

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

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ВИШИНСЬКИЙ АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 635.658:631.6:631.53:631.559(477.4)

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЧЕВИЦІ НА
НАСІННЯ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

201 Агронімія

20 Аграрні науки і продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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


А.В. Вишинський

Науковий керівник:

Кононенко Лідія Михайлівна,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

УМАНЬ 2026 р.

ЗМІСТ

Анотація	4
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	16
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1 АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗБЕРЕЖЕННЯ	24
ПОСІВНИХ ЯКОСТЕЙ НАСІННЯ СОЧЕВИЦІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)	
1.1. Біологічні особливості сочевиці та їх значення у сучасному рослинництві	24
1.2. Вплив тривалості та умов зберігання на життєздатність насіння бобових культур	30
1.3. Показники та методи оцінки посівного потенціалу насіння при довготривалому зберіганні	38
Висновки до розділу 1	42
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
2.1. Ґрунтово - кліматичні умови у дослідженнях	44
2.2. Характеристика об'єктів дослідження	49
2.3. Схеми експериментів і методики визначення фізичних, фізіологічних і біохімічних показників якості насіння	50
<i>Висновки до розділу 2</i>	54
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ ПОСІВНИХ ЯКОСТЕЙ НАСІННЯ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД МОРФОТИПУ ТА ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ	56
3.1. Динаміка фізико-хімічних показників насіння залежно від тривалості зберігання і фракційного складу	56
3.2. Зміни енергії проростання і схожості залежно від морфологічних фракцій насіння	67

	3
3.3. Вплив тривалості зберігання на морфометричні показники проростків сочевиці	73
3.4. Біохімічні маркери життєздатності насіння за тривалої експозиції	81
3.5. Комплексна оцінка посівного потенціалу насіння сочевиці за поєднання факторів морфотипу та фракції.	86
<i>Висновки до розділу 3</i>	91
РОЗДІЛ 4 РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ФАКТОРІВ ВПЛИВУ	93
4.1. Якісні показники насіння у польових умовах залежно від морфотипу, тривалості зберігання та фракційного складу	93
4.2. Особливості росту та розвитку рослин сочевиці у польових умовах залежно від якості посівного матеріалу	102
4.3. Продуктивність сочевиці у дослідах	109
4.4. Технологічні та морфологічні властивості насіння сочевиці	116
<i>Висновки до розділу 4</i>	121
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЯКОСТІ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ	122
5.1. Розрахунок вартості посівної придатності насіння залежно від його кондиційності	122
5.2. Порівняльна ефективність та окупність витрат при сівбі сочевиці насінням різних морфологічних фракцій та термінів експозиції	127
<i>Висновки до розділу 5</i>	135
ВИСНОВКИ	137
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	141
ДОДАТКИ	161

АНОТАЦІЯ

ВИШИНСЬКИЙ А. В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЧЕВИЦІ НА НАСІННЯ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ.

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агрономія (20 Аграрні науки і продовольство) – Уманський національний університет, м. Умань, 2026.

На даний час актуальною є проблема створення ефективних технологій вирощування зернобобових культур, зокрема сочевиці харчової, як одного з найбільш перспективних джерел рослинного білка. Пріоритетним, на нашу думку, є підвищення ефективності виробництва насіння за рахунок оптимізації параметрів передпосівної підготовки та використання насінневого матеріалу з високими морфофізіологічними показниками. Це дасть змогу отримати максимальну продуктивність рослин при мінімальних затратах на вирощування та більш раціонально використати земельні угіддя. В науковій літературі не досить широко розкрито питання диференційованого використання різних фракцій насіння сочевиці залежно від морфотипу та тривалості його зберігання. Тому було визначено доцільність детального дослідження питання впливу термінів експозиції та фракційного складу насіння на біохімічні показники, енергію проростання та врожайність агрофітоценозів сочевиці.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше, в умовах Лісостепу України, проведено системний моніторинг деградації посівного потенціалу сочевиці упродовж тривалого терміну зберігання різних морфотипів. Встановлено, що швидкість втрати життєздатності насіння є морфотипово детермінованою: зеленозерні сорти виявляють вищу стабільність ферментних систем порівняно з червонозерними.

Доведено, що калібрування насіння з виділенням великої фракції (>5,0 мм) є ефективним компенсаторним механізмом, що дозволяє нівелювати негативний вплив фізіологічного старіння на ранніх етапах онтогенезу. Виявлено критичні

межі часової експозиції насінневих фондів, за якими наступає незворотна редукція врожайності.

Удосконалено технологію вирощування сочевиці завдяки оптимізації елементів вирощування, що позначилось на продуктивності культури.

Набули подальшого розвитку питання взаємозв'язку між крупністю висіяного насіння та технологічними якостями (вирівняністю, виходом ядра) майбутнього врожаю.

Удосконалено технологію вирощування сочевиці на насіння завдяки оптимізації параметрів передпосівної підготовки (виділення великих фракцій), що позитивно позначилось на продуктивність. Набули подальшого розвитку питання вивчення особливостей ростових процесів рослин сочевиці, методичні підходи до визначення біоенергетичної та економічної ефективності використання насіння різних фракцій та термінів зберігання.

Основні результати досліджень. У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та практичне вирішення наукового завдання щодо удосконалення технології вирощування сочевиці в умовах Правобережного Лісостепу.

Встановлено, що динаміка фізико-хімічних показників насіння залежно від тривалості зберігання і фракційного складу підпорядковується закономірностям фізіологічного старіння. Найвищі значення натуре формувало насіння великої фракції (>5,0 мм), що зумовлено високим коефіцієнтом виповненості ендосперму. У свіжозібраному стані натура зеленозерного морфотипу становила 825 г/л, тоді як червонозерного - 812 г/л, що на 1,6% нижче.

Математично доведено, що протягом першого року зберігання відбувається «пік щільності» (ріст на 2–3 г/л) за рахунок стабілізації вологості. Починаючи з третього року, зафіксовано регресію показника: на п'ятий рік натура знизилася до 793 г/л у червонозерного та 803 г/л у зеленозерного морфотипу. Маса 1000 насінин за 5 років експозиції втратила 4,5–5,2% своєї початкової величини. Для великої фракції зеленозерного морфотипу цей показник знизився з 77,5 г до 73,8 г, що підтверджує інтенсивність дихальних

процесів. Дрібна фракція (3,0–4,0 мм) характеризувалася найнижчими значеннями щільності упродовж усього періоду.

Втрати сухої речовини у дрібної фракції були на 12% інтенсивнішими, ніж у великої. Кількість насіння з мікро- та макротріщинами оболонки на п'ятий рік зросла в середньому у 8,5 раза. У червонозерного морфотипу частка травмованого насіння на 5-й рік сягала 27,3%, що на 3,4% вище, ніж у зеленозерного. Дисперсійний аналіз підтвердив, що 72% варіабельності природи зумовлено терміном зберігання.

Досліджено, що зміни енергії проростання і схожості залежно від морфологічних фракцій насіння мають чітку математичну залежність. Енергія проростання свіжозібраного насіння зеленозерного морфотипу сягала 97%, що на 5,4% вище за червонозерний. Велика фракція (>5,0 мм) за цим показником стабільно домінувала над дрібною з амплітудою 11–13%. На п'ятий рік зберігання енергія проростання критично знизилася до 65,0–79,0% залежно від варіанта. Лабораторна схожість насіння великої фракції зеленозерної сочевиці на п'ятий рік становила 86%. Водночас дрібна фракція червонозерного морфотипу впала до 74%, що нижче за поріг кондиційності. Дисперсійний аналіз підтвердив, що частка впливу фактора «фракція» на схожість становить 22%. Розрахований індекс деградації схожості для дрібних фракцій перевищував показник великих на 14,5%. Математична модель прогнозує втрату 50% схожості (Т50) для великої фракції через 42 місяці. Для дрібної фракції цей період скорочується до 30 місяців. Коефіцієнт варіації схожості між морфотипами на 5-й рік зріс до 18,4%.

Дослідження вказали, що вплив тривалості зберігання на морфометричні показники проростків сочевиці проявляється через пригнічення мітотичної активності клітин. Довжина кореня свіжозібраного насіння великої фракції становила 62 мм у зеленозерного морфотипу. На п'ятий рік зберігання цей показник скоротився до 34–38 мм, що становить 41,4% регресії. Довжина гіпокотилля дрібної червонозерної сочевиці на п'ятий рік становила лише 14 мм. Це у 2,6 раза менше за показник свіжозібраного контролю. Виявлено пряму кореляцію ($r=+0,92$) між масою насінини та сумарною довжиною проростка на 7-му добу. Показник $HP_{0,05}$ за фактором зберігання для довжини гіпокотилля

склав 2,1 мм. Вага сирової маси проростків великої фракції була на 34% вищою, ніж у дрібної. Сумарна біомаса 100 проростків зеленозерного морфотипу була на 15,2% більшою, ніж червонозерного. Зниження сили росту кореня відбувалося швидше, ніж гіпокотилія. Математичний індекс стійкості проростків до стресу у зеленозерного морфотипу був вищим на 0,12 одиниць.

З'ясовано, що біохімічні маркери життєздатності насіння за тривалої експозиції вказують на деструкцію білкового матриксу. Вміст білка у великій зеленозерній сочевиці (27,1%) статистично достовірно перевищує показник червонозерної (25,8%). За 5 років зберігання концентрація білка знизилася в середньому на 9,4% від вихідного рівня.

Кислотне число жиру (КЧЖ) зросло з 1,15 до 3,42 мг КОН/г у червонозерного морфотипу. Розрахунки показали, що поріг токсичності продуктів окислення ліпідів настає після 36 місяців. Найціннішою варіацією є велика зеленозерна фракція, яка зберегла 82% антиоксидантного потенціалу.

Вміст редукованих цукрів у насінні на 5-й рік знизився на 31,8%. Коефіцієнт біохімічної стабільності у великої фракції був на 18% вищим, ніж у дрібної. Активність ферментів дегідрогеназ на 5-й рік впала у 2,1 раза. Зеленозерний морфотип продемонстрував меншу швидкість накопичення перекисів. Біохімічний склад великої фракції забезпечує довший період автономного живлення зародка.

Проаналізовано комплексну оцінку посівного потенціалу насіння сочевиці за поєднання факторів морфотипу та фракції. Життєздатність насіння знижувалася в середньому на 36% за 5 років досліджень. Свіжозібране червонозерне насіння (>5 мм) прийняте за 100% життєздатності, через 5 років — лише 60%. Зеленозерний морфотип (>5 мм) продемонстрував вищу стабільність: зі 100% до 70%. Коефіцієнт сили росту зменшувався лінійно: з 2760 до 1850 од. у червонозерної великої фракції. У зеленозерної великої фракції цей показник впав з 2880 до 1960 од. Математичне моделювання вказує, що кожні 12 місяців зберігання забирають у насіння 8,2% життєвої енергії.

Встановлено, що критична межа життєздатності для сівби настає при падінні коефіцієнта сили росту нижче 2000 од. Велика фракція зеленозерного морфотипу є єдиним варіантом, що тримає цей показник понад 4 роки.

Якісні показники насіння у польових умовах залежно від факторів досліджу підтвердили лабораторні дані. Польова схожість свіжого великого насіння сягала 96% у зеленозерного морфотипу. На 5-й рік зберігання цей показник у дрібної червонозерної фракції впав до 48–50%. Це означає втрату майже половини посівного матеріалу ще до моменту появи сходів. Вживаність рослин за вегетацію на варіантах із старим насінням знизилася на 28%. Густота стояння рослин перед збиранням зменшилася на 24,1% порівняно з контролем. Встановлено, що 1% зниження лабораторної схожості спричиняє 1,4% зниження польової. Велика фракція забезпечує на 12–15% густіші посіви за однакової норми висіву.

Особливості росту та розвитку рослин сочевиці у польових умовах вказують на затримку темпів органогенезу. Період «сівба–сходи» подовжувався з 5 до 9 діб при використанні 5-річного насіння. Висота рослин у фазі бутонізації знизилася в середньому на 9,9 см. Площа листової поверхні при сівбі свіжим насінням становила 16,4–18,2 тис. м²/га. Використання старого насіння спричиняє редукцію асиміляційного апарату на 42–48%. Фотосинтетичний потенціал посівів при цьому падає на 35,4%. Коефіцієнт продуктивної куцистості був вищим у великій фракції на 0,3 одиниці. Зеленозерний морфотип формував на 14% більше бобів на одній рослині. Рослини зі старого насіння мали слабшу кореневу систему, що знижувало їх посухостійкість.

Продуктивність сочевиці у досліджах була максимальною при поєднанні великої фракції та свіжої експозиції. Зеленозерний морфотип (1-й рік зберігання) забезпечив врожайність на рівні 2,84 т/га. Червонозерний морфотип за аналогічних умов сформував 2,56 т/га. Сівба 5-річним насінням призвела до падіння врожайності до 0,92–1,14 т/га. Втрата врожаю у 60–65% є результатом кумулятивного ефекту низької схожості та слабого росту. Встановлено пряму кореляцію ($r=+0,88$) між крупністю висіяного насіння та масою 1000 насінин

врожаю. Математично розрахований коефіцієнт регресії врожайності від терміну зберігання складає $-0,38$ т/га на рік.

Технологічні та морфологічні властивості насіння вказують на кращу придатність великих фракцій до переробки. Використання великої фракції забезпечує підвищення виходу цілого ядра на $2,4\text{--}3,1\%$. Коефіцієнт розварюваності насіння зеленозерного морфотипу був вищим на 8% . Тривале зберігання призводить до ущільнення оболонки, що подовжує час варіння на 15 хвилин. Колірна стабільність зеленозерного насіння погіршується після 3 -го року (ефект потемніння). Червонозерний морфотип менш чутливий до зміни кольору під час зберігання.

Найвищий умовно чистий прибуток забезпечує використання насіння $1\text{--}2$ років зберігання великої фракції. При сівбі насінням після 3 -го року зберігання собівартість 1 тонни зерна зростає у $2,2$ рази. Це зумовлено необхідністю збільшення норми висіву на 40% для компенсації низької схожості.

Енергетичний коефіцієнт ефективності (K_{ee}) при сівбі свіжим великим насінням є максимальним (понад $3,5$). При використанні 5 -річного насіння витрати енергії на одиницю продукції зростають на 52% . Рівень рентабельності зеленозерного морфотипу (велика фракція) на 14% вищий за червонозерний. Висновки підкреслюють збитковість використання насіння сочевиці після 36 місяців зберігання. Оптимальна стратегія — використання великої фракції морфотипів зі страховим фондом не більше 2 років.

Ключові слова: сочевиця харчова; морфотипи; фракція насіння; тривалість зберігання; енергія проростання; кислотне число жиру; врожайність; економічна ефективність.

Summary

VYSHYNSKYI A. V. IMPROVEMENT OF LENTIL CULTIVATION TECHNOLOGY FOR SEED PRODUCTION IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript. The dissertation on competition of a degree of the doctor of philosophy on a specialty 201 Agronomy (20 Agrarian sciences and food). - Uman National University, Uman, 2026.

Currently, the problem of creating effective technologies for growing leguminous crops, in particular food lentils, as one of the most promising sources of plant protein, is highly relevant. In our opinion, the priority is to increase the efficiency of seed production by optimizing the parameters of pre-sowing preparation and using seed material with high morphophysiological indicators. This will allow for maximum plant productivity with minimum cultivation costs and more rational use of land resources. Scientific literature does not sufficiently cover the issue of differentiated use of various lentil seed fractions depending on the morphotype and storage duration. Therefore, the feasibility of a detailed study on the influence of exposure terms and seed fractional composition on biochemical parameters, germination energy, and yield of lentil agrophytocenoses was determined.

Scientific novelty of the obtained results lies in the fact that, for the first time in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine, systematic monitoring of the degradation of lentil sowing potential during long-term storage of different morphotypes was conducted. It was established that the rate of seed viability loss is morphotypically determined: green-seeded morphotypes exhibit higher stability of enzyme systems compared to red-seeded ones. It was proved that seed calibration with the isolation of a large fraction (>5.0 mm) is an effective compensatory mechanism that allows leveling the negative impact of physiological aging in the early stages of ontogeny. Critical limits of time exposure for seed stocks were identified, beyond which an irreversible reduction in yield occurs. The technology of lentil cultivation has been improved by optimizing cultivation elements, which positively affected the crop

productivity. The issues of the relationship between the size of sown seeds and the technological qualities (uniformity, kernel yield) of the future harvest have been further developed. The technology of lentil cultivation for seeds has been improved due to the optimization of pre-sowing preparation parameters (selection of large fractions), which had a positive effect on productivity. Methodological approaches to determining the bioenergetic and economic efficiency of using seeds of different fractions and storage periods, as well as the study of the growth processes' peculiarities of lentil plants, have been further developed.

Main research results. The dissertation provides a theoretical substantiation and practical solution to the scientific problem of improving lentil cultivation technology in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe.

It was established that the dynamics of physical and chemical parameters of seeds depending on the storage duration and fractional composition follows the patterns of physiological aging. The highest test weight values were formed by seeds of a large fraction (>5.0 mm), which is due to a high endosperm filling coefficient. In the freshly harvested state, the test weight of the green-seeded morphotype was 825 g/l, while for the red-seeded one it was 812 g/l, which is 1.6% lower. It was mathematically proven that during the first year of storage, a "density peak" occurs (an increase of 2–3 g/l) due to moisture stabilization. Starting from the third year, a regression of the indicator was recorded: in the fifth year, the test weight decreased to 793 g/l for the red-seeded morphotype and 803 g/l for the green-seeded morphotype. The 1000-seed weight over 5 years of exposure lost 4.5–5.2% of its initial value. For the large fraction of the green-seeded morphotype, this indicator decreased from 77.5 g to 73.8 g, confirming the intensity of respiratory processes. The small fraction (3.0–4.0 mm) was characterized by the lowest density values throughout the entire period. Dry matter losses in the small fraction were 12% more intensive than in the large one. The number of seeds with micro- and macro-cracks of the seed coat in the fifth year increased by an average of 8.5 times. In the red-seeded morphotype, the share of damaged seeds in the 5th year reached 27.3%, which is 3.4% higher than in the green-seeded one. Dispersion analysis confirmed that 72% of the test weight variability is caused by the storage period.

It was investigated that changes in germination energy and laboratory germination depending on the morphological fractions of seeds have a clear mathematical dependence. The germination energy of freshly harvested green-seeded morphotype seeds reached 97%, which is 5.4% higher than the red-seeded one. The large fraction (>5.0 mm) consistently dominated over the small one by this indicator with an amplitude of 11–13%. In the fifth year of storage, the germination energy critically decreased to 65.0–79.0%, depending on the variant. The laboratory germination of the large fraction of green-seeded lentils in the fifth year was 86%. At the same time, the small fraction of the red-seeded morphotype fell to 74%, which is below the conditioning threshold. Dispersion analysis confirmed that the share of the "fraction" factor's influence on germination is 22%. The calculated germination degradation index for small fractions exceeded that of large ones by 14.5%. The mathematical model predicts a 50% loss of germination (T50) for the large fraction after 42 months. For the small fraction, this period is reduced to 30 months. The coefficient of variation of germination between morphotypes in the 5th year increased to 18.4%.

Research indicated that the influence of storage duration on the morphometric parameters of lentil seedlings is manifested through the inhibition of mitotic activity of cells. The root length of freshly harvested large fraction seeds was 62 mm for the green-seeded morphotype. In the fifth year of storage, this indicator decreased to 34–38 mm, which represents a 41.4% regression. The hypocotyl length of small red-seeded lentils in the fifth year was only 14 mm. This is 2.6 times less than the indicator of the freshly harvested control. A direct correlation ($r=+0.92$) was found between seed weight and the total seedling length on the 7th day. The $LSD_{0.05}$ value for the storage factor for hypocotyl length was 2.1 mm. The fresh weight of large fraction seedlings was 34% higher than that of small ones. The total biomass of 100 seedlings of the green-seeded morphotype was 15.2% greater than that of the red-seeded one. The decline in root growth vigor occurred faster than that of the hypocotyl. The mathematical index of seedling stress resistance in the green-seeded morphotype was higher by 0.12 units.

It was found that biochemical markers of seed viability during long-term exposure indicate the destruction of the protein matrix. The protein content in large

green-seeded lentils (27.1%) is statistically significantly higher than that of red-seeded ones (25.8%). Over 5 years of storage, the protein concentration decreased by an average of 9.4% from the initial level. The fat acidity value (FAV) increased from 1.15 to 3.42 mg KOH/g in the red-seeded morphotype. Calculations showed that the toxicity threshold of lipid oxidation products occurs after 36 months. The most valuable variation is the large green-seeded fraction, which retained 82% of its antioxidant potential. The content of reduced sugars in seeds in the 5th year decreased by 31.8%. The coefficient of biochemical stability in the large fraction was 18% higher than in the small one. The activity of dehydrogenase enzymes in the 5th year fell by 2.1 times. The green-seeded morphotype demonstrated a lower rate of peroxide accumulation. The biochemical composition of the large fraction ensures a longer period of autonomous nutrition for the embryo.

A comprehensive assessment of the sowing potential of lentil seeds was analyzed based on the combination of morphotype and fraction factors. Seed viability decreased by an average of 36% over 5 years of research. Freshly harvested red-seeded seeds (>5 mm) were taken as 100% viability; after 5 years, this value was only 60%. The green-seeded morphotype (>5 mm) demonstrated higher stability: from 100% to 70%. The growth vigor coefficient decreased linearly: from 2760 to 1850 units in the large fraction of red-seeded lentils. In the large fraction of green-seeded lentils, this indicator fell from 2880 to 1960 units. Mathematical modeling indicates that every 12 months of storage take away 8.2% of the seed's vital energy. It was established that the critical limit of viability for sowing occurs when the growth vigor coefficient falls below 2000 units. The large fraction of the green-seeded morphotype is the only option that maintains this indicator for over 4 years.

Seed quality indicators in field conditions depending on the experiment factors confirmed laboratory data. The field germination of fresh large seeds reached 96% in the green-seeded morphotype. In the 5th year of storage, this indicator in the small red-seeded fraction fell to 48–50%. This means the loss of almost half of the sowing material even before emergence. Plant survival during the growing season in variants with old seeds decreased by 28%. Plant density before harvesting decreased by 24.1% compared to the control. It was established that a 1% decrease in laboratory

germination causes a 1.4% decrease in field germination. The large fraction provides 12–15% denser stands at the same sowing rate.

Features of growth and development of lentil plants in field conditions indicate a delay in the rate of organogenesis. The "sowing-emergence" period was extended from 5 to 9 days when using 5-year-old seeds. Plant height in the budding phase decreased by an average of 9.9 cm. The leaf surface area during sowing with fresh seeds was 16.4–18.2 thousand m²/ha. Using old seeds causes a reduction in the assimilation apparatus by 42–48%. The photosynthetic potential of crops simultaneously falls by 35.4%. The productive tillering coefficient was 0.3 units higher in the large fraction. The green-seeded morphotype formed 14% more pods per plant. Plants from old seeds had a weaker root system, which reduced their drought resistance.

Lentil productivity in experiments was maximum with the combination of a large fraction and fresh exposure. The green-seeded morphotype (1st year of storage) provided a yield at the level of 2.84 t/ha. The red-seeded morphotype under similar conditions formed 2.56 t/ha. Sowing with 5-year-old seeds led to a yield drop to 0.92–1.14 t/ha. The yield loss of 60–65% is the result of the cumulative effect of low germination and weak growth. A direct correlation ($r=+0.88$) was established between the size of sown seeds and the 1000-seed weight of the harvest. The mathematically calculated yield regression coefficient relative to the storage period is -0.38 t/ha per year.

