формуванні раціонального енергобалансу, що є критерієм їхньої доцільності для інтенсивних і ресурсозберігаючих технологій вирощування.

ВИСНОВКИ

1. Тривалість вегетаційного періоду сої залежить від групи стиглості та кліматичної зони: ранньостиглі сорти вегетують у середньому 112 діб, середньостиглі — 125. У Степу й Лісостепу вегетація скорочується через спеку й нестачу вологи, тоді як у Поліссі продовжується завдяки кращому зволоженню.
2. Морфологічні показники сортів істотно варіюють за зонами. Найвищі рослини та найрозвиненішу листову поверхню формують у Поліссі. Середньостиглі сорти мають більше вузлів і бобів, що визначає їх вищий потенціал продуктивності.
3. Продуктивність сої зумовлена поєднанням генетики та умов вирощування. Найвищу врожайність забезпечили сорти Таверна, Ері, Калгарі, ЕС Візитор і ЕС Колектор, які перевищили стандарти за масою насіння та кількістю зерен на 11–53 %.
4. Найкращі умови для реалізації потенціалу сої — Лісостеп, де оптимальне поєднання вологи, тепла й родючості ґрунтів забезпечує найвищу продуктивність. У Степу врожайність обмежується посухою, у Поліссі — нестачею тепла.
5. Урожайність ранньостиглих сортів сої в Україні (2023–2025 рр.) визначається взаємодією генетичного потенціалу та умов середовища. Найвища продуктивність спостерігається в Лісостепу (2,40 т/га) і Поліссі (2,25 т/га), найнижча – у Степу (1,60 т/га) через дефіцит вологи та температурний стрес.
6. Середні показники стабільності ($\sigma^2_d = 2,20$) і пластичності ($b_i = 0,53$ – $0,79$) визначають сорти як помірно варіабельні та середньопластичні. Найвищу адаптивність і селекційну цінність демонструють Таверна, Ері та Калгарі ($Sc = 2,30$ – $2,49$; $KAA = 1,14$ – $1,24$), а Перепілочка та Фортеця – підвищену стійкість до абіотичного стресу, придатні для Степу.

7. Середньостиглі сорти мають вищу масу 1000 зерен (до 195 г) та натуру (до 781 г/л), більшу частку крупного насіння ($>4,6$ мм – 65,2 %) і кращу технологічну придатність. Ранньостиглі сорти характеризуються стабільною вирівняністю та низькою часткою дрібної фракції ($\leq 0,8$ %), що забезпечує стабільність врожаю в посушливих умовах.

8. Виявлено зворотну залежність між білком і жиром. Ранньостиглі сорти мають високий вміст білка (36,9–39,9 %) та низький жир (18,0–23,0 %), середньостиглі – нижчий вміст білка (30,7–38,2 %) і вищий жиру (20,1–24,3 %). Це пояснюється тривалістю наливу: коротший у ранньостиглих сприяє білковому метаболізму, довший – накопиченню ліпідів.

9. Урожайність є ключовим чинником економічної ефективності вирощування сої, що підтверджується сильною позитивною кореляцією з прибутком ($r \approx 0,95$) і рентабельністю ($r \approx 0,91$). Саме підвищення врожайності, навіть незначне, забезпечує зростання прибутковості за незмінних витрат.

10. Ранньостиглі сорти (Таверна, Ері, Адесса, Адельфія) виявили найвищу енергетичну та економічну ефективність завдяки меншим енерговитратам і стабільному врожаю, що робить їх оптимальними для посушливих зон і регіонів ризикованого землеробства.

11. Середньостиглі сорти (Кармеліта, Алісія, Титан st, Зевс) демонструють стабільну прибутковість і рентабельність у сприятливих агрокліматичних умовах, хоча поступаються ранньостиглим за енергетичною віддачею.

12. Найбільш економічно доцільними є сорти Таверна, Ері, Адесса, Адельфія, Кармеліта й Алісія, які поєднують високу врожайність, збалансовану собівартість і рентабельність понад 55 %, забезпечуючи максимальну окупність енергетичних та фінансових ресурсів.