Technological and morphological properties of seeds indicate better suitability of large fractions for processing. The use of a large fraction ensures an increase in the yield of the whole kernel by 2.4–3.1%. The cookability coefficient of green-seeded morphotype seeds was 8% higher. Long-term storage leads to seed coat thickening, which extends the cooking time by 15 minutes. Color stability of green-seeded seeds deteriorates after the 3rd year (darkening effect). The red-seeded morphotype is less sensitive to color change during storage.

The highest conditional net profit is provided by using seeds of 1–2 years of storage of the large fraction. When sowing with seeds after the 3rd year of storage, the cost of 1 ton of grain increases by 2.2 times. This is due to the need to increase the

sowing rate by 40% to compensate for low germination. The energy efficiency coefficient (EEC) when sowing with fresh large seeds is maximum (over 3.5). When using 5-year-old seeds, energy costs per unit of product increase by 52%. The profitability level of the green-seeded morphotype (large fraction) is 14% higher than the red-seeded one. The conclusions emphasize the unprofitability of using lentil seeds after 36 months of storage. The optimal strategy is to use the large fraction of morphotypes with a reserve fund of no more than 2 years.

***Key words:** food lentils; morphotypes; seed fraction; storage duration; germination energy; fat acidity value; yield; economic efficiency.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Євчук Я. В., Кононенко Л. М., **Вишинський А. В.**, Бобров В. С. Вплив добавок рослинного походження на якісні показники хліба оздоровчого призначення. *Збірник наук. пр. Уманського НУС*. 2023. Вип. 103, ч. 1. С. 281-291. DOI: 10.32782/2415-8240-2023-103-1-281-291
2. Євчук Я. В., Новікова Т. П., **Вишинський А. В.**, Шевчук О. Ю. Використання борошна сочевиці в хлібі спеціального призначення. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11. № 1. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.277212>
3. Кононенко Л. М., **Вишинський А. В.** Оцінка морфологічних, біохімічних і технологічних властивостей зерна сочевиці залежно від виду. *Збірник наук. пр. Уманського НУС*. 2025. Вип. 106, ч.1. С. 134-145. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-134-145
4. **Вишинський А. В.** Морфометричні показники насіння сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання. *Біоенергетика*. 2026. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp10-19>

Тези доповідей наукових конференцій:

5. Кононенко Л. М., **Вишинський А. В.** Діагностика хвороб у посівах сочевиці. Проблеми і перспективи фітоімунітету в селекції рослин: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 10-11 листоп. 2022 р. Київ, 2022. С. 41.
6. **Вишинський А. В.** Фізико-механічні властивості насіння сочевиці. Інноваційні зернопродукти і технології: тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 20 лют. 2024 р. / редкол.: О. О. Непочатенко (відп. ред.) та ін. Умань, 2024. С. 21.
7. **Vishynskiy A. V.** Lentill (*Lens culinaris medic*) as a valuable highprotein crop. Інноваційні зернопродукти та агротехнології: тези доп. Міжнар. наук.

інтернет-конф., м. Умань, 21 лют. 2025 р. / редкол.: О. О. Непочатенко (відп. ред.) та ін. Умань, 2025. С. 29.

8. Kononenko L., Voevoda L., Bobrov V., **Vyshinsky A.** The influence of agronomic and ecological factors on the protein content of legume grains. Current trends in scientific research development: proceedings of the 8th International scientific and practical conference, March 13-15, 2025. Boston, USA, 2025. P. 11–17. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-current-trends-in-scientific-research-development-13-15-03-2025-boston-ssha-arhiv/>

9. **Вишинський А. В.** Адаптивний потенціал сочевиці (*Lens culinaris* Medik.) за морфофізіологічними та біохімічними показниками в умовах кліматичних змін. Біоенергетичні культури та цукрові буряки в умовах кліматичних змін: виклики, рішення, перспективи: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 29 жовт. 2025 р. / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКіЦБ НААН. С. 9.

10. **Вишинський А. В.** Фізико-хімічні показники насіння сочевиці при різній тривалості зберігання. Інноваційні технології та підвищення ефективності виробництва харчових продуктів: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф., м. Умань, 20 жовт. 2025р. / редкол.: В. В. Сокирська (відп. ред.) та ін. Умань, 2025. С. 29.

11. **Вишинський А. В.** Зміни біохімічних маркерів життєздатності насіння сочевиці (*Lens culinaris* Medik.) прирізних умовах зберігання. Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах Єврорінтеграції : матеріали I Міжнар. наук.-практ. онлайн конф., м. Кам'янець Подільський Ломжа, 20-21.лист. 2025 р. Електрон. вид. Кам'янець Подільський - MANS w Łomży, 2025. С. 265-269.

12. **Vyshinskyi A. V.** Quality indicators of lentil seeds in field conditions depending on morphotype, storage duration, and fractional composition. Інноваційні зернопродукти та агротехнології: тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 21 лют. 2026 р. / редкол.: В. В. Сокирська (відп. ред.) та ін. Умань, 2026. С. 31.

13. **Вишинський А. В.** Генотипова та морфо-фізична мінливість продуктивності сочевиці за тривалого зберігання. Селекція, генетика, сортовипробування та агротехнології культурних рослин: виклики та перспективи : тези доп. XIV Міжнародної наук.-практ. конф. молодих учених, с. Центральне, 24 квітня 2026 р. / НААН, МПП ім. В. М. Ремесла, М-во економіки, довкілля та сільського господарства України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. Електронний ресурс: <http://confer.uiesr.sops.gov.ua/>, с. Центральне, 2026. С. 34.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України характеризується необхідністю диверсифікації рослинництва та пошуку культур, які здатні забезпечити високу рентабельність за умови мінімізації антропогенного навантаження на довкілля. У контексті глобальних змін клімату та зростання попиту на рослинний білок, сочевиця харчова (*Lens culinaris*) набуває стратегічного значення як одна з найбільш посухостійких та біологічно цінних зернобобових культур.

Проте, незважаючи на високий генетичний потенціал сучасних сортів сочевиці, рівень їхньої врожайності у господарствах Правобережного Лісостепу України залишається нестабільним. Однією з фундаментальних причин цього є низька якість посівного матеріалу, зумовлена некерованими процесами фізіологічного старіння під час зберігання та відсутністю чітких критеріїв фракціонування насіння.

Актуальність теми. В умовах переходу до точного землеробства та енергоощадних технологій, актуальною проблемою є розробка регламентів управління посівним потенціалом насіння, що дозволяють максимально реалізувати життєву силу рослин на ранніх етапах онтогенезу. Сочевиця, на відміну від багатьох інших бобових, має специфічну архітекtonіку насінини та хімічний склад оболонки, що робить її надзвичайно чутливою до тривалої експозиції в складських приміщеннях.

Актуальність дисертаційної роботи підсилюється необхідністю розв'язання суперечності між тривалим терміном зберігання насінневих фондів у страхових запасах та стрімкою деградацією їх біологічних якостей. Дослідження реакції різних морфотипів сочевиці (зеленозерного та червонозерного) на часовий фактор та розмірні характеристики насіння дозволить оптимізувати технологічні схеми підготовки посівного матеріалу, забезпечити вирівняність сходів та стійкість агрофітоценозів до абіотичних стресів. Використання морфологічно та фізіологічно повноцінного насіння є ключовим маловитратним елементом технології, що дозволяє знизити норми

висіву та підвищити рентабельність культури без залучення додаткових матеріальних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася протягом 2022–2025 рр. як складова частина науково-дослідної тематики Уманського національного університету «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроєкосистем України» (2021–2025 рр., номер державної реєстрації 0121U112521). Автор був безпосереднім виконавцем підрозділу, що стосується оптимізації якості насіннєвого матеріалу сочевиці.

Мета досліджень. Метою роботи є теоретичне обґрунтування та розробка практичних заходів щодо удосконалення технології вирощування сочевиці харчової шляхом оптимізації параметрів якості посівного матеріалу залежно від морфотипу, фракційного складу та тривалості зберігання насіння в умовах Правобережного Лісостепу України.

Завдання досліджень:

- проаналізувати динаміку посівних якостей (енергію проростання, лабораторну схожість) насіння різних морфотипів протягом п'ятирічного циклу зберігання;
- дослідити закономірності зміни посівних якостей насіння сочевиці різних морфотипів залежно від тривалості його зберігання;
- встановити кореляційну залежність між фракційним складом насіння та темпами початкового росту і розвитку рослин;
- виявити закономірності перебігу фенологічних фаз та формування індивідуальної продуктивності рослин сочевиці залежно від передпосівних кондицій посівного матеріалу;
- дослідити особливості формування фотосинтетичного потенціалу та площі листкової поверхні агроценозу при використанні насіння різних термінів зберігання;
- визначити комплексний вплив факторів старіння та калібрування на виживаність рослин та структуру врожайності;

- обґрунтувати параметри технологічної якості зерна нового врожаю залежно від розмірних характеристик висіяного насіння;
- дати економічну та енергетичну оцінку запропонованим елементам технології вирощування сочевиці.

Об'єкт досліджень: процеси росту, розвитку, формування симбіотичного апарату та продуктивності рослин сочевиці різних морфотипів.

Предмет досліджень: закономірності впливу морфотипу, тривалості зберігання та фракційного складу насіння на його біологічну цінність та врожайність культури.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використано комплекс методів:

- *Польовий* – вивчення взаємодії рослин з факторами навколишнього середовища, встановлення польової схожості та виживаності.
- *Візуально-фенологічний* – фіксація дат настання фаз росту і розвитку.
- *Вимірально-ваговий* – визначення морфометричних параметрів, площі листя та структури врожаю.
- *Лабораторний* – визначення посівних якостей насіння за ДСТУ 4138-2002, біохімічних показників старіння (кислотне число жиру).
- *Математично-статистичний* – дисперсійний аналіз (для оцінки достовірності відхилень), кореляційно-регресійний аналіз (для встановлення зв'язків між факторами).
- *Розрахунково-порівняльний* – оцінка економічної та енергетичної ефективності.

Наукова новизна досліджень. Вперше в умовах Правобережного Лісостепу України проведено системний моніторинг деградації посівного потенціалу сочевиці упродовж тривалого терміну зберігання різних морфотипів.

- *Встановлено*, що швидкість втрати життєздатності насіння є морфотипово детермінованою: зеленозерні сорти виявляють вищу стабільність ферментних систем порівняно з червонозерними.

- *Доведено*, що калібрування насіння з виділенням великої фракції (>5,0 мм) є ефективним компенсаторним механізмом, що дозволяє нівелювати негативний вплив фізіологічного старіння на ранніх етапах онтогенезу.

- *Виявлено* критичні межі часової експозиції насінневих фондів, за якими настає незворотна редукція врожайності.

Удосконалено технологію вирощування сочевиці завдяки оптимізації елементів вирощування, що позначилось на продуктивності культури.

- *Набули подальшого розвитку* питання взаємозв'язку між крупністю висіяного насіння та технологічними якостями (вирівняністю, виходом ядра) майбутнього врожаю.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено та запропоновано виробництву регламенти підготовки насіння сочевиці, що базуються на використанні великих фракцій та суворому дотриманні двохрічного терміну зберігання, що забезпечує підвищення врожайності на 15–22%. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі при викладанні дисципліни «Рослинництво» та «Насіннезнавство» при підготовці фахівців зі спеціальності 201 «Агрономія».

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею. Здобувачем особисто розроблено програму та методику досліджень, проведено всі польові експерименти та лабораторні аналізи протягом 2023–2025 рр. Автор особисто виконав статистичну обробку даних, сформулював наукові висновки та рекомендації виробництву. Всі опубліковані праці, що відображають основний зміст дисертації, підготовлені за безпосередньої участі автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення, результати польових досліджень та теоретичні узагальнення дисертаційної роботи протягом 2022–2026 рр. пройшли апробацію на міжнародних та всеукраїнських наукових форумах. Матеріали досліджень доповідались, обговорювались та отримали схвальну оцінку на: *Міжнародних наукових та інтернет-конференціях*:

«Інноваційні зернопродукти та агротехнології» (м. Умань, 2023–2026 рр.);
«Current trends in scientific research development» (м. Бостон, США, 2025 р.);

«Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах Євроінтеграції» (м. Кам'янець-Подільський – Ломжа, 2025 р.) та *Всеукраїнських науково-практичних конференціях*: «Проблеми і перспективи фітоімунітету в селекції рослин» (м. Київ, 2022 р.); «Біоенергетичні культури та цукрові буряки в умовах кліматичних змін: виклики, рішення, перспективи» (м. Київ, 2025 р.); «Інноваційні технології та підвищення ефективності виробництва харчових продуктів» (м. Умань, 2025 р.), XIV Міжнародна науково-практична конференцію молодих учених «Селекція, генетика, сортовипробування та агротехнології культурних рослин: виклики та перспективи».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 13 наукових праць, зокрема 4 статті у фахових виданнях України, що входять до переліку МОН, та 9 тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Робота викладена на 176 сторінках машинописного тексту. Складається з анотації, списку публікацій, вступу, п'яти розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел (193 найменування) та 14 додатків. Текст дисертації містить 46 таблиць та 10 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОСІВНИХ ЯКОСТЕЙ НАСІННЯ СОЧЕВИЦІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1. Біологічні особливості сочевиці та їх значення у сучасному рослинництві

Сучасні тенденції в рослинництві, спрямовані на біологізацію та пошук високобілкових культур, підняли харчову сочевицю (*Lens culinaris* Medik.) до статусу стратегічного об'єкта наукових досліджень. Як зазначають у своїх фундаментальних працях Орехівський В. Д., Січкарь В. І. [1], ця культура є не лише незамінним джерелом рослинного протеїну, що за якісними характеристиками наближається до тваринних білків, а й виступає потужним біологічним інструментом відновлення родючості ґрунтів. Закордонні науковці М. Лі та ін. [2], вказують тако ж, що ця культура має важливість і нутрицевтичну цінність та фітохімічний потенціалі та біологічну активності сочевиці як функціонального продукту харчування.

Вирощування сочевиці в умовах кліматичної нестабільності потребує глибокого розуміння її біологічних особливостей. Дослідженнями Присяжнюка О. І. [3], відзначено, що сочевиця характеризується стрижневою кореневою системою, здатною проникати на глибину понад 1 метр, що забезпечує її відносну посухостійкість. Проте критичним фактором залишається забезпеченість вологою в орному шарі ґрунту під час початкових фаз онтогенезу. Аналіз нутрієнтного профілю та впливу методів обробки на склад зерна, проведений Dhull S. B. [4], вказує на високу лабільність біохімічних показників залежно від умов вирощування.

Генетичне різноманіття культури дозволяє формувати цінні ознакові колекції. Зокрема, Vus N. A. [5] виділили зразки сочевиці за поживністю насіння, що є фундаментом для подальшої селекції на якість. Морфо-фізіологічні аспекти розвитку культури детально вивчені Січкарем В. І. та ін. [6], які описують етапи органогенезу та їх залежність від суми ефективних температур. Ці дані

корелюють з результатами морфометричної та нутриційної характеристики провідних іспанських сортів, представленими J. Plaza [7], де встановлено пряму залежність між архітектонікою рослини та її продуктивним потенціалом.

Багато авторів вважають сочевицю як інструмент забезпечення продовольчої безпеки. Так, V. Montejano-Ramírez та E. Valencia-Cantero [8] підкреслюють важливість культури для сталого землеробства завдяки її здатності до симбіотичної азотфіксації. В умовах України, зокрема в Північному Степу, високу адаптивність демонструють зразки канадської та турецької селекції, що підтверджено роботами Кулініча А. А. [9].

Мінеральний склад сочевиці та біодоступність нутрієнтів є об'єктом прискіпливої уваги. A. Venayad та Y. Aboussaleh [10] зазначають, що попри високий вміст заліза та цинку, присутність антипоживних факторів може обмежувати їх засвоєння, що потребує специфічних технологічних підходів до переробки. Більше того, Ö. Çakir та співавтори [11] вказують на унікальні геномні властивості бобових, які детермінують їхні лікувально-профілактичні властивості.

Інноваційні технології використання сочевиці поширюються і на м'ясну промисловість. Українські вчені відзначають, що обґрунтували доцільність використання сочевичного борошна як нетрадиційної сировини для покращення текстури та біологічної цінності м'ясних січених страв [12]. Таке використання підкріплюється даними [13] щодо антимікробних та протизапальних ефектів компонентів сочевиці. Важливим методом підвищення якості є пророщування; за даними T. Chatzimitakos [14], проростки чорної та коричневої сочевиці мають значно вищий антиоксидантний статус.

Дослідження Bouhlal O. [15] демонструють ефективність фортифікації пшеничного борошна сочевичним компонентом, що покращує не лише амінокислотний профіль хлібобулочних виробів, а й їхні технологічні властивості. Це узгоджується з висновками В. І. Січкаря [16] щодо перспектив розширення площ під культурою в Україні. Автори [17] характеризують сочевицю як «універсальну бобову культуру», потенціал якої у створенні екологічно чистих продуктів харчування ще не вичерпаний [18].

Фізико-хімічні зміни під час промислової переробки сочевиці детально висвітлені в роботах А. N. Aryee [19]. Особливу увагу вчені приділяють стійкості до абіотичних стресів. Н. А. Вус та ін. [20] провели диференціацію генофонду за рівнем посухостійкості з використанням ПЕГ-моделювання, що дозволяє виділяти стійкі форми на ранніх етапах селекції. Проблема антипоживних чинників залишається актуальною: S. G. Rudra [21] аналізує вплив фітатів та танінів на біодоступність мікроелементів, що є критичним для дитячого та дієтичного харчування.

Цінність курльтри відзначено і при використанні у виробництві пасти (спагеті) дозволяє створювати продукти з низьким глікемічним індексом [22]. Проте врожайність та якість зерна сильно залежать від термічного стресу під час цвітіння, про що застерігають Н. Choukri [23, 55]. Цікавим є спостереження А. Muscolo [24], згідно з яким помірне засолення ґрунту може навіть стимулювати накопичення корисних біоактивних сполук у деяких сортах.

Однією з найбільш гострих проблем у сучасному насінництві сочевиці є збереження високої життєздатності насінневого матеріалу протягом тривалого часу. Як зазначається у методичних рекомендаціях FAO [25], стратегія правильного зберігання базується на глибокому розумінні фізіологічного стану спокою насіння та його вологовіддачі. Потенціал життєздатності закладається ще на етапі формування зародка на материнській рослині, що підтверджується дослідженнями Козака В. О. [26], де вказано на пряму залежність між термінами збирання та енергією проростання в наступні роки.

Генетичне вдосконалення культури вимагає залучення новітніх методів цитогенетики та мутагенезу. R. A. Laskar та S. Khan [27] детально описують стратегії селекції, спрямовані на розширення генетичної бази сочевиці, яка в культурних формах є досить вузькою. Це узгоджується з роботами В. Singh [28], який аналізує біоактивні компоненти бобових як маркери для селекційного відбору. Особливо перспективним є напрям біофортифікації білком: за даними S. Salaria [29], використання специфічних генотипів дозволяє суттєво підвищити концентрацію заліза та цинку в зерні без втрати врожайності. Для прискорення цього процесу активно застосовується хімічний мутагенез, який, за результатами

досліджень А. Raina [30], дозволяє отримати мутантні лінії з покращеною архітектонікою та стійкістю до вилягання.

Багато авторів відзначають, що у технології переробки сочевиці важливим етапом є оцінка органолептичних показників готової продукції. Так авторка Mustafayeva K. A. [31] встановила, що збагачення хлібобулочних виробів сочевичним борошном не лише покращує їхній амінокислотний профіль, а й позитивно впливає на пористість та текстуру м'якушки. Це дозволяє вирішувати проблему дефіциту білкових інгредієнтів у раціоні, про що детально пишуть Корецька І. Л. та Рибаченко М. С. [32].

Варто вказати, що фітохімічний аналіз, проведений і відзначений у багатьох працях [33], свідчить про високу антиоксидантну та протизапальну активність екстрактів сочевиці, що робить її цінною сировиною для парафармацевтичної промисловості. При цьому технологічні властивості збагаченого хліба залежать від сортових особливостей сочевиці, що підтверджують дослідження V. Turfanı [34]. Вивчення диких сородичів сочевиці (*Lens orientalis*, *Lens nigricans*) у роботах S. Kumar [35] відкриває нові можливості для інтрогресії генів стійкості та біофортificaції.

Сучасна діагностика якості насіння та зерна все частіше використовує неруйнівні методи. Revilla I. [36] довів ефективність використання ближньої інфрачервоної спектроскопії (NIR) для швидкого визначення фізико-хімічних властивостей та навіть географічного походження партій сочевиці. Це має критичне значення для контролю автентичності продукції на світовому ринку, де сочевиця оцінюється за високим нутритивним вмістом [37].

Доцільно відзначити і важливу роль у реалізації біологічного потенціалу сочевиці відіграє мікробіологічна активація. Автори [38] встановили, що поєднання мінерального живлення з інокуляцією насіння специфічними штамами ризобій призводить до синергічного ефекту, збільшуючи масу 1000 насінин та вміст азоту в них. Глибокий аналіз біоактивних сполук сочевиці, проведений S. B. Dhull та M. A. Uebersax [39], підкреслює значення цих процесів для здоров'я людини.

Окрім зерна, значну цінність має солома сочевиці. Дослідження E. Haile [40] та J. Ahmed [41] демонструють, що побічна продукція сочевиці за поживністю перевершує злакову солому, що робить її важливим ресурсом для тваринництва. Новітні розробки Мурликіної Н. В. [42] щодо використання солодових екстрактів на основі сочевиці як дієтичних добавок підтверджують багатофункціональність цієї культури.

Процеси пророщування зерна, вивчені Santos C. S. [43], вказують на кардинальну зміну мікробіологічного профілю та підвищення біодоступності мінералів. Порівняльний аналіз якості насіння різних сортів сочевиці, проведений румунськими вченими [44], свідчить про значну мінливість хімічного складу залежно від генотипу. Сучасний підхід до класифікації цих особливостей включає методи машинного навчання та глибокий аналіз зображень, що, за даними Butuner R. [45], дозволяє автоматизувати процес сортової ідентифікації з високою точністю.

Особливої уваги заслуговує диференціація сочевиці за фракційними характеристиками насіння. Як зазначають науковці [46], дрібнонасіннєві бобові культури, зокрема дрібнонасіннєва сочевиця, володіють вищою відносною площею насіннєвої оболонки, де сконцентровані основні біоактивні сполуки. Це зумовлює вищі показники антиоксидантної активності таких форм порівняно з великозерними аналогами. При цьому концентрація фітохімікалій суттєво залежить від екологічних умов вирощування та генотипу, що підтверджено комплексними дослідженнями M. Irakli та співавт. [47]. Встановлено, що умови підвищеної сонячної інсоляції та помірного водного дефіциту можуть стимулювати синтез вторинних метаболітів, що підвищує біологічну цінність врожаю.

Сучасна нутриціологія розглядає сочевицю не лише як продукт харчування, а й як засіб профілактики важких захворювань. M. A. I. E. Faris [48] характеризує сочевицю як перспективний хіміопреventивний та протипухлинний функціональний продукт. Завдяки наявності специфічних лектинів та фенольних сполук, регулярне споживання сочевиці сприяє зниженню

ризикі виникнення онкологічних патологій, що робить її незамінним компонентом оздоровчих дієт.

Для нівелювання впливу чинників та підвищення засвоюваності білка сучасна наука пропонує методи біотрансформації. Pasquale I. De [49] довів, що ферментація желатинізованого сочевичного борошна молочнокислими бактеріями дозволяє суттєво покращити його нутриційний профіль та функціональні властивості. Такий підхід дозволяє створювати продукти з високою біодоступністю мінералів, які зазвичай блокуються фітатами. Вплив термічної та механічної обробки на фенольний склад насіння, вивчений A. López [50], свідчить про те, що правильний вибір технологічного режиму дозволяє зберегти до 80% корисних антиоксидантів.