13. Отже, головним напрямом підвищення ефективності соєвиробництва є оптимізація сортового складу з урахуванням кліматичної зони та використання високоефективних, скоростиглих сортів для формування стабільного енергетичного й економічного балансу виробництва.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Товаровиробниками різних форм власності рекомендується вирощувати сорти сої:

➤ у Степу ранньостиглої групи: Таверна, Фортеця, Ері та Калгарі, що забезпечать врожайність на рівні 1,65–2,24 т/га; середньостиглої групи: ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР та Кармеліта, що забезпечать врожайність на рівні 1,50–1,68 т/га;

➤ у Лісостепу ранньостиглої групи: Таверна, РЖТ САКУЗА, Ері, Калгарі, що забезпечать врожайність на рівні 2,55–2,80 т/га; середньостиглої групи: Кармеліта, Титан, Акардія, Алісія, ЕС ВІЗИТОР та ЕС КОЛЕКТОР, що забезпечать врожайність на рівні 2,33–2,45 т/га;

➤ у Поліссі ранньостиглої групи: Рапсодія, Таверна, Ері та Калгарі, що забезпечать врожайність на рівні 2,52–2,79 т/га; середньостиглої групи: Алісія, ЕС ВІЗИТОР, ЕС КОЛЕКТОР, Кармеліта та Титан, що забезпечать врожайність на рівні 2,26–2,49 т/га;

Залежно від технологічного напрямку рекомендуються до вирощування сорти:

➤ високобілкові ранньостиглі: Калгарі (38,77 %), Ері (38,87 %), РЖТ САКУЗА (39,02 %), Адельфія (39,34 %), Нунавік (39,98 %); середньостиглі Алісія (38,11 %), Нептун (38,23);

➤ високоолеїнові ранньостиглі: Фортеця (23,99 %), Паллада (24,15 %); середньостиглі Терсія (24,25 %), Акардія (24,31 %).

ДОДАТКИ



Україна Фермерське господарство «РОМ»

ЄДРПОУ 21378470, 20045, Черкаська область, Уманський район, село Велика
Севастьянівка, вул. Польова буд. 1А, електронний адрес – fg_rom@ukr.net

ДОВІДКА

про впровадження результатів наукового дослідження

Результати наукового дослідження Крикуна Сергія Павловича на тему «Реалізація адаптивно-продуктивного потенціалу сортів сої культурної в різних кліматичних зонах України» були розглянуті та впроваджені у виробничу діяльність фермерського господарства ФГ «РОМ».

Зокрема, у господарстві впроваджено науково обґрунтовані підходи до добору сортів сої залежно від ґрунтово-кліматичних умов регіону, що передбачають оцінювання їх адаптивності, продуктивності та стійкості до абіотичних і біотичних чинників. Методика включає формування сортового профілю з урахуванням показників урожайності, тривалості вегетаційного періоду, посухостійкості, холодостійкості та здатності ефективно використовувати ґрунтову вологу і поживні речовини.

У результаті впровадження зазначених підходів у ФГ «РОМ» здійснено оптимізацію структури посівних площ сої з урахуванням агрокліматичного зонування, що дало змогу підвищити стабільність урожайності та зменшити вплив несприятливих погодних умов.

Практична реалізація результатів дослідження сприяла підвищенню ефективності використання ресурсів (насінневого матеріалу, добрив, води), удосконаленню технології вирощування культури, зокрема строків сівби, норм висіву та системи живлення рослин. Отриманий ефект проявився у зростанні врожайності сої, підвищенні якості зерна, зниженні виробничих ризиків і стабілізації економічних показників діяльності господарства.

У цілому впровадження результатів дослідження забезпечило більш повну реалізацію біологічного потенціалу сортів сої, підвищення адаптивності агровиробництва до змін клімату та створило передумови для сталого розвитку ФГ «РОМ» в умовах сучасних викликів аграрного сектору України.