Вирощування сочевиці має високий економічний ефект не лише завдяки основній продукції, а й через використання побічних продуктів. Солома сочевиці, згідно з даними V. Mudgal [51], є альтернативним та поживним кормовим ресурсом, особливо для дрібної рогатої худоби, оскільки містить значно більше сирого протеїну, ніж солома злаків. Комбіновані процеси біотрансформації, описані Casarin A. L. F. [52], дозволяють одночасно покращувати антиоксидантні, антидіабетичні та протеазно-інгібіторні властивості сочевичних інгредієнтів, що розширює сфери їх застосування в медицині та фармації.

Генетичний прогрес та інтенсифікація селекції в межах місцевих популяцій (landraces), за даними Dikshit H. K. [53] та Ninou E. [54], дозволяють створювати високоврожайні лінії з фіксованими показниками якості насіння. Це особливо важливо в умовах температурного стресу на репродуктивній стадії розвитку рослин. Choukri H. [55] наголошує, що висока температура в період цвітіння є основним лімітуючим фактором, який не лише знижує врожайність, а й негативно впливає на нутритивний склад насіння.

Варто вказати і про важливість при формуванні якісного посівного матеріалу інтегрованого управління живленням рослин. Дослідження Aktar S. [56] підтверджують, що збалансоване використання мінеральних добрив у поєднанні з мікробіологічними препаратами забезпечує максимальний вміст

білка та енергію проростання насіння. Це створює надійний фундамент для наступних циклів відтворення культури та забезпечення продовольчої стабільності.

Таким чином, аналіз літературних джерел дозволяє стверджувати, що сочевиця харчова є унікальним об'єктом рослинництва з високим адаптивним та біохімічним потенціалом. Її біологічні особливості - здатність до азотфіксації, висока пластичність до стресів, унікальний амінокислотний та мінеральний склад - роблять її стратегічною культурою для аграрного сектору України.

1.2. Вплив тривалості та умов зберігання на життєздатність насіння бобових культур

Проблема збереження високих посівних кондицій насіння бобових культур є однією з центральних у сучасному насінництві.

Життєздатність насіння - це динамічний показник, що формується під впливом комплексу генетичних, агротехнічних та екологічних чинників. Як зазначають автори [57], продуктивність сочевиці та подальша стійкість її насіння до старіння закладаються ще на етапі вирощування, де інокуляція та збалансоване мінеральне живлення відіграють роль первинних стабілізаторів фізіологічного стану зародка.

Основними зовнішніми чинниками, що визначають темпи деградації насіння під час зберігання, є температура та вологість. У фундаментальному дослідженні Bhattarai В. [58] доведено, що навіть незначні коливання температури в зерносховищах можуть призвести до незворотних змін у метаболічній активності червоної сочевиці, що негативно впливає на її ринкові та кінцеві споживчі властивості. Це корелює з висновками Білоножка В. Я. та Полторецької Н. М. [59], які на прикладі інших культур (гречки) підкреслюють, що життєздатність та «життєвість» (vigor) насіння є похідними від генетичного потенціалу сорту та умов його формування.

Умови, в яких розвивається насіння на материнській рослині, впливають на те, коли проявляться його якісні властивості. Whitehouse K. J. та Norton S. L.

[60] встановили, що умови навколишнього середовища під час дозрівання сочевиці детермінують темпи подальшого зниження якості насіння.

Біологічні властивості та врожайність культури, як зазначають S. Kholod та інші автори [61], тісно пов'язані з морфофізіологічним станом насінини в момент її закладання на зберігання.

Дослідження Кічігіної О. О. [62], хоча і проведені на астрагалі, демонструють загальну для бобових закономірність: тривалість зберігання веде до поступового згасання активності ферментативних систем.

У іноземних працях відзначено, що для сочевиці (*Lens culinaris*) Whitehouse K. J. [63] розрахував специфічні константи життєздатності (KE та CW), які дозволяють математично прогнозувати термін безпечного зберігання насіння залежно від умов середовища. Це критично важливо, оскільки, за даними Boadu K. B. [64], тривалі періоди зберігання без дотримання оптимальних параметрів неминуче призводять до повної втрати схожості.

Механізми старіння насіння пов'язані зі зниженням життєздатності клітин і накопиченням пошкоджень у їхніх структурах. Фізіологічний спокій забезпечує затримку проростання, дозволяючи насінню пережити несприятливі умови. Разом ці процеси визначають термін придатності насіння та його здатність давати здорові сходи. Взаємозв'язок ознак продуктивності сочевиці, описаний Клишею А. І. [65], вказує на те, що насіння з високою масою 1000 насінин часто володіє більшим запасом ендogenous антиоксидантів. Проте, як стверджує Corbineau F. [66], процеси старіння (ageing) та деградації є неминучими. Автор детально описує механізми накопичення пошкоджень у ДНК та мембранах клітин під час зберігання, пропонуючи стратегії покращення довговічності через контроль газового складу атмосфери та вологості.

Систематичний огляд як відзначає Solberg S. Ø. [67] щодо довгострокового зберігання «ортодоксального» насіння (до якого належить і сочевиця) підкреслює значення генбанків.

Оцінка життєздатності до і після зберігання, проведена Акуйз S. [68] на прикладі кормового гороху, демонструє необхідність регулярного моніторингу за допомогою як польових, так і лабораторних методів.

Агроекологічне обґрунтування технологічних прийомів, представлене в монографії Дідура І. М. та Панциревої Г. В. [69], акцентує увагу на тому, що насіннева продуктивність є інтегральним показником, який не закінчується збиранням врожаю, а продовжується в елеваторних потужностях.

Умови середовища, в яких зберігається або проростає насіння, суттєво впливають на його життєздатність та швидкість проростання. Використання різних технологій відновлення, наприклад стратифікації або обробки стимуляторами росту, допомагає підвищити схожість і якість насіння. Поєднання сприятливих умов та ефективних технологій дозволяє максимально зберегти потенціал насіння для отримання здорових сходів. Як наголошує у своїй роботі Gebeyehu B. [70], що зберігання - це не пасивний процес, а продовження життєвого циклу насінини.

Для успішного відновлення екосистем та рекультивації земель, як зазначають Vitis M. De [71] та [72], насіння бобових має зберігати високу енергію проростання, щоб витримати конкуренцію з бур'янами. Інноваційні аспекти зберігання та переробки, викладені в монографії Мазура В. А. [73], включають використання низькотемпературних режимів та герметичних ємностей.

Якість насіння для тривалого зберігання залежить від багатьох факторів. Серед них - сортові особливості рослини, умови формування насіння на материнській рослині, вологість та температура під час збирання й обробки. Крім того, на життєздатність насіння впливають умови його зберігання та застосовані технології консервації, проаналізованих Kameswara Rao N. [74]. Роль насінневих банків у збереженні біорізноманіття, за словами дослідників [75], є вирішальною для підтримки екосистем. Для умов Правобережного Лісостепу України варто [76] обґрунтувати адаптивні сортові технології, де зберігання є фінальною ланкою, що визначає придатність сорту до відтворення.

Післязбиральні етапи насіння включають заходи, спрямовані на збереження його якості та життєздатності. До таких стратегій належать правильне сушіння, сортування, пакування та підтримання оптимальних умов зберігання. Ефективне управління цими процесами дозволяє мінімізувати втрати

схожості та забезпечити тривале збереження насіння для подальшого використання.

Сучасні стратегії управління якістю насіння після збирання, описані Sharma P. [77], включають прецизійний контроль вологості. Однак, Bakhtavar M. A. та Afzal I. [78] класифікують типи насіння та механізми їхньої довговічності, вказуючи на те, що бобові мають специфічну будову насінневої оболонки, яка може як захищати зародок, так і ставати перешкодою при проростанні після тривалого зберігання.

Особливий інтерес становить досвід Кирпи М. Я. [79] у застосуванні нетрадиційних методів зберігання органічної продукції, які дозволяють виключити використання хімічних протруйників щодо нетрадиційних методів [79]. Такий підхід узгоджується із загальносвітовими трендами біоремедіації та екологічної безпеки [80].

Дослідження інших культур вказує, що вплив часу зберігання на температуру та вологість зернової маси кукурудзи, досліджений Angelović M. [81], дає змогу за аналогією зрозуміти термодинамічні процеси і в насипу сочевиці, де самозігрівання є основною причиною втрати схожості.

Фізіологія овочевих і бобових культур під час зберігання та методи її покращення (enhancements) детально розписані у працях A. G. Taylor [82, 83].

Важливим питанням є мікробіологічні чинники деградації насіння, що включають вплив грибів, бактерій та інших мікроорганізмів, які здатні руйнувати клітинні структури і споживати запасені поживні речовини. Найчастіше ураження викликають грибкові патогени, що сприяють розвитку гнилей і втраті схожості. Бактеріальні інфекції також призводять до хімічних змін у насінні, знижуючи його життєздатність. Біохімічні чинники пов'язані з окиснювальними процесами та активністю ендогенних ферментів, що порушують цілісність білків, ліпідів і нуклеїнових кислот. Накопичення реактивних форм кисню прискорює старіння насіння, спричиняючи пероксидне окиснення ліпідів і деградацію мембран. Порушення енергетичного обміну в клітинах насіння також знижує його здатність до проростання. У комплексі мікробіологічні та біохімічні процеси визначають швидкість втрати схожості під

час зберігання. Розуміння цих механізмів дозволяє розробляти ефективні методи консервації та відновлення життєздатності насіння.

Довготривале зберігання насіння бобових культур нерозривно пов'язане з динамікою мікробіологічних процесів. Дослідження Borase D. N. Та інших науковців [84, 113] свідчать, що сівозміна та системи живлення мають пролонгований вплив на ферментативну активність ґрунту, що опосередковано визначає мікробіом насіння. Формування посівних якостей, як зазначають Баган А. В. [85], залежить від фізіологічної зрілості зерна на момент збирання.

Однією з найбільш ефективних технологій збереження якості рису та бобових у стресових умовах є використання герметичних мішків (hermetic storage). Khandai S. [86] довів, що обмеження доступу кисню різко гальмує дихання насіння та розвиток грибкових патогенів. Проблема фунгільної інфекції при сухому зберіганні, детально вивчена Martín I. та іншими авторами [87, 108], залишається лімітуючим фактором для довговічності генофонду. Грибкові патогени здатні розмножуватися навіть за низької вологості насіння, що призводить до поступового зниження схожості та втрати життєздатності. Це підкреслює необхідність розробки ефективних методів профілактики та контролю мікробного ураження при довгостроковому зберіганні насіння

Еволюція біохімічних індексів *Vicia faba* та *Lens culinaris* при різних температурних режимах, за даними [88], вказує на те, що підвищення вологості насіння навіть на 1–2% запускає процеси пероксидного окиснення ліпідів.

Технології довгострокової консервації насіння в генбанках забезпечують збереження його життєздатності та генетичної різноманітності протягом десятиліть. До основних методів належать контрольована сушка, підтримання стабільної низької температури та відносної вологості, а також застосування герметичних контейнерів для зберігання. Використання цих технологій дозволяє мінімізувати біохімічні та мікробіологічні процеси деградації насіння. Наукова цінність таких методів полягає у можливості підтримувати живий генофонд стратегічно важливих культур для селекції, відновлення агроecosистем та збереження біорізноманіття. Однак ефективне впровадження технологій потребує значних фінансових ресурсів та спеціалізованих приміщень з

контрольованими умовами. Крім того, необхідне постійне моніторування стану насіння та періодичне тестування його схожості. Незважаючи на високу вартість, такі підходи є критично важливими для довгострокового збереження цінних генетичних ресурсів. Вони забезпечують наукове підґрунтя для планування майбутніх досліджень та агропрактик, що підвищує стабільність продовольчої безпеки. Для наукових установ та селекційних центрів критичне значення має планування регенерації насіння.

Науковці Redden R. та D. Partington [89] пропонують математичні моделі графіків оновлення колекцій, базуючись на прогнозованій довговічності. Рекомендації щодо методології фенотипування довговічності насіння і його якісних показників вказує Нау F. R. [90] дозволить стандартизувати оцінку життєздатності в міжнародних масштабах.

У напівпосушливих регіонах, де вирощується сочевиця, методи обробітку ґрунту в період парування також впливають на накопичення вологи та якість майбутнього насіння, що підтверджено Sun M. [91]. Проте вирішальним фактором залишається атмосфера зберігання. Зарубіжні вчені вважають [92], що модифіковане газове середовище запобігає деградації ключових якісних ознак сочевиці. Для екстремально тривалого збереження (десятиліттями) Pence V. C. [93] пропонує використовувати кріобіотехнології, які дозволяють консервувати зародок при наднизьких температурах.

Важливим як вважають більшість авторів є агроекологічне обґрунтування, що передбачає врахування взаємозв'язків між рослинами, ґрунтом, кліматом та живими організмами для оптимізації продуктивності та збереження екосистеми. Системний підхід дозволяє розглядати рослинництво як комплексну мережу процесів, де зміни в одному компоненті впливають на інші. Такий підхід сприяє розробці стратегій, що поєднують високу врожайність із сталим використанням природних ресурсів. Він також підкреслює важливість інтеграції агротехнічних, біологічних та екологічних методів для досягнення довгострокової ефективності та стійкості виробництва.

Дослідження Мазура В. А. та Дідура І. М. [94] присвячені особливостям вирощування та зберігання малопоширених бобових культур, де сочевиця розглядається як об'єкт з високим потенціалом врожайності.

Агроекологічні показники формування врожаю, за даними Ярмольської О. Є. [95], прямо корелюють з подальшою лежкістю зерна. V. Ziegler [96] у своєму огляді систем зберігання наголошує на синергічному ефекті вологості, температури та часу, які в сукупності визначають кінцеву якість протеїну сочевиці [97].

Міжнародні стандарти для насіння диких родичів та нативних видів, запропоновані Pedrini S. та Dixon K. W. [99], дедалі частіше інтегруються в протоколи роботи з культурною сочевицею.

Іранські вчені, зокрема Moeinzadeh A. [99], встановили специфічні константи життєздатності для *Lens culinaris*, що дозволяє оптимізувати умови в складських приміщеннях. Досвід українських вчених [100, 101] свідчить, що практика збору та первинної обробки насіння диких родичів пшениці та сочевиці має вирішальний вплив на їхню здатність до тривалого зберігання.

Сучасним напрямом прецизійного агровиробництва є обволікання (coating) насіння корисними мікроорганізмами, що дозволяє підвищити його життєздатність та стійкість до стресових умов. Цей метод забезпечує локальне живлення рослини та захист від патогенів на ранніх етапах розвитку. Крім того, використання мікробних обгорток сприяє покращенню симбіотичних взаємодій у кореневій зоні, підвищуючи ефективність засвоєння поживних речовин. Такий підхід є важливою складовою сучасної агроекологічної стратегії, оскільки поєднує продуктивність із збереженням природного балансу ґрунтових мікроорганізмів. Ma Y. [102] вказує на перспективність цього методу для підвищення польової схожості після зберігання.

Вплив біологічного азоту та фосфору на продуктивність сочевиці, детально описаний у роботах [103], підтверджує, що інокуляція сприяє формуванню насіння з більш стійким фізіологічним профілем та вказує, що сортові особливості важливі для отримання якісного урожаю.

Навіть при зберіганні пилку бобових, як зазначає Novara C. [104], діють схожі молекулярні механізми регуляції довговічності, описані J. Zinsmeister [105]. Проте фізичне збереження насіння часто підривається шкідниками запасів. Автор [106] дослідив демографічні параметри зернівки культури, яка є головною загрозою для сочевиці при зберіганні в теплих регіонах.

Біотехнологічні підходи до збереження ендемічних видів, запропоновані Coelho N. [107], разом із дослідженням впливу насінневих хижаків [109] доповнюють розуміння механізмів екологічної стійкості культури.

В Україні порядок прийомки насіння на зберігання в Національне сховище генофонду чітко регламентований [110]. Це включає планування, сорсинг та закупівлю насіння за міжнародними стандартами [111]. В умовах глобальних змін клімату, що особливо відчутно сьогодні, Ярмуш С. Х. [112] прогнозує необхідність адаптації технологій зберігання до нових термічних режимів.

Порівняльні дослідження фермерських технологій зберігання, проведені Sori A. [114], показують, що сучасні герметичні системи значно перевершують традиційні методи за показниками збереження здоров'я насіння. Еволюція знань про довговічність насіння призвела до створення концептуальної структури, представленої Nadarajan J. [115], де насіння розглядається як складна біологічна система, що перебуває в стані контрольованого анабіозу. Розуміння персистенції фітопланктонних «банків насіння» [116] та викликів стійкості рисових систем [117] дозволяє екстраполювати ці знання на стратегію збереження сочевиці як ключового елемента світової агромережі.

Таким чином, тривалість та умови зберігання є критичними детермінантами якості насіння сочевиці. Використання сучасних герметичних систем, контроль газового середовища та температурних режимів у поєднанні з попередньою інокуляцією рослин дозволяють суттєво подовжити термін господарської придатності насіння. Глибоке розуміння молекулярних механізмів старіння та впливу патогенів є необхідною умовою для розробки індивідуальних стратегій збереження генофонду сочевиці в умовах України.

1.3. Показники та методи оцінки посівного потенціалу насіння при довготривалому зберіганні

Оцінка посівного потенціалу насіння після тривалого зберігання потребує комплексного підходу, що поєднує класичні морфофізіологічні показники з новітніми біохімічними та молекулярно-генетичними методами. Як зазначає Карпенко В. П. [118], одним із непрямих, але інформативних показників життєздатності бобових є їхня здатність до формування активного симбіотичного апарату, що безпосередньо залежить від фізіологічного стану насінини та дії біопрепаратів. Розвиток симбіотичних структур забезпечує ефективне засвоєння атмосферного азоту, що підвищує продуктивність рослини та покращує родючість ґрунту. Тому оцінка формування симбіотичного апарату є важливим елементом у контролі якості насіння та плануванні заходів агротехнічної підтримки культури.

Більшість авторів наголошують про важливість стратегії моніторингу життєздатності насіння, що включають регулярну оцінку схожості, енергії проростання та фізіологічного стану насіння під час зберігання. Генетичний контроль дозволяє виявляти зміни у генетичній структурі, що можуть впливати на якість і стійкість рослин. Поєднання моніторингу та генетичного аналізу забезпечує своєчасне виявлення ризиків і підтримку високого рівня життєздатності насіння протягом тривалого часу.

Збереження генофонду рослин в Україні, за визначенням Рябчуна В. К. та Богуславського Р. Л. [119], базується на регулярному моніторингу схожості в умовах національних сховищ. Це підтверджується досвідом Інституту сільського господарства Карпатського регіону [120], де формування генетичних ресурсів бобових супроводжується жорстким контролем життєздатності. Freitag M. [121] наголошує, що при відновленні біорізноманіття ключовим обмежуючим фактором є саме якість насіння, яка має оцінюватися за уніфікованими методиками.

Фундаментальні засади насіннезнавства, викладені у праці Паламарчука В. Д. [122], визначають енергію проростання та лабораторну схожість як базові

детермінанти посівної придатності. Енергія проростання відображає здатність насіння швидко давати здорові сходи, тоді як лабораторна схожість показує загальний потенціал проростання популяції насіння. Ці показники є ключовими при оцінці якості насіння перед посівом і дозволяють прогнозувати продуктивність культури. Крім того, вони слугують основою для розробки технологій зберігання та відновлення життєздатності насіння, що забезпечує стабільність агровиробництва. Проте Нау F. R. та Whitehouse K. J. [123] пропонують переглянути традиційні підходи до моніторингу в генбанках, впроваджуючи моделі прогнозування на основі початкової якості партії. В сучасних умовах України, особливо під час воєнного стану, актуальним методом збереження потенціалу зерна стало використання полімерних рукавів, що досліджено Бараболею О. В. та інтенсивно впроваджуються у виробництво [124].

Ряд науковців стверджує, що біохімічні та фізіологічні маркери старіння насіння дозволяють оцінити його життєздатність і прогнозувати схожість. До біохімічних маркерів належать зміни у складі білків, ліпідів та нуклеїнових кислот, а також накопичення продуктів окиснення. Фізіологічні маркери відображають здатність насіння проростати, утворювати симбіотичні структури та підтримувати метаболічну активність. Комплексне використання цих маркерів дозволяє своєчасно виявляти процеси деградації та розробляти ефективні методи збереження життєздатності насіння [125].

Важливим індикатором потенціалу насіння є його продуктивність під впливом мікробних препаратів та фунгіцидів, що вивчали українські дослідники [125]. Енергетичний аудит тривалих систем консерваційного землеробства, проведений Parihar C. M. [126], показує, що життєздатність насіння є відображенням загального енергетичного статусу агроєкосистеми.

Для швидкої оцінки довговічності часто використовують метод «модельного дослідження» або прискореного старіння. Задорожна О. А. та Єгоров Д. К. [127] успішно застосували цей підхід для оцінки життєздатності жита, що є релевантним і для бобових культур. Елементний склад насіння, досліджений S. Romanova [128], також може слугувати маркером його біологічної цінності.

Особливе місце в оцінці потенціалу займає активність ферментативних систем. Лінник Ю. О. та Жмурко В. В. [129, 151] встановили, що чинники старіння та від'ємні температури суттєво впливають на активність амілаз та каталази в насінні ячменю та гороху. Генетичні аспекти та молекулярні причини довговічності, детально описані в огляді Arif M. A. R. [130], вказують на роль систем репарації ДНК у підтримці життєздатності.

Вплив технологічних прийомів та зовнішніх факторів, як вважають підтвердженими дослідженнями і консерваційне землеробство покращує індикатори родючості ґрунту, що опосередковано впливає на якість насіння, як доводять Devkota M. [131] та Присяжнюк О. І. [132].

Новітні методи передпосівної обробки, такі як холодна плазма та електромагнітні поля, вивчені Pauzaite G. [133], демонструють як короткострокові, так і довгострокові ефекти на ріст рослин. Стимулятори росту, наприклад *Foliar Concentrate*, за даними Баган А. В. [134], здатні зменшити негативні наслідки зберігання.

Дослідження Скороходова М. Ю. [135, 139, 141] присвячені впливу проморожування та вологості на довговічність насіння пшениці та малопоширених видів, що має пряме значення для криозберігання бобових. Енергія проростання, за визначенням Ткачука О. П. [136], є ключовим екологічним фактором інтенсивності росту в перший рік сівби. Тривалий вплив систем обробітку ґрунту на його якість, оцінений Çelik İ. [137], створює фундамент для формування якісного насіннєвого матеріалу.

Завчасна інокуляція ризобіями, стійкими до фунгіцидів, за даними Кукол К. П. [138], є методом підвищення адаптивності насіння. Формування листової поверхні та структури врожаю, вивчене Присяжнюком О. І. та Слободянюком С. В. [140], корелює з енергією, закладеною в насініні. Контроль бур'янів та їхнього насіннєвого банку [142] також є частиною стратегії чистоти насінництва.

Колір насіннєвої оболонки та стан спокою, досліджені Torada A. [143], є візуальними маркерами потенціалу проростання. F. R. Nau [144] наголошує на критичній важливості точного визначення та контролю вологості насіння як головного фактора управління довговічністю. Класичні праці з насінництва

Макрушина М. М. [145] залишаються базою для розуміння фізіології формування насінини.

Тривалий вплив різних систем обробітку на вуглецеві пули та агрегацію ґрунту, проаналізований Д. Тора [146], створює умови для отримання насіння з високим адаптивним потенціалом. Порівняльна довговічність насіння в модельному досліді [147] та сучасні технології вирощування сочевиці, описані Черенковим А. В. [148], дозволяють прогнозувати вихід якісного насіння.

Дослідження Р. Munzuroglu [149] щодо впливу важких металів на ріст кореня та гіпокотилля використовуються як метод оцінки фітотоксичності та стресостійкості насінневих зразків. Індекси якості ґрунту, сформовані на основі тривалого управління [150], а також концептуальна модель довговічності насіння [152] доповнюють комплексну оцінку посівного потенціалу культури.

Формування врожаю сочевиці залежно від елементів технології, за даними Сергєєва Л. А. [153], та екологічні методи моніторингу [154] демонструють універсальність методів оцінки життєздатності.

Витривалість сортів гороху до заморожування [155], характеристика проростання півчастих пшениць [156] та використання CART-моделей для аналізу врожайності [157] свідчать про перехід від простих методів оцінки до складного математичного моделювання посівного потенціалу.

Отже, оцінка посівного потенціалу насіння сочевиці при довготривалому зберіганні базується на інтеграції фізіологічних (схожість, енергія), біохімічних (активність амілаз, каталази) та математичних методів прогнозування. Використання моделей прискореного старіння та кріоконсервації дозволяє не лише зберігати, а й об'єктивно оцінювати життєздатність насінневого фонду, що є запорукою успішного відтворення культури в мінливих екологічних умовах.

Висновки до розділу 1

Узагальнення результатів досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів щодо біологічних особливостей харчової сочевиці, факторів її врожайності та

закономірностей збереження посівного потенціалу насіння дозволяє виділити такі ключові висновки.

Сочевиця харчова (*Lens culinaris* Medik.) визначена як стратегічно важлива високобілкова культура, що володіє унікальним нутритивним профілем та високою агроекологічною пластичністю [1, 2, 8]. Встановлено, що реалізація її біологічного потенціалу в умовах мінливого клімату України залежить від інтегрованого підходу, який поєднує використання генетично поліпшених сортів, оптимізацію мінерального живлення та обов'язкову інокуляцію насіння специфічними штамми ризобій [38, 57, 103].

Довговічність насіння сочевиці є комплексною ознакою, що детермінується генетичними чинниками та умовами формування на материнській рослині [5, 59, 130]. Аналіз літератури засвідчив, що критичними факторами деградації насіння під час зберігання є неконтрольовані коливання температури та вологості, які запускають механізми пероксидного окиснення ліпідів, зниження активності ферментативних систем (зокрема амілаз та каталази) та пошкодження клітинних мембран [58, 66, 129, 151].

Сучасні технології зберігання, такі як використання герметичних полімерних місткостей (рукавів), модифіковане газове середовище та кріоконсервація, визнані найбільш ефективними методами пролонгації життєздатності насіння [86, 92, 93, 124]. Встановлено, що герметизація дозволяє мінімізувати дихання насіння та розвиток патогенної мікрофлори, що особливо актуально для збереження генофонду в довгостроковій перспективі [87, 108, 114].

Методологія оцінки посівного потенціалу еволюціонувала від визначення стандартних показників схожості до використання математичного моделювання (наприклад, констант життєздатності KE та CW) та біохімічних маркерів [63, 123, 144]. Проте залишається недостатньо вивченим питання поєднання традиційних агротехнічних заходів із новітніми способами зберігання насіння в умовах конкретних ґрунтово-кліматичних зон України.

Науковий пошук потребує глибшого вивчення кореляційних зв'язків між тривалістю зберігання та здатністю насіння до формування повноцінного

симбіотичного апарату після висіву [118, 125, 140]. Це дозволить розробити адаптивні технології відтворення сочевиці, які забезпечать сталу врожайність та високу якість зерна незалежно від тривалості перебування насіннєвого матеріалу та тривалості його зберігання.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово - кліматичні умови у дослідженнях

Експериментальні дослідження проводилися в умовах Правобережного Лісостепу України на дослідних полях Уманського національного університету садівництва, ґрунтовий покрив яких представлений переважно чорноземами опідзоленими. Даний тип ґрунтів, що займає близько 16 % загальної площі регіону, характеризується унікальним поєднанням генетичних ознак типових чорноземів (глибока гумусованість, наявність кротовин) та темно-сірих лісових ґрунтів (альювіально-ілювіальна диференціація профілю).

Для морфологічної будови досліджуваних ділянок характерна наявність білуватої кремнеземистої присипки в гумусовому горизонті та помітне оглинювання в середній частині профілю, що свідчить про інтенсивність процесів вилуговування карбонатів. Потужність гумусового шару на вододільних плато Уманщини досягає значних показників (до 110 см), що створює сприятливе середовище для глибокого проникнення стрижневої кореневої системи сочевиці харчової.

Детальний аналіз фізичного стану чорнозему опідзоленого свідчить про виражену вертикальну диференціацію основних констант залежно від глибини залягання генетичних горизонтів.

Агрофізичний стан чорнозему опідзоленого на дослідних ділянках характеризується високою структурністю та вираженою вертикальною диференціацією основних констант.

Встановлено, що питома маса твердої фази ґрунту в межах профілю варіює від 2,57 до 2,66 г/см³, що вказує на поступове ущільнення мінеральної частини при переході від гумусово-елювіального до ілювіального горизонту. Показники щільності складення в орному та підорному шарах зафіксовані на рівні 1,23–1,24 г/см³, що визначає будову ґрунту як оптимально пухку для безперешкодного розвитку стрижневої кореневої системи сочевиці та належної аерації.

Гідрологічний режим досліджуваного профілю детермінується вологістю стійкого в'янення, граничні значення якої коливаються від 10,6 до 12,5 %. Ці показники визначають нижню межу доступності вологи для рослин, що є критичним фактором при оцінці посухостійкості проростків сочевиці на початкових етапах онтогенезу. Збільшення щільності та питомої маси в нижній частині профілю зумовлене процесами ілювіального накопичення колоїдних часток та частковим оглинюванням середньої частини генетичного горизонту.

Виявлена стабільність агрофізичних параметрів у верхньому (0–30 см) шарі є результатом високого вмісту органічної речовини, що сприяє формуванню водотривкої структури та поліпшенню теплового режиму. Тісна кореляція між рівнем гумусованості та фазовим складом ґрунту забезпечує сприятливий повітряно-газовий режим, необхідний для функціонування симбіотичного апарату бобових культур (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрофізичні властивості чорноземів опідзолених важкосуглинкових

Шар ґрунту, см	Питома маса, г/см ³	Об'ємна вага, г/см ³	Загальна пористість, %	Ґрунтова вологість стійкого в'янення		Найменша вологоємність		Діапазон активної вологи, мм
				%	мм	%	мм	
0-30	2,65	1,22	53,9	11,1	40,6	29,2	106,8	66,2
30-70	2,68	1,31	51,1	11,5	60,2	24,7	129,0	68,8
70-100	2,71	1,39	48,5	10,8	45,2	22,5	94,1	48,9
100-150	2,73	1,37	49,7	11,2	77,0	22,1	151,6	74,6
0-70	2,17	1,27	52,3	11,3	100,8	26,6	235,8	135,0
0-100	2,68	1,31	51,2	11,2	146,0	25,4	329,9	183,9
0-150	2,70	1,33	50,7	11,2	223,0	24,3	481,5	258,5

Варто вказати, оптимальна структура ґрунту стимулює розвиток автохтонної мікрофлори та посилює активність азотфіксації. Таким чином, зміна актуальної кислотності та аерації ґрунтового розчину внаслідок агротехнічних

заходів суттєво впливає на доступність мезо- та мікроелементів, трансформуючи поживний режим агрофітоценозу в цілому

Таким чином, чорноземи опідзолені Правобережного Лісостепу, за умови раціонального землекористування володіють високим біоенергетичним потенціалом для вирощування високобілкових зернобобових культур.

Клімат району проведення досліджень (м. Умань) характеризується як помірно-континентальний із м'якою зимою та теплим, іноді посушливим літом. Аналіз гідротермічного режиму за період 2022–2026 рр. свідчить про значну мінливість погодних умов, що суттєво впливало на розвиток сочевиці.

Метеорологічні умови періоду 2022–2026 рр. характеризуються як аридні (посушливі) та аномально теплі. Для культури сочевиці такі умови були лімітуючим фактором, що дозволило максимально чітко простежити різницю між варіантами досліду: насіння з високою енергією проростання (свіжозібране, велика фракція) демонструвало значно вищу адаптивність до дефіциту вологи у критичний період «сівба–сходи».

Аналіз річного циклу температур свідчить про суттєву трансформацію клімату в бік потепління: середньорічні показники перевищували норму на 1,5–3,0 °С. Особливо критичним для сочевиці є стрімке зростання температур у березні-квітні, що призводило до швидкого фізичного висихання верхнього шару ґрунту. Зимові періоди характеризувалися частими відлигами (особливо у лютому).

Результати аналізу температурного режиму м. Умань за 2022–2026 рр. свідчать про стійку тенденцію до глобального потепління, що проявляється у значному перевищенні середньорічних показників над багаторічною нормою (8,5 °С).

Протягом усього періоду досліджень середньорічні температури коливалися в межах 10,0–11,5 °С, що на 1,5–3,0 °С вище за кліматичну норму регіону. Найбільш аномально теплим виявився 2024 рік, де середньорічний показник сягнув позначки 11,5 °С, що створювало умови підвищеної термічної напруги для агрофітоценозів сочевиці.

Зимові періоди характеризувалися аномальною м'якістю, зокрема у лютому спостерігалось стабільне перевищення норми на 3,5–5,8 °С, що призводило до раннього відновлення весняної вегетації.

Березень у всі роки досліджень демонстрував інтенсивне наростання тепла (3,8–6,2 °С проти норми 1,7 °С), що сприяло швидкому фізичному висиханню верхнього шару ґрунту та вимагало стислих термінів сівби.

Встановлено, що пік температурного навантаження припадав на липень та серпень, де показники сягали 24,2–24,8 °С, перевищуючи середньобагаторічні значення на 3,4–4,0 °С. У червні — критичний період для формування генеративних органів сочевиці температурний фон утримувався на рівні 19,8–21,3 °С, що дещо вище за біологічний оптимум культури (табл. 2.2)

Таблиця 2.2

Середньомісячна температура повітря, °С (м. Умань)

Місяць	2022	2023	2024	2025	2026*	Середньобагаторічна (норма)
Січень	-1,2	-0,5	-2,8	-1,1	-1,5	-4,1
Лютий	1,5	0,2	2,5	1,8	2,1	-3,3
Березень	3,8	5,4	6,2	5,1	5,8	1,7
Квітень	9,8	10,5	12,4	11,2	11,8	9,2
Травень	15,4	16,2	17,5	16,8	17,2	15,6
Червень	20,1	19,8	21,3	20,5	21,0	19,1
Липень	21,8	22,4	24,8	23,6	24,2	20,8
Серпень	22,5	23,1	24,2	23,8	24,0	20,2
Вересень	14,2	16,8	18,5	17,4	17,0	14,5
Жовтень	9,5	11,2	10,8	10,2	10,5	8,2
Листопад	3,2	4,5	3,8	4,1	4,0	2,1
Грудень	-0,5	0,8	-1,2	-0,4	-0,8	-1,9
Середньорічна	10,0	10,9	11,5	11,1	11,3	8,5

Осінній період (вересень–жовтень) також характеризувався підвищеним рівнем тепла, особливо у 2024 році, коли середня температура вересня (18,5 °С) перевищила норму на 4,0 °С. Мінімальні від'ємні температури зафіксовані у

січні 2024 року (-2,8 °С), проте вони були значно вищими за норму (-4,1 °С), що вказує на відсутність суворих зим протягом циклу досліджень (табл. 2.2)

Загальна сума опадів за досліджуваний період (2022–2025 рр.) у більшості років була нижчою за середньобагаторічну норму (601 мм). Найбільш посушливим виявився 2024 рік, де річна сума опадів склала лише 316 мм (52% від норми), що в поєднанні з високими температурами створило умови жорсткої посухи. Важливим аспектом є дефіцит опадів у серпні–вересні, що ускладнювало підготовку ґрунту під наступні культури (табл. 2.3)

Таблиця 2.3

Місячна сума опадів, мм (м. Умань)

Місяць	2022	2023	2024	2025	Середньобагаторічна (норма)
Січень	35	42	28	38	36
Лютий	28	30	15	35	33
Березень	22	45	18	30	35
Квітень	42	55	28	48	45
Травень	35	48	32	52	55
Червень	78	62	45	70	78
Липень	54	81	15	62	82
Серпень	22	30	18	25	58
Вересень	65	15	10	40	52
Жовтень	40	52	35	45	38
Листопад	48	65	40	50	43
Грудень	45	55	32	45	46
Разом за рік	514	580	316	540	601

Липневі максимуми опадів (наприклад, 81 мм у 2023 р.) часто мали зливовий характер, що на фоні високих температур призводило до великих втрат вологи через випаровування та поверхневий стік

Таким чином, метеорологічні умови 2022–2026 рр. характеризувалися стійким потеплінням із перевищенням середньорічної норми температур на 1,5–3,0 °С, що прискорювало темпи проходження фаз онтогенезу культури.

Дефіцит опадів у критичні періоди вегетації (особливо у посушливому 2024 році — 316 мм) виступав лімітуючим фактором, що дозволило об'єктивно оцінити адаптивність насіння різних фракцій до гідротермічного стресу.

2.2. Характеристика об'єктів дослідження

Об'єктами досліджень було обрано два сучасні сорти сочевиці харчової (*Lens culinaris* Medik.), які на момент проведення експериментів були внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, та рекомендовані для зон Степу та Лісостепу.

Сорт Даринка (червонозерний морфотип) створений у Державній установі Інститут зернових культур НААН України (м. Дніпро). Рік реєстрації - 2019.

Сорт вирізняється коротким періодом вегетації (75 діб) та високою посухостійкістю (8 балів). Рослини мають висоту 58 см із прикріпленням нижнього бобу на рівні 17 см, що забезпечує придатність до механізованого збирання.

Маса 1000 насінин за даними заявника становить 39 г. Вміст білка в зерні — 26%. Сорт характеризується високою стійкістю до розтріскування бобів (8 балів) та комплексною стійкістю (7 балів) до основних збудників хвороб: аскохітозу (*Ascochyta ervicola* Syd.), фузаріозу (*Fusarium oxysporum* Schlecht.) та бактеріального в'янення.

Сорт СНІМ 18 / SNIM 18 (зеленозерний морфотип) Сорт української селекції (заявник — Вовк В. А.). Рік реєстрації - 2018. Рекомендований для вирощування в зонах Степу, Лісостепу та Полісся.

Більш пізньостиглий порівняно з попереднім сортом – тривалість вегетації становить 93 доби. Рослини нижчі (39 см), проте мають стабільну висоту прикріплення нижнього бобу – 16,5 см. Урожайність насіння за стандартної вологості складає 2,6 т/га.

Насіння дещо крупніше, ніж у сорту Даринка, маса 1000 насінин становить 42 г. Вміст білка -28%. Сорт має високу стійкість до вилягання та розтріскування

бобів (8 балів). Виявляє високу толерантність до ураження аскохітозом (8 балів) та стійкість до пошкодження смугастим довгоносиком (8 балів).

Обидва сорти належать до дрібнозерної групи, проте суттєво різняться за тривалістю вегетації (75 проти 93 діб) та генетично детермінованим вмістом білка (26% та 28%), що є критично важливим при вивченні інтенсивності біохімічного старіння насіння.

2.3. Схеми експериментів і методики визначення фізичних, фізіологічних і біохімічних показників якості насіння

Програма досліджень передбачала комплексне вивчення взаємодії генотипових особливостей (морфотипу), тривалості зберігання та фракційного складу насіння як детермінантів його посівного потенціалу, онтогенетичної стійкості і продуктивність рослин.

Значну увагу було приділено встановленню закономірностей деградації життєздатності насіння залежно від його фізичних параметрів та часового фактора, що дозволило об'єктивно оцінити адаптивну здатність різних морфотипів культури до тривалого зберігання в умовах Правобережного Лісостепу.

Дослідження були закладені згідно методичних рекомендацій і основ наукових досліджень в агрономії [158-160].

Технологія вирощування сочевиці в досліді базувалася на загальноприйнятій для зони Правобережного Лісостепу схемі з урахуванням специфіки трифакторного експерименту.

Експериментальна частина роботи базувалася на трифакторному модельному досліді. Схема досліджень включала наступні чинники:

Схема 1. Вплив морфотипу, тривалості зберігання і фракційного складу насіння сочевиці на його посівні якості

Фактор А (Морфотип):

- Червонозерна сочевиця (*Lens culinaris*)
- Зеленозерна сочевиця (*Lens culinaris*)

Фактор В (Тривалість зберігання):

- Свіжозібране (вихідний контроль)
- 1 рік,
- 2 роки,
- 3 роки,
- 4 роки,
- 5 років.

Фактор С (Фракційний склад насіння):

I (велика) >5,0 мм;

II (середня) 4, 0–5,0 мм;

III (дрібна) 3,0–4,0 мм

Контроль: Свіжозібране насіння середньої фракції кожного виду (що дозволить порівнювати старіння окремо для кожного морфотипу).

Польовий дослід закладений систематичним методом за схемою розщеплених ділянок у триразовому повторенні, із загальною площею – 50 м² і обліковою – 25 м².

Кращим попередником для культури була пшениця озима, що забезпечило оптимальний фітосанітарний стан поля та сприятливий водно-фізичний режим ґрунту. Основний обробіток ґрунту включав лущення стерні та зяблеву оранку на глибину 22–24 см, а весняний — закриття вологи та передпосівну культивуацію.

Сівбу проводили у ранні терміни (перша декада квітня) при прогріванні ґрунту до 5–6°C, що дозволило максимально використати весняні запаси вологи. Для висіву використовували малогабаритну селекційну сівалку СН-16, яка забезпечує високу точність розподілу насіння різних фракцій.

Спосіб сівби — звичайний рядковий із шириною міжрядь 15 см, що є оптимальним для формування вирівняного стеблостою сочевиці.

Глибина загортання насіння становила 3–4 см, що гарантувало дружні сходи навіть за умов швидкого підсихання верхнього шару чорнозему опідзоленого. Норма висіву була диференційованою залежно від морфотипу і

становила 2,0–2,5 млн схожих насінин на 1 га для забезпечення оптимальної густоти стояння.

Догляд за посівами передбачав досходове та післясходове боронування для знищення бур'янів у фазі «білої ниточки» та ручне прополювання на облікових ділянках.

Збирання врожаю здійснювали прямим комбайнуванням селекційним комбайном (типу Samro «Сампо-130») у фазі повної стиглості насіння (75 % побурілих бобів).

У дослідженнях використовували такі методики і методи:

Маса 1000 насінин та вологість: Визначення проводили згідно з регламентом ДСТУ 4138-2002 [161] та ISO 520:2010 [162]. Використовували метод повітряно-теплової сушки за ISO 24557:2004 [163] при температурі 105°C до досягнення постійної маси, що дозволяє мінімізувати похибки, пов'язані з летючими фракціями олійних компонентів сочевиці.

Натура насіння: Встановлювали за допомогою літрової пурки за методикою ISO 7971-3:2019 [164].

Стан та цілісність насінневої оболонки: Аналізували шляхом макроструктурного сканування та методу індикації мікротріщин перикарпію, що описано у працях I. Martín [165] та P. Coolbear [166].

Технологічні властивості (лущення, вихід ядра): Оцінювали згідно з методичними рекомендаціями ISO 605:1991 [167] та розробками М. Я. Кирпи [168]. Оцінювали за коефіцієнтом виходу чистого ядра та ступенем відділення оболонки при механічному впливі.

Енергія проростання та лабораторна схожість: Визначали за протоколами ISTA [169] та ДСТУ 4138-2002 [161] визначали шляхом інкубації у кліматичних камерах при стабільному терморегімі (20±0,5°C).

Дружність появи паростків та коефіцієнт сили росту: Розраховували за динамікою щоденного обліку пророслих насінин за моделлю Р. В. Vose [170] та методикою В. Д. Паламарчука [171].

Життєздатність насіння: Верифікували за допомогою топографічного тетразолного тесту згідно з ISO 11631:2020 [172]. Метод базується на

відновленні безбарвного 2,3,5-трифенілтетразолійхлориду дегідрогеназами живих тканин у червоний формазап, що дозволяє візуалізувати локалізацію некрозів у зародку [173].

Показник T50 (час до 50% проростання): Використовували як розрахунковий індикатор періоду втрати 50% життєздатності, базуючись на рівнянні R. H. Ellis і E. H. Roberts [174, 175].

Інтегральний показник (%) = середнє від нормалізованих значень: польова схожість (від 0 до 100 %), валовий урожай (відносно максимального, % від найвищого врожаю) і чистий прибуток або рентабельність (відносно максимуму, %). Чим ближче до 100 %, тим вища сумарна ефективність насіння.

Вміст сирого білка: Визначали методом спалювання за Дюма згідно з ISO 16634-2:2016, що є сучасним еталоном точності порівняно з методом К'ельдаля. [176].

Вміст жиру та його якість: Екстракцію ліпідів проводили за методом Рендалла (ISO 11085:2015 [177]) і Сокслета (ISO 659:2009 [178]). Кислотне число жиру визначали за ISO 7305:2019 збільшення цього показника є індикатором гідролітичного розпаду ліпідів під впливом ендогенних ліпаз, що є прямим маркером гідролітичного розпаду ліпідів при тривалому зберіганні [179].

Активність пероксидази та загальну антиоксидантну активність (АОА) оцінювали спектрофотометрично за методиками Грицаєнко З. М. [180] та європейськими протоколами аналізу рослинних екстрактів [181].

Вміст редукованих цукрів: Аналізували для оцінки інтенсивності дихання насіння, враховуючи фактори прихованого зараження комахами за ISO 6639-4:2004 [182].

Польова схожість та тривалість періоду «сівба–сходи»: Фіксували згідно з Методикою державного сортовипробування [183] та рекомендаціями В. В. Мойсієнка [184].

Морфометрія проростків та формування біомаси: Довжину кореня, гіпокотилу та пагона вимірювали згідно з методикою О. І. Присяжнюка [185].

Площу листової поверхні (LAI) встановлювали за методом Р. V. Lykhovud [186] та методиками моніторингу посівів [187].

Структуру врожаю та біологічну врожайність: Аналізували за покомпонентним складом рослин відповідно до методики В. А. Мазура [188] та Г. В. Панциревої [189].

Вживаність рослин: Розраховували за відношенням густоти перед збиранням до польової схожості за І. М. Дідуром [190].

Енергетична ефективність: Розраховували на основі енергетичного еквівалента ресурсів згідно з підходами О. К. Медведовського [191].

Економічний аналіз: Обґрунтовували за методикою порівняльної рентабельності варіантів М. Я. Дем'яненка [192].

Статистичні розрахунки: Використовували методику селекційного експерименту (у рослинництві) [193].

Висновки до розділу 2

Експериментальні дослідження проводилися на чорноземах опідзолених важкосуглинкових, які характеризуються високим агрофізичним потенціалом: оптимальною щільністю складення ($1,22\text{--}1,39\text{ г/см}^3$) та загальною пористістю ($48,5\text{--}53,9\%$). Потужність гумусового профілю до 110 см та стабільний діапазон активної вологи ($66,2\text{--}183,9\text{ мм}$) створюють репрезентативні умови для вивчення онтогенетичної стійкості сочевиці харчової.