Голова ФГ «РОМ»



Микола Рак

**Економічна ефективність вирощування сортів сої різних груп стиглості
в Степу, 2023–2025**

Група стиглості	Сорт	Урожайність, т/га	Ціна реалізації 1 т, тис грн	Вартість валової продукції, тис грн/га	Витрати на валове виробництво, тис. грн/га	Собівартість 1 т, тис. грн	Умовна сума чистого прибутку, грн./га	Рівень рентабельності, %
Ранньостиглі	Рапсодія st	1,53	16,00	24,48	20,28	0,075	4,20	20,7
	Паллада	1,50	16,00	24,00	20,25	0,074	3,75	18,5
	Перепілочка	1,31	17,20	22,59	20,47	0,064	2,12	10,3
	Таверна	2,24	16,00	35,89	19,83	0,113	16,06	81,0
	Фортеця	1,65	17,00	27,99	19,87	0,083	8,12	40,9
	Адельфія	1,44	18,00	25,86	22,47	0,064	3,39	15,1
	Адесса	1,39	18,00	25,02	22,84	0,061	2,18	9,6
	ЕС ДЕКОР	1,43	17,10	24,40	19,95	0,072	4,45	22,3
	РЖТ САКУЗА	1,48	16,50	24,42	21,02	0,070	3,40	16,2
	Ері	1,95	16,00	31,15	22,63	0,086	8,52	37,6
	Калгарі	1,92	16,00	30,72	22,63	0,085	8,09	35,8
	Нунавік	1,37	18,00	24,72	22,02	0,062	2,70	12,3
Середньостиглі	Титан st	1,49	16,20	24,08	20,18	0,074	3,90	19,3
	Інгуз	1,33	18,00	23,94	20,29	0,066	3,65	18,0
	Туріас	1,32	18,00	23,70	20,21	0,065	3,49	17,3
	Акардія	1,29	17,90	23,15	23,12	0,056	0,03	0,1
	Алісія	1,54	17,20	26,55	22,86	0,068	3,68	16,1
	Дара	1,35	18,00	24,24	23,01	0,059	1,23	5,4
	Терсія	1,45	17,50	25,43	22,87	0,064	2,56	11,2
	Нептун	1,39	17,70	24,60	23,05	0,060	1,55	6,7
	ЕС ВІЗИТОР	1,68	16,00	26,93	21,69	0,078	5,25	24,2
	ЕС КОЛЕКТОР	1,68	16,00	26,93	21,70	0,078	5,24	24,1
	ЕС КОМПОЗИТОР	1,43	17,50	25,08	21,80	0,066	3,28	15,1
	Віталіна	1,23	18,00	22,13	19,34	0,064	2,80	14,5
	Зевс	1,26	18,00	22,68	19,31	0,065	3,37	17,5
	Кармеліта	1,50	17,80	26,70	19,76	0,076	6,94	35,1

**Економічна ефективність вирощування ранньостиглих сортів сої у
Лісостепу, 2023–2025**

Група стиглості	Сорт	Урожайність, т/га	Ціна реалізації 1 т, тис грн	Вартість валової продукції, тис грн/га	Витрати на валове виробництво, тис. грн/га	Собівартість 1 т, тис. грн	Умовна сума чистого прибутку, грн./га	Рівень рентабельності, %
Ранньостиглі	Рапсодія st	2,36	16,00	37,76	20,28	0,116	17,48	86,2
	Паллада	2,34	16,00	37,44	20,25	0,116	17,19	84,9
	Перепілочка	1,66	17,20	28,55	20,47	0,081	8,08	39,5
	Таверна	2,80	16,00	44,80	19,83	0,141	24,97	125,9
	Фортеця	1,91	17,00	32,47	19,87	0,096	12,60	63,4
	Адельфія	2,40	18,00	43,20	22,47	0,107	20,73	92,3
	Адесса	2,36	18,00	42,48	22,84	0,103	19,64	86,0
	ЕС ДЕКОР	2,30	17,10	39,33	19,95	0,115	19,38	97,2
	РЖТ САКУЗА	2,55	16,50	42,08	21,02	0,121	21,06	100,2
	Ері	2,81	16,00	44,96	22,63	0,124	22,33	98,7
	Калгарі	2,74	16,00	43,84	22,63	0,121	21,21	93,7
	Нунавік	2,28	18,00	41,04	22,02	0,104	19,02	86,4
Середньостиглі	Титан st	2,33	16,20	37,69	20,18	0,115	17,51	86,8
	Інгуз	1,70	18,00	30,60	20,29	0,084	10,31	50,8
	Туріас	1,76	18,00	31,74	20,21	0,087	11,53	57,0
	Акардія	2,33	17,90	41,65	23,12	0,101	18,53	80,2
	Алісія	2,43	17,20	41,80	22,86	0,106	18,93	82,8
	Дара	1,76	18,00	31,74	23,01	0,077	8,73	38,0
	Терсія	2,09	17,50	36,63	22,87	0,092	13,76	60,2
	Нептун	1,74	17,70	30,74	23,05	0,075	7,69	33,3
	ЕС ВІЗИТОР	2,33	16,00	37,23	21,69	0,107	15,54	71,6
	ЕС КОЛЕКТОР	2,38	16,00	38,08	21,70	0,110	16,38	75,5
	ЕС КОМПОЗИТОР	2,03	17,50	35,53	21,80	0,093	13,72	63,0
	Віталіна	1,69	18,00	30,36	19,34	0,087	11,02	57,0
	Зевс	1,90	18,00	34,26	19,31	0,099	14,95	77,4
	Кармеліта	2,45	17,80	43,55	19,76	0,124	23,79	120,4

**Економічна ефективність вирощування ранньостиглих сортів сої у
Поліссі, 2023–2025**

Група стиглості	Сорт	Урожайність, т/га	Ціна реалізації 1 т, тис грн	Вартість валової продукції, тис грн/га	Витрати на валове виробництво, тис. грн/га	Собівартість 1 т, тис. грн	Умовна сума чистого прибутку, грн./га	Рівень рентабельності, %
Ранньостиглі	Рапсодія st	2,79	16,00	44,69	22,84	0,122	21,85	95,7
	Паллада	2,15	16,00	34,45	22,81	0,094	11,64	51,0
	Перепілочка	1,66	17,20	28,49	23,07	0,072	5,43	23,5
	Таверна	2,75	16,00	43,95	22,34	0,123	21,60	96,7
	Фортеця	1,65	17,00	28,05	22,39	0,074	5,66	25,3
	Адельфія	2,07	18,00	37,20	25,31	0,082	11,89	47,0
	Адесса	2,20	18,00	39,54	25,73	0,085	13,81	53,7
	ЕС ДЕКОР	2,26	17,10	38,59	22,47	0,100	16,12	71,7
	РЖТ САКУЗА	2,07	16,50	34,10	23,68	0,087	10,42	44,0
	Ері	2,63	16,00	42,03	25,49	0,103	16,53	64,9
	Калгарі	2,52	16,00	40,37	25,49	0,099	14,88	58,4
	Нунавік	2,32	18,00	41,76	24,80	0,094	16,96	68,4
Середньостиглі	Титан st	2,26	16,20	36,67	22,74	0,100	13,93	61,3
	Інгуз	1,79	18,00	32,28	22,85	0,078	9,43	41,2
	Турізас	1,84	18,00	33,18	22,77	0,081	10,41	45,7
	Акардія	2,12	17,60	37,37	26,04	0,082	11,33	43,5
	Алісія	2,49	17,20	42,77	25,76	0,097	17,01	66,0
	Дара	1,80	18,00	32,46	25,92	0,070	6,54	25,2
	Терсія	2,09	17,50	36,52	25,77	0,081	10,75	41,7
	Нептун	1,99	17,70	35,29	25,97	0,077	9,32	35,9
	ЕС ВІЗИТОР	2,36	16,00	37,76	24,43	0,097	13,33	54,5
	ЕС КОЛЕКТОР	2,32	16,00	37,07	24,44	0,095	12,62	51,6
	ЕС КОМПОЗИТОР	1,92	17,50	33,60	24,56	0,078	9,04	36,8
	Віталіна	1,80	18,00	32,46	21,78	0,083	10,68	49,0
	Зевс	1,92	18,00	34,62	21,75	0,088	12,87	59,2
	Кармеліта	2,29	17,80	40,70	22,26	0,103	18,44	82,9