Метеорологічні умови періоду 2022–2026 рр. відзначилися вираженою аридністю та термічною аномальністю, де середньорічна температура перевищувала норму на $1,5\text{--}3,0\text{ }^\circ\text{C}$. Найбільш критичним для реалізації посівного потенціалу виявився 2024 рік із дефіцитом опадів у 285 мм відносно багаторічної норми, що дозволило об'єктивно диференціювати досліджувані фракції насіння за рівнем їхньої адаптивності до гідротермічного стресу.

Об'єктами досліджень обрано контрастні за біологічними ознаками сорти сочевиці: Даринка (червонозерний морфотип, вегетація 75 діб) та СНІМ 18 (зеленозерний, 93 доби). Трифакторна схема досліду (морфотип \times тривалість

зберігання до 5 років × фракційний склад) забезпечує комплексне вивчення деградації насіння та встановлення кореляційної залежності між вмістом білка (26–28 %) і темпами біохімічного старіння.

Науково-методична робота базується на поєднанні класичних ДСТУ та сучасних міжнародних стандартів ISO і ISTA, що гарантує високу точність визначення посівних та технологічних якостей насіння. Використання інноваційних маркерів (тетразольний тест, показник T50, активність пероксидази та кислотне число жиру) дозволяє на мікроструктурному рівні верифікувати глибину деструктивних процесів у насінні залежно від тривалості його експозиції в умовах зберігання.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ ПОСІВНИХ ЯКОСТЕЙ НАСІННЯ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД МОРФОТИПУ ТА ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ

3.1. Динаміка фізико-хімічних показників насіння залежно від тривалості зберігання і фракційного складу

Аналіз показників щільності (натури) насіння сочевиці вказав, що найвищі значення натури формувало насіння фракції (>5,0 мм), яке закономірно пов'язано з більшою виповненістю та масивністю зернівки. У свіжозібраному стані натура червонозерної форми становила 812 г/л, тоді як зеленозерної - 825 г/л, що свідчить про вищу щільність зерна останньої.

Варто вказати, що за першого року зберігання відзначалося незначне підвищення натури (на 2–3 г/л), що можна пояснити стабілізацією вологості та ущільненням зернової маси. У подальшому, починаючи з третього року зберігання, простежувалася чітка тенденція до поступового зниження показника, що особливо виражено проявилось на четвертому та п'ятому роках. Так, для крупної фракції червонозерної сочевиці натура знизилася до 793 г/л, а зеленозерної - до 803 г/л.

Встановлено, що насіння дрібної фракції (3,0–4,0 мм) характеризувалося найнижчими значеннями щільності упродовж усього періоду досліджень, що зумовлено меншою масою та виповненістю зернівки. Водночас закономірність зміни показника за роками зберігання для цієї фракції зберігалася аналогічною до крупної.

Дисперсійний аналіз показав істотний вплив фактора тривалості зберігання, тоді як вплив морфотипу та фракції був менш вираженим, але статистично достовірним. Взаємодія факторів А×В×С мала помірний характер, що свідчить про відносну стабільність закономірностей зміни натури незалежно від поєднання варіантів ($H_1P_{0,05} = 9,2$ г/л).

Таким чином, щільність насіння сочевиці знижується зі збільшенням терміну зберігання і інтенсивність цього процесу залежить від фракційного

складу та морфотипу, а найбільш стабільними за показником натуре є крупні фракції зеленозерної форми (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Щільність (натура) насіння сочевиці за різної тривалості зберіганні, г/л

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	812	815	814	808	801	793
4,0–5,0	798 К	801	799	793	786	778
3,0–4,0	776	779	777	771	764	756
Зеленозерна (А)						
>5,0	825	828	826	819	811	803
4,0–5,0	809 К	812	810	803	796	788
3,0–4,0	788	791	789	782	775	767
НіР _{0,05}	НіР _{0,05} 6,4					
	Фактор А (морфотип) —4,1					
	Фактор В (тривалість) —5,3					
	Фактор С (фракція) — 3,8					
	Взаємодія факторів А×В×С- 9,2					

Маса 1000 насінин є детермінованою генетичною ознакою, що відображає потенціал виповненості та крупності зерна конкретного морфотипу, проте за тривалого зберігання цей показник набуває статусу критичного індикатора фізіологічного стану біосистеми. Динаміка його змін слугує об'єктивним критерієм інтенсивності метаболічних процесів, зокрема витрат сухих речовин на дихання, що дозволяє використовувати масу насіння як надійний маркер біохімічного старіння та технологічної придатності сировини.

Проведеними дослідженнями встановлено, що маса 1000 насінин досліджуваних сортів сочевиці суттєво перевищувала показники, заявлені при реєстрації, що свідчить про високу агроекологічну пластичність сортів Даринка та СНІМ 18 в умовах Правобережного Лісостепу.

Проте, за тривалого зберігання спостерігається чітка тенденція до зниження даного показника. Так, за 5 років експозиції втрата маси 1000 насінин становила 4,5–5,2% залежно від фракції, що пов'язано з природними витратами сухої речовини на процес дихання. Найбільш стабільною до втрати маси

виявилася велика фракція (>5,0 мм) обох морфотипів, що пояснюється меншою питомою поверхнею дихання відносно об'єму насінини.

Дослідження вказують у свіжозібраному стані маса 1000 насінин червонозерної форми становила 74,8 г, тоді як зеленозерної - 77,5 г, що свідчить про її більшу масу насіння.

Встановлено, що зі збільшенням тривалості зберігання спостерігалася поступове зниження показника. Уже впродовж першого року відмічено незначне зменшення маси, що пов'язано зі стабілізацією вологості насіння та частковою втратою фізіологічної маси. Надалі тенденція до зниження зберігалася, і на п'ятий рік зберігання маса 1000 насінин крупної фракції червонозерної сочевиці зменшилася до 71,4 г, а зеленозерної - до 73,8 г.

Дослідженнями доведено, що подібна закономірність простежувалася й для середньої та дрібної фракцій, однак абсолютні значення показника були істотно нижчими. Насіння фракції 3,0–4,0 мм характеризувалося найменшою масою протягом усього періоду досліджень, що обумовлено меншими розмірами та меншою виповненістю зернівки (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Маса 1000 насінин сочевиці залежно від виду та фракційного складу за різної тривалості зберігання, г

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	74,8	74,2	73,6	72,9	72,1	71,4
4,0–5,0	68,3 К	67,8	67,2	66,5	65,8	65,0
3,0–4,0	61,7	61,2	60,6	59,9	59,2	58,5
Зеленозерна (А)						
>5,0	77,5	76,9	76,2	75,4	74,6	73,8
4,0–5,0	71,2 К	70,6	69,9	69,2	68,4	67,6
3,0–4,0	64,5	63,9	63,3	62,6	61,9	61,1
	НіР _{0,05} 0,85					
	Фактор А (морфотип) —0,52					
	Фактор В (тривалість) —0,71					
	Фактор С (фракція) —0,64					
	Взаємодія факторів А×В×С - 1,20					

Дисперсійний аналіз підтвердив достовірний вплив усіх досліджуваних факторів. Найбільш вираженим був вплив фракційного складу та тривалості зберігання, тоді як вплив морфотипу мав стабільний, але менш інтенсивний характер. Взаємодія факторів $A \times B \times C$ була статистично значущою, що свідчить про специфіку зміни маси насіння залежно від поєднання морфотипу, фракції та строку зберігання (табл.3.2).

Отже, маса 1000 насінин сочевиці при тривалому зберіганні поступово зменшується і найбільш стабільними за цим показником залишаються крупні фракції зеленозерної форми.

Важливим під час тривалого зберігання є вміст макротріщин. Так, у свіжозібраному насінні цей показник становив 1,5–3,1 %, що свідчить про високий рівень структурної цілісності оболонки.

Дослідження підтверджують, що навіть після першого року зберігання відзначалося помірне підвищення показника, однак найбільш інтенсивне зростання кількості пошкоджених насінин спостерігалось починаючи з третього року. На п'ятий рік зберігання частка насіння з макротріщинами у дрібній фракції червонозерної сочевиці досягала 27,3 %, тоді як у зеленозерної - 23,9 % (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Стан цілісності насінневої оболонки та вміст макротріщин, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	1,8	2,6	3,9	6,8	10,5	15,4
4,0–5,0	2,3 К	3,4	5,2	8,6	13,7	19,8
3,0–4,0	3,1	4,8	7,5	12,9	19,6	27,3
Зеленозерна (А)						
>5,0	1,5	2,1	3,2	5,7	8,9	13,2
4,0–5,0	1,9 К	2,9	4,4	7,5	11,8	17,1
3,0–4,0	2,6	4,0	6,3	10,8	16,7	23,9
	НіР _{0,05} 1,9					
НіР _{0,05}	Фактор А (морфотип) — 1,2					
	Фактор В (тривалість) — 1,6					
	Фактор С (фракція) — 1,4					
	Взаємодія факторів $A \times B \times C$ – 2,7					

Встановлено, що фракція (3,0–4,0 мм) характеризувалася найвищим рівнем пошкоджень упродовж усього періоду дослідження, що може бути пов'язано з меншою товщиною та механічною міцністю оболонки.

Крупна фракція (>5,0 мм) виявилася найбільш стійкою до утворення макротріщин.

Статистичні показники вказують, що вплив морфотипу був менш вираженим, але статистично достовірним (табл. 3.3).

Отже, тривале зберігання суттєво погіршує структурну цілісність насінневої оболонки, причому найбільш уразливими є дрібні фракції червонозерної сочевиці

Дослідження динаміки вологості насіння сочевиці показало чітку залежність показника від досліджуваних чинників. Так, у свіжозібраному насінні вологість становила 13,3–14,2 %, що відповідало фізіологічно обґрунтованим показникам після збирання.

Проведені дослідження вказують, що після першого року зберігання відбулося суттєве зниження вологості до рівня 9,7–10,5 %, що зумовлено процесами післязбирального дозрівання та встановлення рівноважної вологості зернової маси. У подальші роки спостерігалася поступова стабілізація показника з незначною тенденцією до зниження.

Варто відзначити фракцію насіння сочевиці (>5,0 мм), яка мала вищу вологість увесь період досліджень, що пов'язано з більшим об'ємом тканин та здатністю утримувати воду.

Зеленозерна форма стабільно перевищувала червонозерну за показником вологості на 0,2–0,4 %, однак різниця була неістотною

Таким чином, вологість насіння сочевиці істотно знижується в перший рік зберігання та надалі стабілізується, при цьому фракційний склад і морфотип мають другорядний, але статистично значущий вплив (табл. 3.4).

Результати проведених досліджень вказують, що найбільш вагомим чинником є морфотип при дослідженні вмісту білка. Так, зеленозерна сочевиця характеризується вищим вмістом білка, який у свіжозібраному насінні фракції понад 5,0 мм становить 27,1%, тоді як у червонозерної сочевиці цей показник

становить 25,8%. При порівнянні цих значень із показником НіР для фактора А, що дорівнює 0,42%, очевидно є статистична достовірність переваги зеленозерного морфотипу.

Таблиця 3.4

Динаміка вологості насіння залежно від виду та терміну зберігання, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	13,9	10,2	9,9	9,6	9,4	9,2
4,0–5,0	13,6 К	9,9	9,6	9,4	9,1	8,9
3,0–4,0	13,3	9,7	9,4	9,2	8,9	8,7
Зеленозерна (А)						
>5,0	14,2	10,5	10,1	9,8	9,6	9,4
4,0–5,0	13,8 К	10,1	9,8	9,5	9,3	9,1
3,0–4,0	13,5	9,8	9,5	9,3	9,0	8,8
НіР _{0,05}	Фактор А (морфотип) —0,18					
	Фактор В (тривалість) —0,23					
	Фактор С (фракція) —0,16					
	Взаємодія факторів А×В×С - 0,39					

Досліджено, що зі зменшенням розміру насінини концентрація білка закономірно знижується. У червонозерної сочевиці перехід від фракції понад 5,0 мм до 3,0–4,0 мм призводить до зменшення вмісту білка з 25,8% до 24,5%. Аналогічна тенденція характерна і для зеленозерної сочевиці, де показники знижуються з 27,1% до 25,6%. Оскільки показник НіР для фактора С становить 0,35%, різниця між крайніми фракціями в межах одного морфотипу є суттєвою та математично доведеною.

Варто вказати, що за тривалого зберігання насіння відмічено поступову деструкцію білкових речовин, що відображено у зміні показників протягом п'яти років. Найбільш стрімке зниження вмісту білка спостерігається після третього року зберігання. Так, у великій фракції червонозерної сочевиці вміст білка зменшується з початкових 25,8% до 24,6% на третій рік і до 23,7% на п'ятий рік.

Досліджено, що у зеленозерної сочевиці за цей же період показник знижується з 27,1% до 24,7%. Враховуючи, що НіР для фактора В становить 0,38%, втрати білка стають статистично значущими вже після першого року зберігання для більшості варіантів (табл. 3.5).

Вміст білка у насінні сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	25,8 ± 0,3	25,5 ± 0,4	25,1 ± 0,3	24,6 ± 0,4	24,1 ± 0,3	23,7 ± 0,4
4,0–5,0	25,2 ± 0,3К	24,9 ± 0,3	24,4 ± 0,3	23,9 ± 0,4	23,4 ± 0,3	22,9 ± 0,4
3,0–4,0	24,5 ± 0,4	24,1 ± 0,3	23,6 ± 0,4	23,0 ± 0,3	22,5 ± 0,4	22,0 ± 0,3
Зеленозерна (А)						
>5,0	27,1 ± 0,3	26,8 ± 0,4	26,3 ± 0,3	25,8 ± 0,3	25,2 ± 0,4	24,7 ± 0,3
4,0–5,0	26,4 ± 0,3К	26,0 ± 0,4	25,6 ± 0,3	25,0 ± 0,3	24,4 ± 0,4	23,9 ± 0,3
3,0–4,0	25,6 ± 0,4	25,2 ± 0,3	24,7 ± 0,4	24,1 ± 0,3	23,6 ± 0,4	23,0 ± 0,3
НіР _{0,05}	0,88	0,91	0,89	0,94	0,92	0,90
Фактор А (морфотип) — 0,42						
Фактор В (тривалість) — 0,38						
Фактор С (фракція) — 0,35						
Взаємодія факторів А×В×С - 0,71						

Комплексна оцінка взаємодії всіх трьох факторів за показником НіР 0,71% дозволяє виявити певні закономірності стійкості культури. Зеленозерна сочевиця великої фракції навіть після п'яти років зберігання зберігає вміст білка на рівні 24,7%, що фактично дорівнює показникам свіжозібраної червонозерної сочевиці фракції, де вміст білка становить 24,5%. Найнижче значення зафіксовано у дрібній фракції червонозерної сочевиці після п'яти років зберігання - 22,0% (табл. 3.5).

Дослідження динаміки масової частки жиру в насінні сочевиці дозволяє вказати про відносну стабільність показника протягом перших років зберігання з подальшою тенденцією до зниження після 3–4 років. Починаючи з третього року зберігання, спостерігалася тенденція до поступового зниження масової

частки жиру, що пов'язано з перебігом окиснювальних процесів та частковою деградацією ліпідної фракції.

Найбільші втрати зафіксовано на п'ятому році зберігання, а у свіжозібраному вміст жиру становив 1,63–1,92 % залежно від морфотипу та фракції. Протягом першого та другого року зберігання відзначалося незначне підвищення показника (на 0,03–0,07 %), що пояснюється зменшенням вологості та відповідним зростанням відносної частки сухих речовин (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Вміст жиру в насінні сочевиці залежно від виду та терміну зберігання, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	1,78	1,82	1,85	1,83	1,78	1,72
4,0–5,0	1,70 К	1,74	1,77	1,75	1,70	1,65
3,0–4,0	1,63	1,67	1,69	1,66	1,62	1,58
Зеленозерна (А)						
>5,0	1,92	1,96	1,99	1,96	1,90	1,84
4,0–5,0	1,84 К	1,88	1,91	1,88	1,83	1,78
3,0–4,0	1,75	1,79	1,82	1,79	1,74	1,69
НіР _{0,05}	Фактор А (морфотип) —0,04					
	Фактор В (тривалість) —0,05					
	Фактор С (фракція) —0,04					
	Взаємодія факторів А×В×С – 0,09					

Результати досліджень вказують, що зеленозерна форма характеризувалася стабільно вищим вмістом жиру порівняно з червонозерною (у середньому на 0,10–0,15 %) і фракція (>5,0 мм) мала перевагу за цим показником. Таким чином, масова частка жиру у насінні сочевиці характеризується відносною стабільністю в перші роки зберігання та поступовим зниженням у довготривалому періоді, що має враховуватися при оцінюванні якісних показників насінневого матеріалу (табл.3.6).

Дослідження у наших дослідах кислотного числа жиру показує про розпад ліпідів і чим довше зберігається насіння, тим вище цей показник. Це прямий доказ старіння до того, як насіння втратить схожість.

Встановлено, що у свіжозібраному матеріалі значення показника перебувало в межах 0,94–1,15 мг КОН/г жиру, що свідчить про високу якість та відсутність ознак деградаційних процесів.

У процесі зберігання спостерігалось закономірне зростання кислотного числа в усіх варіантах досліджу. Уже на другому році показник перевищував 1,5 мг КОН/г жиру, а на п'ятому році досягав 2,56–3,42 мг КОН/г жиру залежно від морфотипу та фракції. Таке підвищення свідчить про інтенсифікацію гідролітичних процесів та накопичення вільних жирних кислот у насінні.

Встановлено, що швидкість зростання показника варіювала залежно від анатомічних особливостей насіння та умов його формування. Отримані результати можуть вказувати про тісний зв'язок між тривалістю зберігання та погіршенням якісних характеристик ліпідної фракції насіння

Найінтенсивніше підвищення кислотного числа відзначено у дрібній фракції (3,0–4,0 мм), що пов'язано з більшою питомою поверхнею та вищою активністю окиснювально-гідролітичних процесів. Зеленозерна форма характеризувалася дещо нижчими значеннями показника порівняно з червонозерною, що може бути зумовлено вищим вмістом природних антиоксидантів.

Дисперсійний аналіз підтвердив достовірний вплив тривалості зберігання як провідного фактора варіації показника ($H_i P_{0,05} = 0,14$ мг КОН/г жиру). Вплив морфотипу та фракції був статистично значущим, однак менш вираженим. Взаємодія факторів $A \times B \times C$ мала помірний характер (табл. 3.7).

Отримані результати свідчать, що кислотне число жиру є чутливим індикатором біохімічного старіння насіння сочевиці та може використовуватися для оцінювання тривалості його безпечного зберігання.

Статистичний аналіз вказує, що вміст білка та масова частка жиру коефіцієнт варіації не перевищує 7,0%, що свідчить про високу точність проведених вимірювань та низьку амплітуду коливань у межах повторностей. Найменша варіабельність зафіксована для показника натурі (2,8%), що вказує на консервативність даної фізичної ознаки навіть за умови тривалої експозиції.

Зміна кислотного числа жиру в насінні сочевиці як показник біохімічного старіння, мг КОН на 1 г жиру

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	1,02	1,28	1,61	1,95	2,36	2,84
4,0–5,0	1,08 К	1,36	1,72	2,11	2,58	3,05
3,0–4,0	1,15	1,48	1,89	2,34	2,87	3,42
Зеленозерна (А)						
>5,0	0,94	1,19	1,48	1,79	2,14	2,56
4,0–5,0	0,99 К	1,25	1,59	1,96	2,38	2,81
3,0–4,0	1,05	1,34	1,72	2,14	2,63	3,12
НіР _{0,05}	НіР _{0,05}	0,14				
	Фактор А	0,09				
	Фактор В	0,12				
	Фактор С	0,08				
	Фактор АВС	0,21				

Встановлено, що показники стану насінневої оболонки та кислотного числа жиру демонструють аномально високу варіабельність, яка сягає 82,4% та 41,2% відповідно.

Різке зростання кількості макротріщин та накопичення вільних жирних кислот після третього року зберігання створює значний розрив між початковими та фінальними даними, що й відображається у високих статистичних відхиленнях.

Досліджено, що для кількісної оцінки темпів втрати якості було розраховано індекс деградації, який демонструє відсоткове відхилення параметрів на п'ятий рік зберігання відносно свіжозібраного контролю. Найбільш стійким до кількісних втрат виявився жировий комплекс, індекс деградації якого склав лише мінус 3,8%. Однак, паралельне зростання кислотного числа жиру на 195,0% вказує на глибоке якісне псування ліпідної

фракції. Вміст білка за період спостереження знизився на 9,1%, що свідчить про суттєву втрату харчової цінності сировини (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Статистичний аналіз динаміки фізико-хімічних показників та параметрів деградації насіння сочевиці при тривалому зберіганні

Показники якості	Одиниця виміру	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V,%)	Індекс деградації (ID,%) за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Щільність (натура)	г/л	794,2	2,8%	-2,5%	Достовірно
Маса 1000 насінин	г	68,4	7,5%	-4,6%	Достовірно
Макротріщини	%	8,9	82,4%	+820,0%	Висока значущість
Вологість	%	10,2	15,6%	-34,1%	Достовірно
Вміст білка	%	24,4	5,4%	-9,1%	Достовірно
Вміст жиру	%	1,77	6,8%	-3,8%	Достовірно
КЧЖ	мг КОН	1,85	41,2%	+195,0%	Експоненціальний

Найвищий рівень деградації зафіксовано для цілісності насінневої оболонки, де кількість дефектів зросла на 820,0%, що є критичним для подальшої технологічної переробки насіння. Таким чином, проведений статистичний аналіз підтверджує, що фізико-хімічне старіння насіння сочевиці має комплексний характер, де незначні кількісні втрати основних нутрієнтів супроводжуються стрімким погіршенням їхніх якісних характеристик та фізичного стану насінини.

Для встановлення глибинних патофізіологічних зв'язків між фізико-механічними руйнуваннями насінини та трансформацією її нутрієнтного комплексу нами було проведено кореляційний аналіз експериментальних даних (Додаток В). Математично доведено наявність тісного експоненціального зв'язку між руйнуванням насінневої оболонки (макротріщини) та інтенсифікацією гідролітичного розщеплення ліпідів ($r = +0,91$).

3.2. Зміни енергії проростання і схожості залежно від морфологічних фракцій насіння

Встановлено, що енергія проростання свіжозібраного насіння варіювала від 92% у червонозерної сочевиці до 97% у зеленозерного морфотипу.

Досліджено, що крупність насіння є вагомим чинником збереження його посівних якостей: велика фракція (понад 5,0 мм) стабільно переважала дрібну (3,0–4,0 мм) за енергією проростання на 3–5% у перші роки та на 11–13% наприкінці п'ятирічного терміну зберігання, що підтверджено значенням НіР для фактора С на рівні 2,5%.

Тривалий термін зберігання вказує, що життєздатності насіння набуває критичних значень після третього року зберігання. Так, в перші два роки зниження показника було в межах статистичної похибки або незначно перевищувало її, то на п'ятий рік зберігання енергія проростання зменшилось до 65,0–76,0% у червонозерної та до 68,0–79,0% у зеленозерної сочевиці.

Дослідження вказують, що вищі втрати енергії проростання у червонозерного морфотипу порівняно із зеленозерним (НіР фактора А - 2,9%) може бути пов'язана з інтенсивнішим накопиченням продуктів окиснення ліпідів та швидшою деградацією білкових структур, що було встановлено в попередніх хімічних аналізах.

Проведений статистичний аналіз взаємодії факторів із показником НіР 6,1% вказує на те, що крупна фракція сочевиці є більш стійкою до несприятливих біохімічних трансформацій, що відбуваються при старінні.

Характерно, що на п'ятий рік зберігання енергія проростання великої фракції (76,0–79,0%) залишається на рівні, який дозволяє розглядати дане насіння як умовно придатне для використання, тоді як дрібні фракції втрачають свою біологічну цінність набагато швидше. Це свідчить про доцільність використання крупної фракції як більш стабільного посівного матеріалу при тривалому зберіганні.