**Енергетична ефективність вирощування сортів сої різних груп стиглості
в Степу, 2023–2025**

Група стиглості	Сорт	Енерговитрати (МД/га)	Енерговміст зерна, МД/кг	Вихідна енергія (МД/га)	Коефіцієнт енергоефективності (ЕР)	Чистий енергетичний прибуток (NE),
Ранньостиглі	Рапсодія st	15100,19	16,00	24483,66	1,621	9383
	Паллада	13701,23	15,77	23659,17	1,727	9958
	Перепілочка	10604,31	13,86	18196,73	1,716	7592
	Таверна	17428,23	22,93	51429,11	2,951	34001
	Фортеця	11565,42	17,19	28312,91	2,448	16747
	Адельфія	13583,76	15,15	21765,56	1,602	8182
	Адесса	13519,69	14,40	20010,66	1,480	6491
	ЕС ДЕКОР	13647,84	14,60	20827,23	1,526	7179
	РЖТ САКУЗА	13679,88	15,01	22209,98	1,624	8530
	Ері	16830,2	19,76	38462,55	2,285	21632
	Калгарі	16104,02	19,71	37838,27	2,350	21734
	Нунавік	13295,43	13,80	18948,71	1,425	5653
Середньостиглі	Титан st	12978,62	15,06	22396	1,726	9417
	Інгуз	10301,73	13,75	18286,53	1,775	7985
	Туріас	10515,31	13,46	17723,71	1,686	7208
	Акардія	12266,68	13,18	17043,18	1,389	4776
	Алісія	13797,35	15,95	24619,63	1,784	10822
	Дара	10493,96	13,83	18629,57	1,775	8136
	Терсія	12031,74	14,29	20774,37	1,727	8743
	Нептун	10936,78	14,29	19866,14	1,816	8929
	ЕС ВІЗИТОР	13605,12	17,23	29005,27	2,132	15400
	ЕС КОЛЕКТОР	13626,48	16,88	28411,81	2,085	14785
	ЕС КОМПОЗИТОР	11497,79	14,39	20630,28	1,794	9132
	Віталіна	10080,32	12,16	14950,86	1,483	4871
	Зевс	10864,16	12,87	16212,26	1,492	5348
	Кармеліта	13313,23	15,61	23412,56	1,759	10099

**Енергетична ефективність вирощування ранньостиглих сортів сої у
Лісостепу, 2023–2025**

Група стиглості	Сорт	Енерговитрати (МД/га)	Енерговміст зерна, МД/кг	Вихідна енергія (МД/га)	Коефіцієнт енергоєфектив ності (ЕР)	Чистий енергетичний прибуток (NE),
Ранньостиглі	Рапсодія st	15177,23	24,39	57567,33	3,793	42390
	Паллада	13771,14	24,51	57349,64	4,164	43579
	Перепілочка	10658,41	17,27	28661,04	2,689	18003
	Таверна	17517,15	29,23	81847,35	4,672	64330
	Фортеця	11624,43	19,59	37414,02	3,219	25790
	Адельфія	13653,07	24,58	58994,81	4,321	45342
	Адесса	13588,67	24,63	58116,32	4,277	44528
	ЕС ДЕКОР	13717,47	23,15	53253,54	3,882	39536
	РЖТ САКУЗА	13749,67	25,79	65771,04	4,783	52021
	Ері	16916,07	28,54	80184,62	4,740	63269
	Калгарі	16186,19	27,93	76533,81	4,728	60348
	Нунавік	13363,26	23,28	53070,85	3,971	39708
Середньостиглі	Титан st	13044,84	24,11	56087,48	4,300	43043
	Інгуз	10354,29	17,56	29855,34	2,883	19501
	Туріас	10568,96	18,05	31828,53	3,012	21260
	Акардія	12329,27	23,66	55057,66	4,466	42728
	Алісія	13867,74	24,89	60491,73	4,362	46624
	Дара	10547,5	18,30	32265,38	3,059	21718
	Терсія	12093,13	20,86	43657,54	3,610	31564
	Нептун	10992,58	17,96	31193,74	2,838	20201
	ЕС ВІЗИТОР	13674,54	24,25	56418,04	4,126	42744
	ЕС КОЛЕКТОР	13696	24,28	57779,28	4,219	44083
	ЕС КОМПОЗИТОР	11556,45	20,80	42217,38	3,653	30661
	Віталіна	10131,75	16,70	28174,87	2,781	18043
	Зевс	10919,59	19,85	37782,35	3,460	26863
	Кармеліта	13381,15	25,68	62821,91	4,695	49441