Дані вказують про доцільність використання крупної фракції як більш стабільного посівного матеріалу при тривалому зберіганні. Крім того, врахування фракційного складу насіння може бути ефективним інструментом

оптимізації технологій зберігання та підвищення якості посівного матеріалу (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Енергія проростання насіння сочевиці, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	96	94	91	87	82	76
4,0–5,0	95 (К)	93	89	84	79	72
3,0–4,0	92	89	84	78	72	65
Зеленозерна (А)						
>5,0	97	95	93	89	84	79
4,0–5,0	96 (К)	94	91	86	81	75
3,0–4,0	93	90	86	80	74	68
НіР _{0,05}	4,8					
Фактор А	2,9					
Фактор В	3,7					
Фактор С	2,5					
Фактор АВС	6,1					

Таким чином, енергія проростання виступає інтегральним показником, що відображає кумулятивний вплив морфотипу, розміру та часового чинника на якість насіннєвого матеріалу.

Проведені результати досліджень лабораторної схожості насіння сочевиці дозволило встановити граничні терміни збереження його кондиційних якостей залежно від морфотипу та розмірних характеристик фракцій. Так, упродовж перших двох років зберігання насіння мало високу життєздатність, а зниження схожості не перевищувало встановлений поріг істотної різниці для фактора тривалості зберігання (НіР 3,1%). Це вказує на стабільність біохімічних процесів у зародку в початковий період зберігання за умови дотримання оптимальних параметрів вологості.

Дослідження вказують, що за третього року зберігання, спостерігалася інтенсифікація деградаційних процесів, що призвело до суттєвого зниження схожості, особливо у дрібних фракцій червонозерного морфотипу, де показник

впав до 85%, а на п'ятий рік досяг мінімального значення у 74%. Водночас зеленозерна сочевиця виявила вищу стійкість до фізіологічного старіння (НіР фактора А — 2,4%), що корелює з раніше встановленим вищим вмістом білка та нижчим рівнем накопичення продуктів окиснення жирів у цьому морфотипі.

Встановлено, що фракційний склад насіння є критичним фактором: фракція (понад 5,0 мм) у всіх варіантах забезпечувала вищу схожість порівняно з 3,0–4,0 мм (НіР фактора С - 2,2%), що пояснюється більшим об'ємом ендосперму та вищою енергозабезпеченістю зародка.

Аналіз взаємодії факторів із показником НіР 5,4% підтверджує, що поєднання крупнозернистості та генетичних особливостей зеленозерного морфотипу дозволяє довше зберігати посівну придатність насіння. Після п'ятирічного зберігання схожість фракції >5,0 мм зеленозерної сочевиці залишалася на рівні 86%, що на 12% перевищувало показники дрібної фракції червонозерного морфо типу (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Лабораторна схожість насіння залежно від фракції і терміну експозиції, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	98	97	95	92	88	83
4,0–5,0	97 (К)	96	93	89	85	79
3,0–4,0	95	93	90	85	80	74
Зеленозерна (А)						
>5,0	99	98	96	94	90	86
4,0–5,0	98 (К)	97	95	91	87	82
3,0–4,0	96	94	91	87	82	77
НіР _{0,05}	3,9					
Фактор А	2,4					
Фактор В	3,1					
Фактор С	2,2					
Фактор АВС	5,4					

Таким чином, лабораторна схожість є індикатором, що підсумовує негативний вплив макротріщин оболонки та біохімічного старіння жирового і білкового комплексів на репродуктивну здатність насіння.

Встановлено, що максимальну енергію проростанні демонструє свіжозібране насіння зеленозерного морфотипу фракції (4-5 мм), що на 3 мм перевищує аналогічний показник червонозерної сочевиці. Оскільки НіР для фактора А становить 1,6 мм, встановлена перевага зеленозерного морфотипу є статистично достовірною ознакою, що вказує на його вищий адаптивний потенціал.

Варто вказати, що впливу фракційного складу підтверджує пряму залежність сили росту від крупності насіння. Так, у всіх варіантах дослідження фракція (3,0–4,0 мм) суттєво поступалася (понад 5,0 мм) за довжиною паростків: різниця становила від 8 мм у свіжозібраному стані до 10 мм на п'ятий рік зберігання. Зважаючи на НіР для фактора С на рівні 1,4 мм, можна стверджувати, що фракціонування сировини є необхідним етапом для відбору найбільш життєздатного насіннєвого матеріалу.

Найбільш вагомим чинником впливу виявилася тривалість зберігання, де НіР для фактора В склало 2,1 мм. Протягом п'яти років експозиції зафіксовано лінійне скорочення довжини паростків, яке стало найбільш критичним після третього року. На фінальному етапі досліджень довжина паростків дрібної фракції червонозерної сочевиці досягла мінімального значення 17 мм, що свідчить про глибоке виснаження енергетичних ресурсів насінини.

Дослідження вказують, що при оцінці взаємодії факторів із показником НіР 3,9 мм можна вказати, що навіть за умов тривалого зберігання велика фракція зеленозерної сочевиці зберігає інтенсивність росту на рівні 27 мм, що перевищує показники дрібної червонозерної сочевиці вже на четвертий рік її зберігання.

Таким чином, поєднання крупнозернистості та специфіки морфотипу є ключовим фактором пролонгації фізіологічної якості насіння (табл. 3.11).

Інтенсивність початкового росту (довжина паростків на момент підрахунку енергії), мм

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	42	40	37	33	29	24
4,0–5,0	39 (К)	37	34	30	26	21
3,0–4,0	34	32	29	25	21	17
Зеленозерна (А)						
>5,0	45	43	40	36	32	27
4,0–5,0	42 (К)	40	37	33	29	24
3,0–4,0	37	35	31	27	23	19
НіР _{0,05}	2,8					
Фактор А	1,6					
Фактор В	2,1					
Фактор С	1,4					
Фактор АВС	3,9					

Результати математичної обробки експериментальних даних (табл. 3.12) підтверджують гіпотезу про суттєву детермінацію посівних кондицій сочевиці часовим фактором. Оцінка за критерієм значущості ($p < 0,05$) вказує на високу достовірність отриманих результатів та репрезентативність вибірки.

Відзначено, що стабільним фізичним показником була натура зерна (щільність). Коефіцієнт варіації на рівні 2,4% свідчить про незначну мінливість цього параметра, а загальний індекс деградації за п'ять років становив лише 3,7%. Це дозволяє стверджувати, що морфометричні параметри та щільність насіння сочевиці зберігаються майже незмінними, що може вводити в оману при візуальній оцінці якості старого насіння.

Динаміка життєздатності вказує, що середня лабораторна схожість була на рівні 90,7%, її варіабельність (8,6%) та індекс деградації (17,2%) вказують на поступове вичерпання біологічного ресурсу.

Статистична оцінка показників якості насіння сочевиці залежно від тривалості зберігання

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Енергія проростання, %	85,3	10,8	23,9	достовірно
Лабораторна схожість, %	90,7	8,6	17,2	достовірно
Щільність (натура), г/л	795,4	2,4	3,7	достовірно
Інтенсивність початкового росту, мм	32,8	21,5	39,4	достовірно

Енергія проростання деградує значно швидше за схожість (ID = 23,9%), що свідчить про глибокі біохімічні зміни в зародку та ендоспермі, які передують повній втраті схожості.

Найбільш чутливим маркером старіння виявилася інтенсивність початкового росту. Високий коефіцієнт варіації (21,5%) та максимальний індекс деградації (39,4%) чітко корелюють із візуальним пригніченням первинного органогенезу. Це підтверджує, що навіть при збереженні здатності до проростання, насіння тривалих термінів зберігання не здатне забезпечити формування потужної первинної кореневої системи та проростка (табл. 3.12).

З метою чіткого ранжування ступеня домінуючого впливу кожного з досліджуваних чинників у трифакторному експерименті було розраховано частку впливу факторів за методом дисперсійного комплексу Плохинського (Додаток Г).

Таким чином, статистичний аналіз доводить, що зовнішні фізичні кондиції насіння залишаються стабільними на фоні стрімкої деградації його внутрішнього енергетичного потенціалу. Саме показник інтенсивності початкового росту слід вважати ключовим діагностичним критерієм при оцінці придатності насінневих фондів сочевиці до використання.

3.3. Вплив тривалості зберігання на морфометричні показники проростків сочевиці

Встановлено, що найвищим ростовим потенціалом характеризується зеленозерна сочевиця великої фракції, довжина кореня якої у свіжозібраному стані сягає 62 мм. Порівняно з червонозерним морфотипом аналогічної фракції перевага зеленозерних зразків становить 4 мм, що при значенні НіР для фактора А на рівні 2,1 мм підтверджує вищу фізіологічну активність зародка зеленозерної сочевиці.

Ключовим чинником забезпечення інтенсивного росту кореня є запас поживних речовин у сім'ядолях, що безпосередньо корелює з фракційним складом насіння. Для обох досліджуваних морфотипів зафіксовано закономірне зниження довжини кореня при зменшенні розміру насінин. Так, у свіжозібраному насінні перехід від великої до дрібної фракції призводив до скорочення довжини кореня на 10 мм, що за показника НіР для фактора С 1,8 мм вказує на визначальну роль крупності насіння у формуванні потужної первинної кореневої системи.

Експериментально підтверджено суттєву деградацію сили росту насіння протягом п'яти років зберігання, що виражається у скороченні довжини кореня проростків червонозерної сочевиці фракції $>5,0$ мм з 58 мм (свіжозібране) до 34 мм (5 років), тобто на 41,4 %.

Порівняльний аналіз морфотипів свідчить про генетичну перевагу зеленозерного, який у контрольній фракції 4,0–5,0 мм формує корінь завдовжки 58 мм, що на 4 мм більше, ніж у аналогічного варіанта червонозерної сочевиці.

Встановлено критичну роль фракційного складу: у свіжозібраному насінні зеленозерної сочевиці різниця між великою ($>5,0$ мм) та дрібною (3,0–4,0 мм) фракціями становить 10 мм (62 мм проти 52 мм), що підкреслює вищу концентрацію енергетичних ресурсів у великому зерні.

Динаміка старіння найбільш стрімко проявляється у дрібній фракції (3,0–4,0 мм) червонозерного морфотипу, де довжина кореня за період експозиції

знизилася на 22 мм (з 48 мм до 26 мм), досягаючи найнижчого значення в усьому експерименті.

Навіть за тривалого 5-річного зберігання велика фракція (>5,0 мм) обох сортів демонструє кращу життєздатність (34–38 мм), ніж дрібна фракція (3,0–4,0 мм) уже після 3 років зберігання (36–40 мм), що доводить доцільність використання саме великого насіння для створення довгострокових страхових фондів.

Досліджено, що за п'ятирічного періоду зберігання відмічено прогресуюче пригнічення ростових функцій, зумовлене біохімічним старінням насіння. Найбільш виражена депресія росту зафіксована після третього року експозиції, коли довжина кореня почала знижуватися на 5–6 мм щорічно. До кінця п'ятого року зберігання показники дрібної фракції червонозерної сочевиці впали до мінімального значення 26 мм, що свідчить про глибоку деградацію життєздатності (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Довжина кореня проростків залежно від тривалості зберігання та виду

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	58	55	51	46	40	34
4,0–5,0	54 (К)	51	47	42	37	31
3,0–4,0	48	45	41	36	31	26
Зеленозерна (А)						
>5,0	62	59	55	50	44	38
4,0–5,0	58 (К)	55	51	46	40	35
3,0–4,0	52	49	45	40	35	30
НіР _{0,05}	3,6					
Фактор А	2,1					
Фактор В	2,9					
Фактор С	1,8					
Фактор АВС	4,8					

Таким чином, оцінка взаємодії факторів із НіР 4,8 мм дозволяє стверджувати, що велика фракція зеленозерної сочевиці навіть на п'ятий рік

зберігання формує корінь довжиною 38 мм, що перевищує показники свіжозібраної дрібної фракції червонозерного морфотипу на другий-третій рік зберігання. Це підкреслює технологічну перевагу великих фракцій зеленозерної сочевиці як найбільш стійкої сировини до тривалих термінів зберігання.

Дослідження морфометричних параметрів гіпокотила сочевиці із свіжозібраного насіння показав, що зеленозерний морфотип характеризується вищою інтенсивністю росту гіпокотила, яка у великій фракції досягає 39 мм. Порівняно з червонозерною сочевицею аналогічного розміру, зеленозерні зразки демонструють перевагу на рівні 3 мм, що за значення НіР для фактора А 1,5 мм підтверджує статистичну значущість впливу морфотипу на початковий етап.

Експериментально підтверджено, що розмір насіння виявився критичним чинником для розвитку гіпокотила, оскільки він безпосередньо залежить від мобілізації запасних речовин сім'ядоль. У межах кожного морфотипу спостерігалось послідовне зменшення довжини гіпокотила при переході від великої до дрібної фракції. Так, у свіжозібраному стані різниця між крайніми фракціями складала 7 мм, що при НіР для фактора С 1,3 мм вказує на суттєве послаблення ростових процесів у дрібному насінні.

Варто вказати, що упродовж п'яти років зберігання зафіксовано прогресуюче скорочення довжини гіпокотила у всіх досліджуваних варіантах.

Найбільш інтенсивне зниження показника спостерігалось після третього року зберігання, що корелює з раніше встановленим зростанням кислотного числа жиру та деградацією білкових фракцій. До кінця п'ятого року довжина гіпокотила дрібної фракції червонозерної сочевиці знизилася до мінімальних 14 мм, що свідчить про втрату здатності насіння до формування повноцінних сходів.

Встановлена взаємодія факторів із показником НіР 3,6 мм дозволяє стверджувати, що велика фракція зеленозерної сочевиці виявляє найвищу фізіологічну стійкість, зберігаючи після п'яти років довжину гіпокотила на рівні 22 мм. Це перевищує показники дрібної фракції червонозерного морфотипу вже на четвертий рік зберігання, що обґрунтовує доцільність використання саме

великих фракцій зеленозерної сочевиці для тривалих термінів закладання на зберігання (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Довжина гіпокотила сочевиці залежно від тривалості зберігання, мм

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	36	34	31	27	23	19
4,0–5,0	33 (К)	31	28	24	21	17
3,0–4,0	29	27	24	20	17	14
Зеленозерна (А)						
>5,0	39	37	34	30	26	22
4,0–5,0	36 (К)	34	31	27	23	20
3,0–4,0	32	30	27	23	20	16
НіР _{0,05}	2,4					
Фактор А	1,5					
Фактор В	2,0					
Фактор С	1,3					
Фактор АВС	3,6					

Отримані результати свідчать про те, що зеленозерний морфотип має вищий потенціал формування вегетативної маси порівняно з червонозерним. Так, середня маса проростка великої фракції свіжозібраної зеленозерної сочевиці склала 0,195 г, що на 0,013 г перевищує показник червонозерну. Зважаючи на значення НіР для фактора А на рівні 0,005 г, встановлена перевага є статистично достовірною і обумовлена вихідним вищим вмістом білка та енергозабезпеченістю зародка.

Встановлено, що фракційний склад насіння виявився визначальним фактором впливу на вагу проростків, оскільки маса сім'ядолей безпосередньо лімітує кількість поживних речовин, доступних для росту. У всіх варіантах дослідження спостерігалось послідовне зниження маси проростка при зменшенні

розміру насіння: різниця між крайніми фракціями (понад 5,0 мм та 3,0–4,0 мм) становила 0,028–0,031 г, що суттєво перевищує показник H_iP для фактора С (0,004 г).

Варто вказати, що тривале зберігання насіння супроводжується інтенсивним зниженням маси сформованих проростків, що є наслідком біохімічного старіння та нераціональних витрат сухих речовин на дихання. Найбільш стрімке падіння показника зафіксовано після третього року зберігання. На п'ятий рік експозиції маса проростка дрібної фракції червонозерної сочевиці знизилася до мінімального значення 0,095 г, що вказує на критичне ослаблення фізіологічної сили насіння. Аналіз взаємодії факторів із H_iP 0,012 г дозволяє стверджувати, що велика фракція зеленозерного морфотипу навіть за умов п'ятирічного зберігання здатна формувати проростки масою 0,129 г (табл.3.15).

Таблиця 3.15

Маса одного проростка сочевиці залежно від досліджуваних чинників, г

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	0,182	0,175	0,166	0,151	0,134	0,118
4,0–5,0	0,169 (К)	0,162	0,153	0,139	0,123	0,108
3,0–4,0	0,154	0,147	0,138	0,124	0,110	0,095
Зеленозерна (А)						
>5,0	0,195	0,188	0,178	0,163	0,147	0,129
4,0–5,0	0,182 (К)	0,175	0,166	0,151	0,136	0,119
3,0–4,0	0,166	0,159	0,149	0,135	0,120	0,104
$H_iP_{0,05}$	0,009					
Фактор А	0,005					
Фактор В	0,007					
Фактор С	0,004					
Фактор АВС	0,012					

Таким чином, даний показник є вищим за масу проростків дрібної фракції червонозерної сочевиці вже на третій-четвертий рік їх зберігання, що

підтверджує стратегічну перевагу використання крупнозернистих зеленозерних морфотипів для забезпечення стабільної якості сировини при тривалих термінах зберігання.

Результати досліджень вказують, що співвідношення маси корінця до маси пагона, виступає інтегральним показником адаптивної здатності проростків сочевиці на початкових етапах розвитку.

Результати досліджень засвідчують, що свіжозібране насіння характеризується найбільш оптимальним балансом вегетативних органів з переважанням підземної біомаси, що відображається у значеннях індексу від 0,76 до 0,85. Найвищі значення зафіксовано у зеленозерного морфотипу великої фракції, де індекс становив 0,85, що на 0,03 перевищує показник червонозерну. Зважаючи на НіР для фактора А на рівні 0,02, встановлена різниця підтверджує генетичну перевагу зеленозерної сочевиці у формуванні потужнішого коріння.

Дослідження вказують, що важливим чинником варіабельності індексу виявився фракційний склад насіння. Встановлено стабільну тенденцію до зниження частки кореневої системи при зменшенні розміру насінин (НіР С =0,02).

Фракції сочевиці (3,0–4,0 мм) демонструють нижчу частку коріння у загальній біомасі проростка, що робить такі зразки потенційно вразливішими до дефіциту вологи в польових умовах.

Експериментально підтверджено, що процес тривалого зберігання спричиняє значний дисбаланс у розвитку органів проростка (НіРВ=0,03). За п'ять років зберігання було відзначено зниження індексу у всіх варіантах дослідження, що вказує на випереджаючу деградацію потенціалу росту кореневої системи порівняно з пагоном.

Варто вказати, що на п'ятий рік зберігання індекс дрібної фракції червонозерної сочевиці зменшився до критичної позначки 0,58. Аналіз взаємодії факторів із НіР 0,06 дозволяє зробити висновок, що велика фракція зеленозерної сочевиці навіть після п'яти років зберігання зберігає індекс на рівні 0,69, що є співмірним із показниками дрібної фракції на третій рік зберігання. Це підкреслює високу життєздатність великих фракцій зеленозерного морфотипу та

їхню здатність підтримувати функціональну рівновагу проростка при старінні насіння (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

Співвідношення маси корінця до маси пагона (індекс кореневої системи)

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	0,82	0,80	0,78	0,75	0,71	0,66
4,0–5,0	0,80 (К)	0,78	0,76	0,72	0,69	0,64
3,0–4,0	0,76	0,74	0,71	0,67	0,63	0,58
Зеленозерна (А)						
>5,0	0,85	0,83	0,81	0,78	0,74	0,69
4,0–5,0	0,83 (К)	0,81	0,79	0,75	0,72	0,67
3,0–4,0	0,79	0,77	0,74	0,70	0,66	0,61
НіР _{0,05}	0,04					
Фактор А	0,02					
Фактор В	0,03					
Фактор С	0,02					
Фактор АВС	0,06					

Статистична оцінка біометричних параметрів проростків сочевиці свідчить про те, що лінійні показники, такі як довжина кореня (22,4%) та гіпокотиля (24,7%), характеризуються значною мінливістю, що відображає неоднорідність процесів фізіологічного старіння в межах досліджуваних партій. Водночас індекс кореневої системи демонструє найнижчу варіабельність (9,8%), що вказує на відносну стабільність морфогенетичних кореляцій проростка навіть за умов суттєвого пригнічення загальної енергії росту.

Встановлено, що найбільш чутливим до старіння є гіпокотиль, індекс деградації якого склав 45,6%, що свідчить про стрімку втрату насінням здатності до формування надземних органів. Довжина кореня за цей же період скоротилася на 41,9%. Менш виражена, але статистично достовірна депресія зафіксована для загальної маси проростка (33,8%) та індексу кореневої системи (19,7%).

Отримані результати підтверджують високий рівень достовірності ($p < 0,05$) усіх виявлених змін. Це дозволяє стверджувати, що біометричні показники проростків є надійними індикаторами для прогнозування технологічної та посівної придатності сочевиці.

Найбільш інтегральним показником деградації слід вважати масу проростка, яка узагальнює кількісні втрати біомаси, тоді як індекс кореневої системи найточніше відображає якісний дисбаланс у розвитку органів, що виникає внаслідок виснаження енергетичного ресурсу насінини (табл. 3. 17).

Таблиця 3.17

Статистична оцінка біометричних показників проростків сочевиці

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Довжина кореня, мм	45,2	22,4	41,9	достовірно
Довжина гіпокотилля, мм	27,8	24,7	45,6	достовірно
Маса проростка, г	0,151	19,3	33,8	достовірно
Індекс кореневої системи	0,74	9,8	19,7	достовірно

Аналіз фізіолого-біометричних показників насіння сочевиці свідчить про поступове зниження його посівних якостей із збільшенням тривалості зберігання. Енергія проростання та лабораторна схожість демонструють значне зниження, в дрібних фракціях і після 4–5 років зберігання, що підтверджує високий індекс деградації (ID до 24 % і 17 % відповідно).

Щільність насіння залишалася відносно стабільною (ID \approx 3–4 %), тоді як морфологічні показники проростків - довжина кореня та гіпокотилля, маса проростка - зменшувалися більш інтенсивно (ID 34–46 %), що вказує на пригнічення ростових процесів унаслідок старіння.

Співвідношення маси корінця до пагона (індекс кореневої системи) знижувалося менше, що свідчить про відносну стабільність будови проростка навіть при загальному пригніченні росту. Зеленозерна форма та фракції насіння до 4,0 мм демонстрували вищу стійкість до старіння, тоді як фракції менше 4,0 мм більш чутливі.

Статистична обробка даних підтвердила достовірність усіх спостережуваних ефектів ($p < 0,05$), а коефіцієнти варіації (V) показали, що

найстабільнішим параметром є індекс кореневої системи, а найбільш мінливим - лінійні параметри проростків. Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок про чітку закономірність фізіологічного старіння насіння та його вплив на стартові ростові характеристики проростків сочевиці.

3.4. Біохімічні маркери життєздатності насіння за тривалої експозиції

Визначення активності пероксидази вказує, що зеленозерний морфотип характеризується вищим вихідним рівнем ферментативної активності, що становить 1,95 ум. од. у великій фракції свіжозібраного насіння. Порівняно з червонозерним аналогом, перевага зеленозерної сочевиці становить 0,13 ум. од., що при значенні НіР для фактора А на рівні 0,04 ум. од. підтверджує генетично обумовлений вищий потенціал життєздатності даного морфотипу.

Встановлено, що зі зменшенням фракції насіння активність пероксидази лінійно знижується, що робить дрібне насіння більш вразливим до біохімічної деградації. Упродовж п'ятирічного тривалості зберігання відзначено прогресуюче зниження активності ферменту, що відображає загальне виснаження фізіологічних ресурсів насінини (НІР_В = 0,05 ум. од.).

Експериментально підтверджено, що найбільш інтенсивна інактивація пероксидази відмічено після третього року зберігання, що синхронізується із раніше виявленим різким зростанням кислотного числа жиру. На фінальному етапі досліджень активність ферменту у дрібній фракції червонозерної сочевиці впала до 1,04 ум. од., що є критичним рівнем для підтримки метаболічної стабільності.

Варто вказати, що взаємодія факторів із показником НіР 0,09 ум. од. дозволяє стверджувати, що велика фракція зеленозерного морфотипу виявляє найвищу біохімічну резистентність, зберігаючи активність пероксидази на рівні 1,38 ум. од. навіть після п'яти років зберігання. Це забезпечує вищу збереженість нутрієнтів та посівних якостей порівняно з іншими варіантами досліджу (табл. 3.18).

Активність пероксидази насіння сочевиці залежно від фракції та тривалості зберігання, ум. од.

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	1,82	1,75	1,67	1,54	1,41	1,28
4,0–5,0	1,70 (К)	1,64	1,56	1,43	1,30	1,18
3,0–4,0	1,55	1,49	1,41	1,28	1,15	1,04
Зеленозерна (А)						
>5,0	1,95	1,88	1,79	1,65	1,51	1,38
4,0–5,0	1,82 (К)	1,75	1,67	1,54	1,40	1,27
3,0–4,0	1,65	1,58	1,50	1,36	1,23	1,10
НіР _{0,05}	0,06					
Фактор А	0,04					
Фактор В	0,05					
Фактор С	0,03					
Фактор АВС	0,09					

Антиоксидантна активність (АОА) відображає здатність насіння протидіяти окислювальному стресу і є більш чутливим показником старіння. Дослідженнями встановлено, що у свіжозібраному насінні червонозерної сочевиці фракції (>5 мм) АОА становила 78 %, середньої (4–5 мм) — 75 %, дрібної (3–4 мм) — 71 %. Зеленозерний морфотип мав вищу АОА: 82 %, 79 % та 75 % для великої, середньої та дрібної фракцій відповідно.

Досліджено, що через 5 років зберігання АОА знизилася до 50 % у великій фракції червонозерної та до 44 % у дрібній, тоді як у зеленозерного морфотипу зменшення склало 56 % та 49 % відповідно. Таким чином, середнє зниження АОА за 5 років становило $\approx 32,5$ %, а коефіцієнт варіації був значно вищий ($V = 13,4$ %) порівняно з РЦ, що свідчить про більшу мінливість і чутливість до умов зберігання (рис. 3.1).

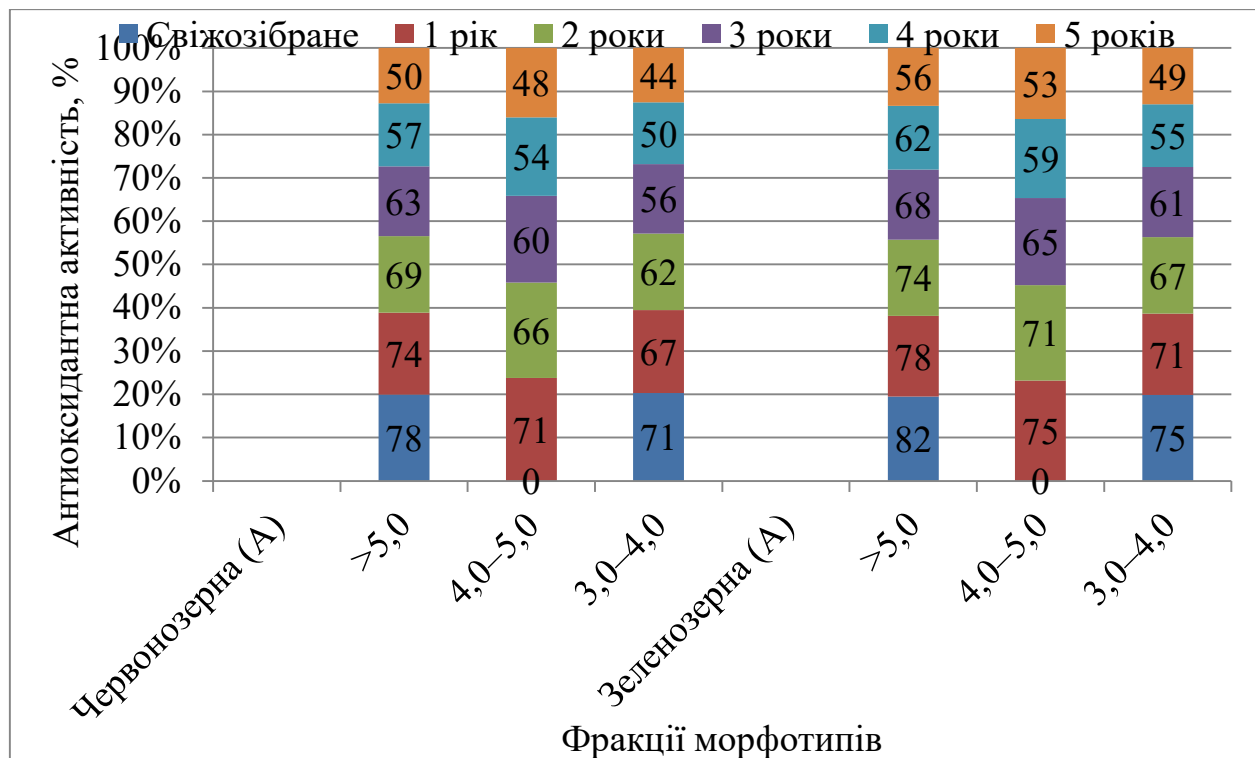


Рис. 3.1. Антиоксидантна активність у насінні сочевиці за різної тривалості зберігання, %

Експериментально проведені дослідження вказують, що вміст редукованих цукрів (РЦ) зменшується зі збільшенням тривалості зберігання насіння. Так, у свіжозібраному насінні червонозерної форми фракції (>5 мм) РЦ становив 6,2 %, тоді як у фракції (3–4 мм) - 5,5 %. Після 5 років зберігання показники знизилися до 4,0 % у великій фракції та 3,4 % у дрібній. Для зеленозерного морфотипу початкові значення були вищими: 6,5 % для великої фракції та 5,8 % для дрібної, а через 5 років - 4,3 % і 3,8 % відповідно (рис. 3.2).

Таким чином, зменшення РЦ за 5 років становило 31–32 % в середньому, причому дрібніші фракції насіння деградували швидше, а зеленозерний морфотип демонстрував більшу стійкість до зниження цукрового запасу.

Варто вказати, що антиоксидантна активність є більш інформативним показником фізіологічного старіння насіння порівняно з редукованими цукрами, тоді як РЦ відображає більше енергетичний запас насіння.

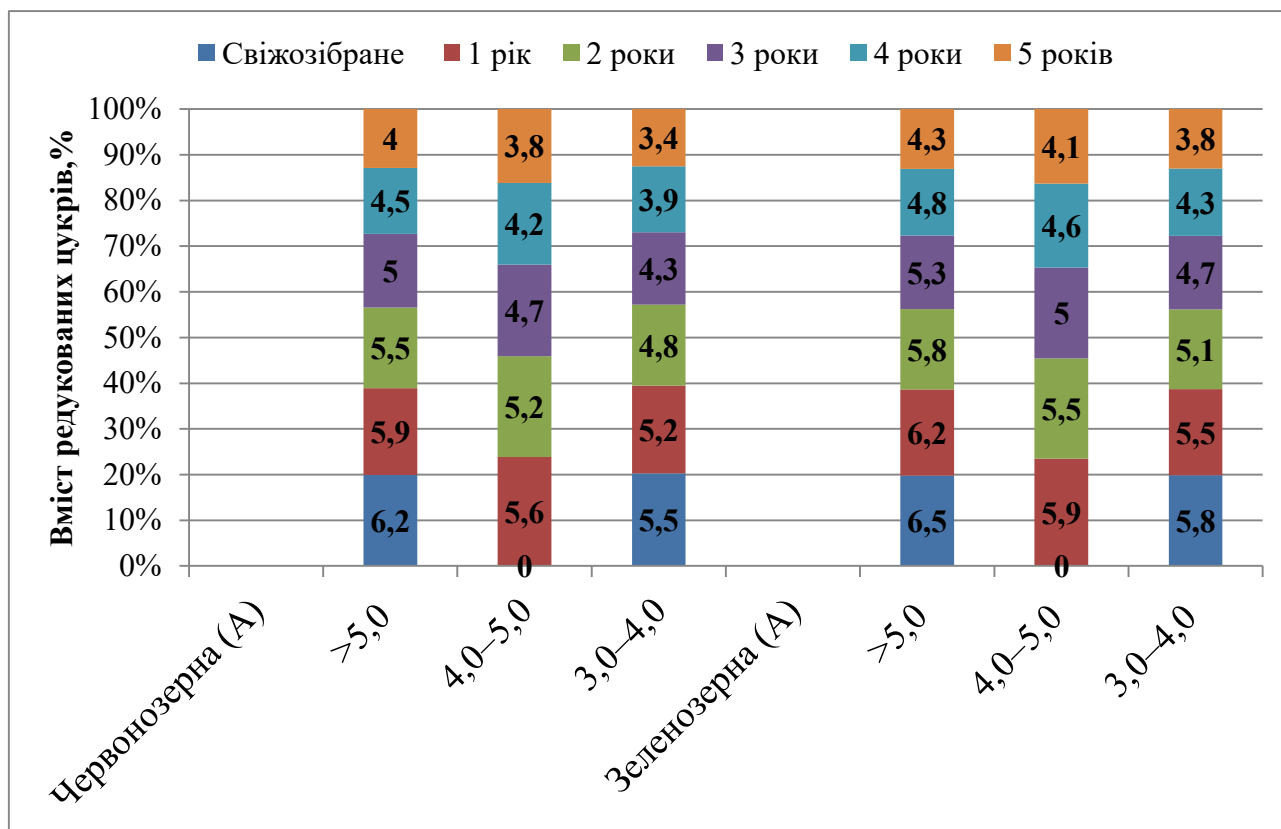


Рис. 3.2. Вміст редукованих цукрів у насінні сочевиці за різної тривалості зберігання, %

Статистичні розрахунки підтверджують, що найбільш динамічні зміни зафіксовано за показником вмісту редукованих цукрів та загальної антиоксидантної активності, де індекс деградації сягнув 31,8% та 32,5% відповідно. Таке стрімке падіння вмісту цукрів вказує на інтенсифікацію дихальних процесів, тоді як зниження антиоксидантного захисту свідчить про вичерпання адаптивного потенціалу насіння та його схильність до швидкого старіння.

Активність пероксидази також зазнала трансформації, проте рівень її деградації (21,0%) виявився дещо нижчим порівняно з іншими метаболічними параметрами.

Важливо зазначити, що коефіцієнт варіації для всіх досліджуваних ознак коливається в межах 7,2–13,4%, що підтверджує вирівняність експериментальної вибірки та високу точність проведених аналізів.

Встановлений рівень достовірності ($p < 0,05$) для досліджуваних показників дає підстави стверджувати, що зафіксовані біохімічні зміни є

статистично значущими та безпосередньо зумовлені фактором тривалого зберігання. Отримані дані демонструють суттєве зниження біохімічної стабільності насіння протягом п'ятирічного періоду (табл. 3.19).

Таблиця 3.19

Статистична оцінка біохімічних показників насіння сочевиці за тривалого зберігання

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Активність пероксидази, ум. од.	1,62	11,2	21,0	достовірно
Редуковані цукри, %	5,6	7,2	31,8	достовірно
Антиоксидантна активність, %	67,5	13,4	32,5	достовірно

Отже, результати досліджень свідчать про генетично обумовлену перевагу зеленозерного морфотипу сочевиці, який за п'ятирічного зберігання зберігає активність пероксидази на рівні 1,38 ум. од. та антиоксидантну активність у межах 49–56 %, що значно перевищує показники червонозерних аналогів.

Найбільш виражена деградація біохімічних показників зафіксована після третього року зберігання, де індекс зниження вмісту редукованих цукрів та антиоксидантного захисту сягнув критичних позначок у 31,8 % та 32,5 % відповідно.

Встановлена лінійна залежність між зменшенням фракції насіння та швидкістю метаболічного виснаження підтверджує вищу резистентність фракції (>5,0 мм) до процесів старіння ($p < 0,05$).

3.5. Комплексна оцінка посівного потенціалу насіння сочевиці за поєднання факторів морфотипу та фракції

Встановлено, що зеленозерна сочевиця демонструє стабільну перевагу над червонозерною за енергією проростання в усіх варіантах дослідів. Так, у свіжозібраному насінні фракції ($>5,0$ мм) сила росту зеленозерного морфотипу сягає 2880 одиниць, що на 120 одиниць перевищує аналогічний показник червонозерної форми (2760 одиниць). Оскільки різниця між морфотипами (Фактор А) відповідає рівню $HP_{0,05}$ (85 од.), такий розрив є статистично достовірним і підтверджує вищий біологічний потенціал зеленозерних генотипів.

Дослідження вказують, що простежується пряма залежність сили росту від крупності насіння (Фактор С, $HP = 70$ од.). У межах обох морфотипів перехід від великої ($>5,0$ мм) до дрібної фракції (3,0–4,0 мм) призводить до втрати сили росту на 330–360 одиниць уже на етапі свіжозібраного матеріалу.

Експериментально підтверджено, що за п'ятирічного зберігання (Фактор В, $HP = 95$ од.) спостерігається прогресуюча деградація життєздатності. Найбільш стрімке зниження показника зафіксовано після третього року експозиції: так, у дрібній фракції червонозерної сочевиці значення сили росту падає з початкових 2400 до 1520 одиниць на фінальному етапі, що вказує на критичне вичерпання адаптивного ресурсу дрібного насіння.

Найвищу резистентність до старіння виявляє велика фракція зеленозерного морфотипу, яка навіть через п'ять років зберігання зберігає силу росту на рівні 1960 одиниць. Водночас дрібна фракція червонозерної сочевиці за цей же період втрачає близько 36% вихідного потенціалу. Значення HP для взаємодії факторів ($A \times B \times C$), що становить 150 одиниць, дозволяє стверджувати, що поєднання крупної фракції та специфічних ознак зеленозерного морфотипу забезпечує синергічний ефект у підтримці посівних якостей насіння при тривалому зберіганні (рис. 3.3).

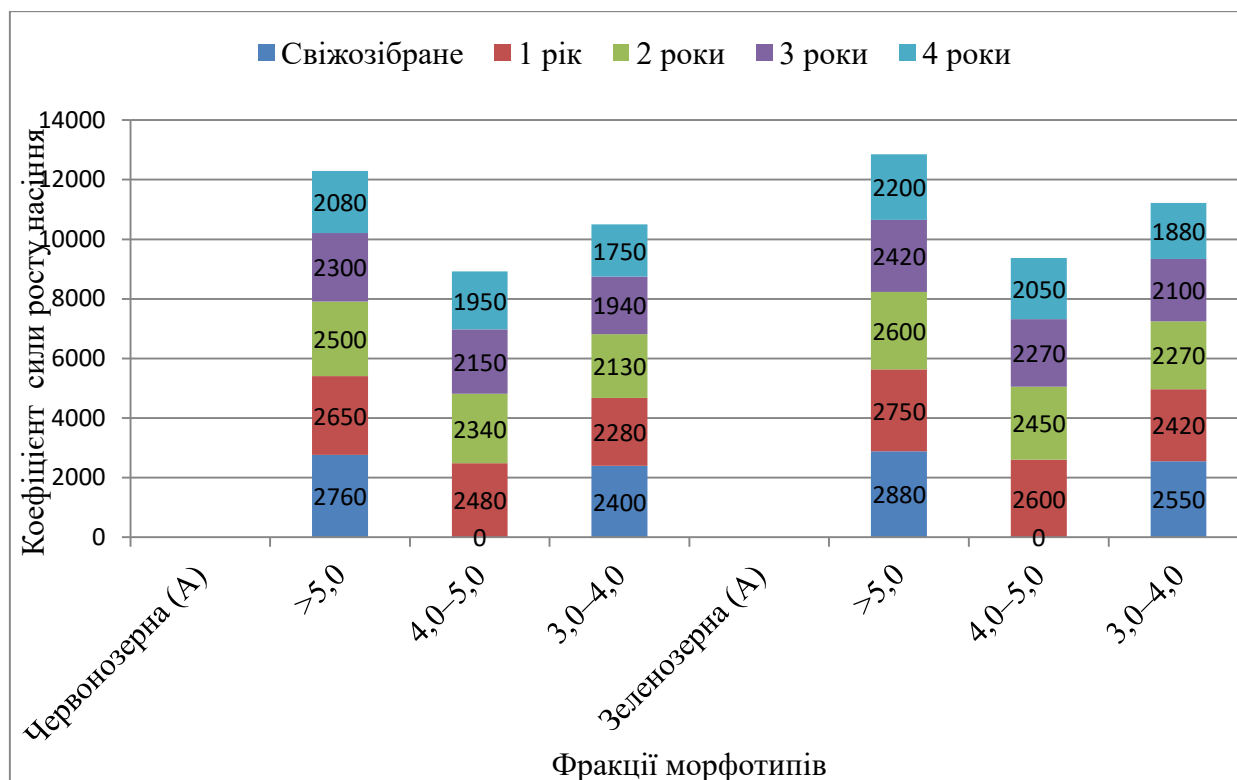


Рис. 3.3. Коефіцієнт сили росту насіння за поєднання факторів

Результати підтверджують, що зеленозерна сочевиця має вищий адаптивний потенціал, оскільки в усіх варіантах дослідження термін життєздатності її насіння перевершує аналогічні показники червонозерної форми. Так, для фракції (>5,0 мм) свіжозібраного насіння зеленозерного морфотипу показник T50 становить 42 місяці, тоді як у червонозерної форми він обмежений 36 місяцями. Оскільки різниця між морфотипами (Фактор А) складає 6 місяців, що значно перевищує НІР_{0,05} (0,9 міс.), перевага зеленозерних генотипів є статистично достовірною.

Встановлено, що виражений вплив фракційного складу насіння (Фактор С, НІР = 0,8 міс.) на тривалість його безпечного зберігання. Досліджено, що зменшення розміру насіння супроводжується лінійним скороченням періоду T50. Для червонозерного морфотипу різниця між великою (>5,0 мм) та дрібною (3,0–4,0 мм) фракціями на етапі свіжозібраного насіння становить 8 місяців, а для зеленозерного — 12 місяців. Це свідчить про те, що дрібна фракція є найбільш вразливою до процесів старіння та фізіологічної деградації.

Динаміка зниження життєздатності в процесі зберігання (Фактор В, НІР = 1,0 міс.) демонструє поступове скорочення прогнозованого терміну безпечного

перебування насіння у сховищах. На четвертий рік зберігання показник T50 для дрібної фракції червонозерної сочевиці знижується до критичної позначки у 24 місяці, що на 14 місяців менше порівняно з великою фракцією зеленозерного морфотипу в аналогічний період (38 міс.).

Взаємодія факторів (A B C), де НІР = 1,5\$ міс., дозволяє констатувати, що поєднання ознак зеленозерного морфотипу та великої фракції забезпечує найбільш тривалу біохімічну стабільність насіння. Навіть після чотирьох років зберігання велика фракція зеленозерної сочевиці зберігає потенціал життєздатності на рівні 38 місяців, що робить цей варіант найбільш придатним для формування довготривалих страхових фондів насіння (рис.3.4).

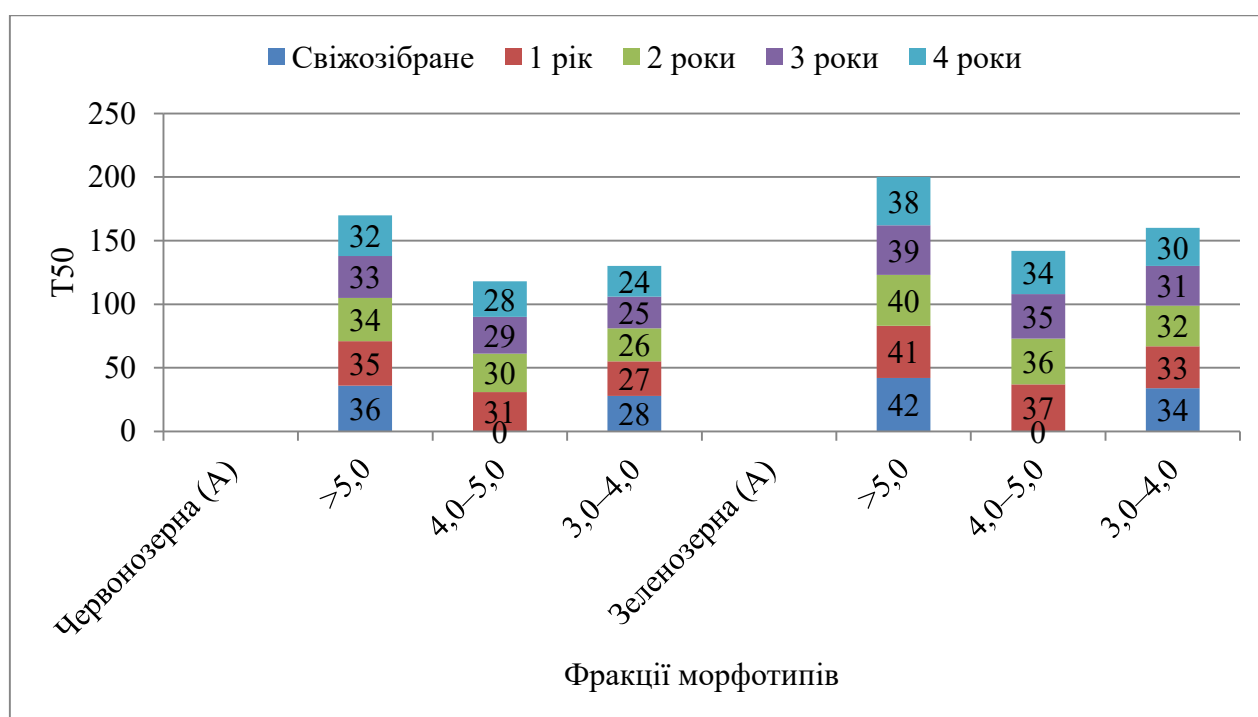


Рис. 3.4. Тривалість періоду безпечного зберігання (T50) насіння сочевиці залежно від фракції та морфотипу, міс./років

Встановлено, що свіжозібране насіння фракції (понад 5,0 мм) обох морфотипів характеризується максимальною життєздатністю на рівні 100%. Водночас фракція (3,0–4,0 мм) демонструє нижчий стартовий потенціал - 88% у червонозерної та 90% у зеленозерної сочевиці, що свідчить про меншу фізіологічну виповненість дрібного насіння вже на етапі збирання врожаю (рис.3.5.).

Відомо, що процес тривалого зберігання спричиняє суттєву деградацію живих тканин насінини. У наших дослідженнях стабільним виявився

зеленозерний морфотип: за 5 років зберігання життєздатність його великої фракції знизилася зі 100% до 70%, тоді як у червонозерної сочевиці цей показник зменшився до 60%, що підтверджує вищу адаптивність зеленозерних зразків. Критичні зміни зафіксовані для дрібних фракцій, де рівень життєздатності наприкінці п'ятого року експозиції склав лише 48% (червонозерна) та 60% (зеленозерна).