**Енергетична ефективність вирощування ранньостиглих сортів сої у
Поліссі, 2023–2025**

Група стиглості	Сорт	Енерговитрати (МД/га)	Енерговміст зерна, МД/кг	Вихідна енергія (МД/га)	Коефіцієнт енергоєфектив ності (ЕР)	Чистий енергетичний прибуток (NE),
Ранньостиглі	Рапсодія st	15716,53	27,97	78134,37	4,971	62418
	Паллада	14260,47	21,88	47121,19	3,304	32861
	Перепілочка	11037,14	16,63	27544,83	2,496	16508
	Таверна	18139,58	27,84	76461	4,215	58321
	Фортеця	12037,48	16,59	27370,63	2,274	15333
	Адельфія	14138,2	20,99	43389,17	3,069	29251
	Адесса	14071,51	22,11	48573,3	3,452	34502
	ЕС ДЕКОР	14204,89	22,14	49954,46	3,517	35750
	РЖТ САКУЗА	14238,24	20,89	43177,61	3,033	28939
	Ері	17517,15	26,61	69901,62	3,990	52384
	Калгарі	16761,33	25,47	64273,61	3,835	47512
	Нунавік	13838,1	23,99	55665,79	4,023	41828
Середньостиглі	Титан st	13508,36	22,63	51227,29	3,792	37719
	Інгуз	10722,21	17,56	31490,91	2,937	20769
	Туріас	10944,51	18,41	33933,52	3,101	22989
	Акардія	12767,36	20,87	44319,65	3,471	31552
	Алісія	14360,5	25,21	62684,95	4,365	48324
	Дара	10922,28	18,24	32898,72	3,012	21976
	Терсія	12522,83	20,40	42575,15	3,400	30052
	Нептун	11383,18	20,54	40962,12	3,598	29579
	ЕС ВІЗИТОР	14160,43	23,91	56418,75	3,984	42258
	ЕС КОЛЕКТОР	14182,66	23,03	53363,99	3,763	39181
	ЕС КОМПОЗИТОР	11967,09	19,08	36625,29	3,061	24658
	Віталіна	10491,76	17,40	31381,59	2,991	20890
	Зевс	11307,6	19,48	37467,13	3,313	26160
	Кармеліта	13856,63	23,15	52942,65	3,821	39086

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України

1. Крикун С. П.. Моніторинг виробництва *Glucine max* (L.) Merr. в світі. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*, 2024. Вип. 105. Ч. 1: Сільськогосподарські науки. С. 126–137. DOI: [10.32782/2415-8240-2024-105-1-126-137](https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-105-1-126-137).
2. Кравченко В. С., Крикун С. П. Біологічно адаптивний потенціал ранньостиглих сортів сої культурної української та зарубіжної селекції у різних кліматичних зонах України. *Таврійський науковий вісник* 2025. № 142. Частина 1. 144–151. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.18>. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).
3. Кравченко В. С., Крикун С. П. Екологічне випробування середньостиглих сортів сої культурної в контрастних умовах довкілля. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Випуск 2 (47). Сільськогосподарські науки. 86–92. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.11>. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).
4. Кравченко В. С., Крикун С. П. Індивідуальна продуктивність сортів сої культурної різних груп стиглості. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*, 2025. Вип. 106. Ч. 1: Сільськогосподарські науки. С. 217–226. <https://doi.org/10.32782/2415-8240->

[2025-106-1-217-226](#). (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Кравченко В. С., Крикун С. П. Біологічно адаптивний потенціал ранньостиглих сортів сої в різних кліматичних зонах України. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів. МІП ім. В.М. Ремелса. 2025. С. 60–61. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

5. Кравченко В. С., Крикун С. П. Екологічне випробування середньостиглих сортів сої у різних кліматичних зонах України. Матеріали Міжнародн. науковій інтернет-конференції «Олійні культури: сьогодення та перспективи». Інститут олійних культур НААН, 2025. с. 86–87. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

6. Крикун С. П. Кліматичні чинники як детермінанти врожайності сортів сої в зональному розрізі України. *Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів*: збірник тез міжнародної інтернет-конференції, 17 червня 2025 р. / М-во освіти і науки, Уманський НУ. С. 136 – 137. (Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична

обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).

Крикун С. Комплексна оцінка сортів сої культурної за умовами трьох агрокліматичних зон України. *Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових досліджень у виробництво: зб. матеріалів наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 16-17 жовтня 2025 р.).* Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 21–23. *(Особистий внесок Крикуна С.П.: аналіз літературних джерел, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, статистична обробка отриманих даних, обґрунтування висновків; внесок співавтора: загальне керівництво дослідженням, аналіз літературних джерел).*