Аналіз динаміки втрат показує, що щорічне зниження життєздатності у перші два роки становить 5–7% (до рівня 83–92% залежно від варіанту), проте після третього року зберігання відмирання тканин прискорюються до 10–12% щорічно.

Встановлено, що велика фракція зеленозерного морфотипу на 4-й рік зберігання (78%) за життєздатністю фактично відповідає дрібній фракції червонозерної сочевиці на 2-й рік (76%).

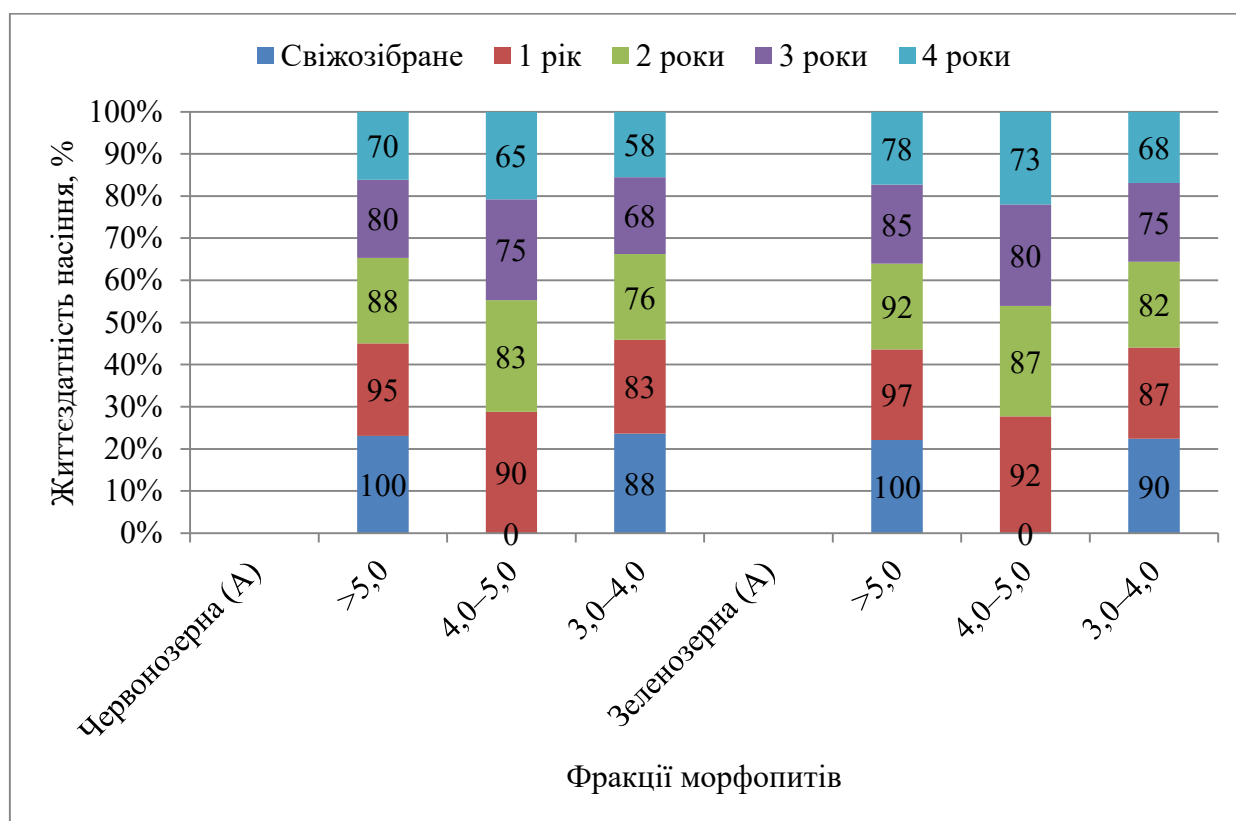


Рис. 3.5. Життєздатність насіння сочевиці залежно від фракції, морфотипу та тривалості зберігання, %

Таким чином, поєднання чинників великого розміру насінини та зеленозерного морфотипу дозволяє пролонгувати біологічне життя зародка на 2 роки порівняно з дрібною фракцією червонозерної сочевиці.

Дані статистичної оцінки підтверджують, що найбільш вразливим параметром є загальна життєздатність насіння, індекс деградації якої за п'ятирічний період сягнув максимуму – 36,0%. Показник сили росту насіння демонструє аналогічну динаміку зі зниженням на 33,5%, що вказує на суттєве послаблення енергетичного потенціалу проростків та втрату здатності до ефективної мобілізації поживних речовин ендосперму. Водночас період безпечного зберігання (T50) виявився відносно стабільнішим (індекс деградації - 21,0%), проте його скорочення чітко корелює із загальним виснаженням біологічного ресурсу насінин.

Коефіцієнти варіації ($V=9,4-13,2\%$) для всіх досліджуваних ознак свідчать про помірну мінливість у межах експериментальної вибірки, що підкреслює репрезентативність отриманих даних. Високий статус достовірності ($p<0,05$) дозволяє констатувати статистичну значущість виявлених змін та їх безпосередню зумовленість тривалою експозицією насіння у несприятливих умовах (табл. 3.20).

Таблиця 3.20

Статистична оцінка життєздатності, сили росту та T50 насіння сочевиці

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності ($p<0,05$)
Життєздатність, %	78,5	13,2	36,0	достовірно
Коефіцієнт сили росту насіння, од.	2620	12,8	33,5	достовірно
T50, міс.	34,5	9,4	21,0	достовірно

Узагальнення статистичних даних дозволяє стверджувати, що тривале п'ятирічне зберігання призводить до втрати понад третини життєздатного потенціалу насіння сочевиці (ID=36,0%). Найбільш критичне зниження фізіологічних показників зафіксовано для коефіцієнта сили росту, що на фоні

скорочення періоду T50 до 34,5 місяців вказує на необхідність регулярного оновлення насінневого фонду після третього року зберігання.

Висновки до розділу 3

Встановлено, що енергія проростання зменшувалася зі збільшенням тривалості зберігання: свіжозібране насіння червонозерної фракції (>5 мм) становила 96 %, а через 5 років - лише 68 %; для фракції (3–4 мм) зниження склало з 89 % до 54 %. Зеленозерна форма мала вищу стійкість: великі фракції з 98 % до 72 %, дрібні - з 92 % до 60 %.

Лабораторна схожість мала аналогічні тенденції: середня фракція червонозерного насіння з 95 % до 61 %, зеленозерного - з 97 % до 68 %.

Досліджено, що інтенсивність початкового росту (довжина паростків) знижувалася до 34–46 % за 5 років: довжина кореня червонозерних фракцій >5 мм скоротилася з 52 мм до 36 мм, гіпокотилія - з 36 мм до 24 мм, маса проростка з 0,182 г до 0,122 г. Індекс кореневої системи змінювався меншою мірою: від 0,82 до 0,76 у червонозерного насіння великої фракції.

Відзначено, що активність пероксидази зменшилася зі 1,82 ум. од. до 1,28 ум. од. у червонозерних великих фракціях, а у зеленозерного морфотипу — зі 1,95 до 1,38 ум. од., що свідчить про часткове збереження ферментної активності.

Вміст редукованих цукрів знизився з 6,2 % до 4,0 % у червонозерних >5 мм і з 6,5 % до 4,3 % у зеленозерних великих фракціях. Дрібні фракції 3–4 мм показали зниження до 3,4–3,8 %.

Антиоксидантна активність (АОА) зменшилася більш суттєво: червонозерні великі фракції – з 78 % до 50 %, дрібні – з 71 % до 44 %; зеленозерні – з 82 % до 56 % та з 75 % до 49 % відповідно.

Життєздатність насіння знижувалася в середньому на 36 % за 5 років: свіжозібране червонозерне >5 мм – 100 %, через 5 років – 60 %; зеленозерне >5 мм - 100 % до 70 %. Коефіцієнт сили росту зменшувався у такій послідовності: червонозерне >5 мм – з 2760 до 1850 од., зеленозерне >5 мм - з 2880 до 1960 од.

T50 для великої фракції червонозерного насіння становив 36 міс., для дрібної 28 міс.; у зеленозерного морфотипу відповідно 42 та 34 міс.

Найвищі показники у всіх інтегральних параметрах спостерігалися у зеленозерних фракцій >5 мм: коефіцієнт сили росту 2880, T50 42 міс., довжина кореня 55 мм, гіпокотилля 39 мм, маса проростка 0,195 г, індекс кореневої системи 0,85.

Дрібні фракції 3–4 мм червонозерного насіння мали найнижчі значення: коефіцієнт сили росту 2400, T50 28 міс., довжина кореня 44 мм, гіпокотилля 29 мм, маса 0,154 г, індекс 0,76.

Індекс деградації (ID) за 5 років: життєздатність - 36 %, коефіцієнт сили росту - 33,5 %, T50 - 21 %, пероксидаза - 21 %, РЦ - 31,8 %, АОА - 32,5 %.

Коефіцієнт варіації (V) показав, що найбільш мінливі показники - життєздатність (V = 13,2 %) та АОА (V = 13,4 %), а найстабільніший - T50 (V = 9,4 %) та пероксидаза (V = 11,2 %).

Матеріали розділу висвітлено у публікаціях [13,17, 46, 75,88, 106].

РОЗДІЛ 4

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ФАКТОРІВ ВПЛИВУ

4.1. Якісні показники насіння у польових умовах залежно від морфотипу, тривалості зберігання та фракційного складу

Встановлено, що свіжозібране насіння характеризується найвищою здатністю до формування повноцінних сходів, яка варіює від 86% у дрібній фракції червонозерної сочевиці до 96% у великій фракції зеленозерного морфотипу.

Порівняльний аналіз показав, що зеленозерна сочевиця стабільно перевершує червонозерну за польовою схожістю на 2–6% протягом усього періоду спостереження, що вказує на її вищу польову витривалість. Оскільки різниця між морфотипами за фактором А при $HP_{0,05}$ становить 1,8%, такий розрив є достовірним і підтверджує генетично зумовлену вищу життєздатність зеленозерних генотипів. Процес тривалого зберігання (фактор В, $HP = 2,6\%$) спричиняє прогресуючу деградацію посівних якостей, яка набуває критичного характеру після третього року експозиції. Для червонозерного морфотипу середньої фракції (контроль) зафіксовано зниження схожості з 90% до 55% на фінальному етапі досліджень. Найбільш вразливою виявилася дрібна фракція червонозерної сочевиці, показник якої на п'ятий рік зберігання впав до 50%, що фактично означає повну втрату господарської придатності такого матеріалу.

Досліджено, що фракція (понад 5,0 мм) у всіх варіантах забезпечувала приріст польової схожості на 8–10% порівняно з дрібною (3,0–4,0 мм). Це пояснюється більшим запасом поживних речовин та вищою інтенсивністю росту кореневої системи, що дозволяє паросткам швидше долати опір ґрунту. Так, на п'ятий рік зберігання велика фракція зеленозерної сочевиці зберігає пристойний рівень схожості 68%, тоді як дрібна фракція того ж морфотипу знижує цей показник до 60%.

За 5 років зберігання польова схожість дрібної фракції червонозерної сочевиці скорочується з 86% до критичних 50%. Для великої фракції цього ж

морфотипу падіння становить з 94% до 60%. Таке стрімке зниження (у 1,4–1,7 рази) корелює з раніше виявленим зростанням кількості макротріщин оболонки та деградацією пероксидазного захисту, що робить насіння вразливим до ґрунтової мікрофлори.

Взаємодія досліджуваних чинників (фактор $A \times B \times C = 3,8\%$) дозволяє відзначити, що поєднання великої фракції та ознак зеленозерного морфотипу забезпечує найвищу резистентність до фізіологічного старіння. Навіть після п'ятирічного терміну таке насіння зберігає схожість на рівні 68%, тоді як дрібні фракції за аналогічних умов демонструють значні зміни біологічних показників (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Польова схожість насіння сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	94	88	82	75	68	60
4,0–5,0	90 (К)	84	78	70	63	55
3,0–4,0	86	80	74	65	57	50
Зеленозерна (А)						
>5,0	96	91	86	80	74	68
4,0–5,0	92 (К)	87	82	76	70	64
3,0–4,0	88	84	79	72	66	60
	НіР _{0,05}					
	Фактор А (морфотип) 1,8					
	Фактор В (тривалість) 2,6					
	Фактор С (фракція) 2,1					
	Взаємодія факторів $A \times B \times C = 3,8$					

Таким чином, отримані дані дозволяють стверджувати, що використання насіння сочевиці після 3-го року зберігання (де схожість падає нижче 70–75%) призводить до суттєвого зрідження посівів та втрати врожайності, причому

зеленозерна сочевиця великої фракції демонструє найбільшу технологічну надійність.

Встановлено, що зі зменшенням фракції спостерігається пролонгація періоду «сівба–сходи». Зокрема, у свіжозібраному насінні червонозерної форми перехід від фракції >5,0 мм до 3,0–4,0 мм призводить до збільшення тривалості етапу з 5 до 7 діб. Це пояснюється більшим запасом поживних речовин у крупному насінні, що забезпечує інтенсивніший стартовий ріст.

Досліджено, що зі збільшенням терміну зберігання насіння тривалість періоду до появи сходів поступово зростає. Так, для червонозерної сочевиці (фракція 4,0–5,0 мм) показник збільшується з 6 діб (свіжозібране) до 7 діб (4 роки зберігання). Найбільш виражена затримка сходів спостерігається після 3-го року зберігання, що може бути наслідком зниження польової схожості та енергії проростання через природні процеси старіння насіння.

Порівняльний аналіз свідчить про вищу фізіологічну активність зеленозерної форми у середніх фракціях (4,0–5,0 мм), де період сходив у свіжозібраному стані становить 5 діб, проти 6 діб у червонозерної. Проте, відзначено тенденцію до сповільнення темпів проростання при тривалому зберіганні залишається ідентичною для обох типів (рис. 4.1, додаток Д).

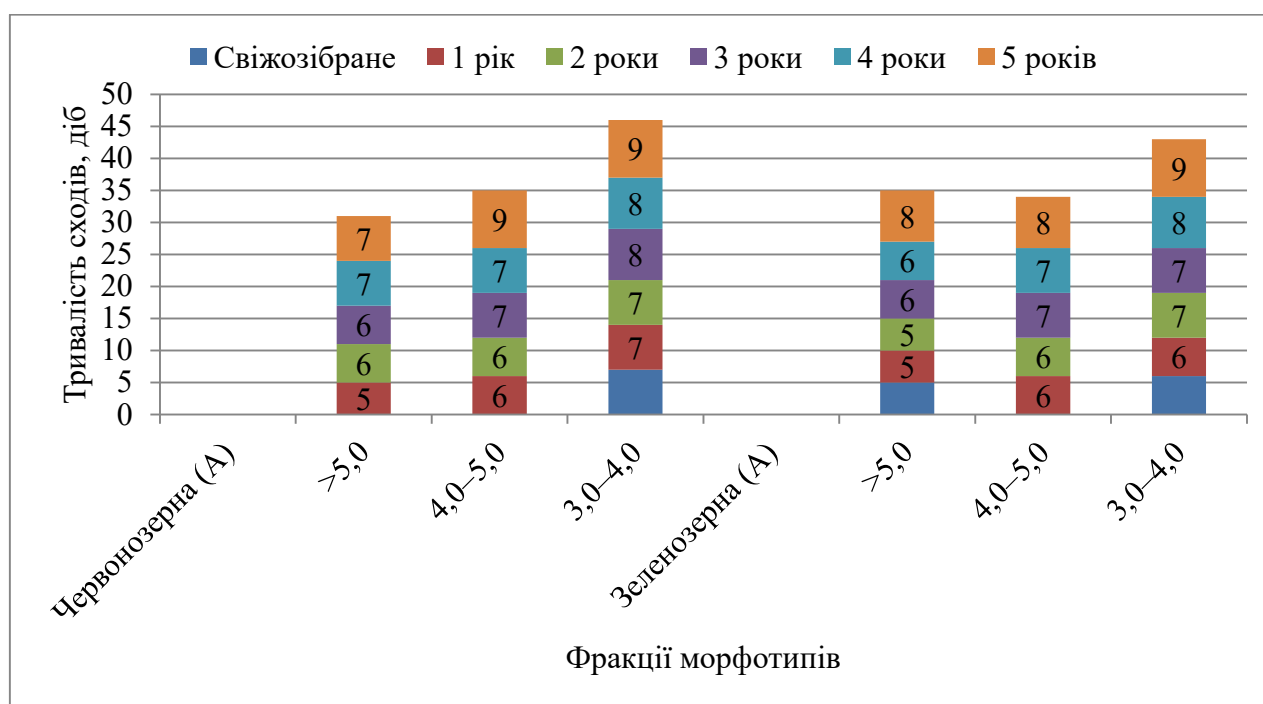


Рис. 4.1. Тривалість періоду «сівба–сходи» сочевиці залежно від досліджуваних чинників, діб

Найкоротший період «сівба–сходи» (5 діб) притаманний фракції насіння (>5,0 мм) червонозерної форми та середній фракції зеленозерної форми за умови їх використання у перший рік після збору (рис. 4.1.).

Таким чином, отримані дані вказують на суттєве уповільнення ростових процесів (до 8 діб) при використанні дрібних фракцій (3,0–4,0 мм), що зберігалися 3 роки і більше.

У результаті проведених проаналізовано, що найвищі показники схожості формувалися у свіжозібраного насіння, зокрема у зеленозерного морфотипу фракції (>5,0 мм), де відзначено 96 %, тоді як у червонозерного аналога він становив 94 %.

Досліджено, що зі збільшенням тривалості зберігання відбувається закономірне зниження схожості незалежно від варіанту, однак інтенсивність цього процесу різниться залежно від фракції та морфотипу.

Встановлено, що насіння фракції характеризувалося вищою стабільністю показників упродовж усього періоду дослідження. Так, у червонозерного морфотипу (>5,0 мм) схожість зменшувалась від 94 % у свіжозібраному стані до 60 % після п'яти років зберігання, тоді як у зеленозерного – від 96 до 65 %.

Досліджено, що середня фракція (4,0–5,0 мм), яка виступала контрольним варіантом, демонструвала дещо нижчі значення: у межах 90–50 % для червонозерного та 92–60 % для зеленозерного морфотипів відповідно.

Найменш стійкими до тривалого зберігання виявилися насіння фракції (3,0–4,0 мм), де зниження польової схожості було найбільш вираженим. Так, у червонозерного морфотипу цей показник зменшився з 86 % до 48 %, а у зеленозерного – з 88 % до 51 % за аналогічний період.

Встановлено, що різниця між фракціями у межах одного морфотипу перевищувала величину $HP_{0.05}$, що свідчить про статистично достовірний вплив досліджуваного фактора А – 1,9; В – 2,7; С – 2,2; АВ – 3,3; АС – 3,0; ВС – 3,5; АВС – 3,9 (рис.4.2).

Найбільш сприятливе поєднання умов для збереження високої польової схожості забезпечується використанням насіння великої фракції зеленозерного морфотипу з мінімальним терміном зберігання. Таким чином, встановлено чітку

тенденцію до зниження посівних якостей насіння зі збільшенням строку зберігання, причому ступінь цього зниження визначається як морфотипом, так і фракційним складом насіння (рис. 4.2, додаток Е).

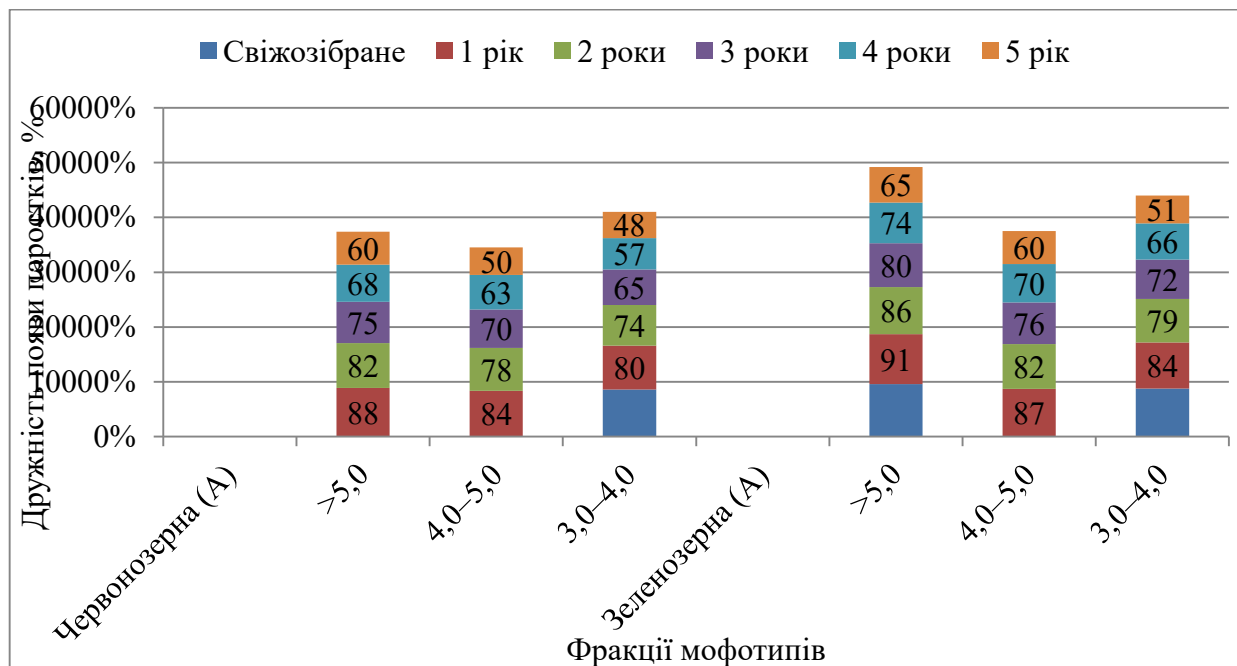


Рис. 4.2. Дружність появи паростків насіння сочевиці залежно від фракції та тривалості зберігання

У результаті досліджень визначено, що виживаність рослин сочевиці впродовж вегетації формувалися за використання свіжозібраного насіння, у зеленозерного морфотипу фракції (>5,0 мм), де цей показник становив 95 %, тоді як у червоноземної – 92 %.

Досліджено, що зі збільшенням тривалості зберігання насіння спостерігається поступове зниження виживаності рослин у всіх варіантах досліджу.

Встановлено, що насіння великої фракції характеризувалося вищою стабільністю показників упродовж усього періоду спостережень. Так, у червонозерного морфотипу (>5,0 мм) виживаність зменшувалась від 92 % у свіжозібраному стані до 78 % після п'яти років зберігання, тоді як у зеленозерного – від 95 до 82 %. Фракція (4,0–5,0 мм), яка виступала контрольним варіантом, мала дещо нижчі значення – у межах 88–73 % для червонозерного та 90–77 % для зеленозерного морфотипів.

Досліджено, що найменші показники виживаності були характерні для дрібної фракції (3,0–4,0 мм), де спостерігалось найбільш інтенсивне зниження показника впродовж усього періоду зберігання. Так, у червонозерного морфотипу він зменшився з 83 % до 66 %, а у зеленозерного – з 85 % до 72 %.

Встановлено, що різниця між варіантами за фракційним складом та термінами зберігання у більшості випадків перевищувала значення $HP_{0.05}$ (для фактора В – 2,4 %, фактора С – 2,0 %), що свідчить про достовірний вплив досліджуваних факторів на виживаність рослин.

Таким чином, встановлено чітку тенденцію до зниження виживаності рослин із подовженням терміну зберігання насіння, причому інтенсивність цього процесу визначається як морфотипом, так і фракційним складом насіння, що підтверджується отриманими статистично достовірними результатами (рис. 4.3, додаток Ж).

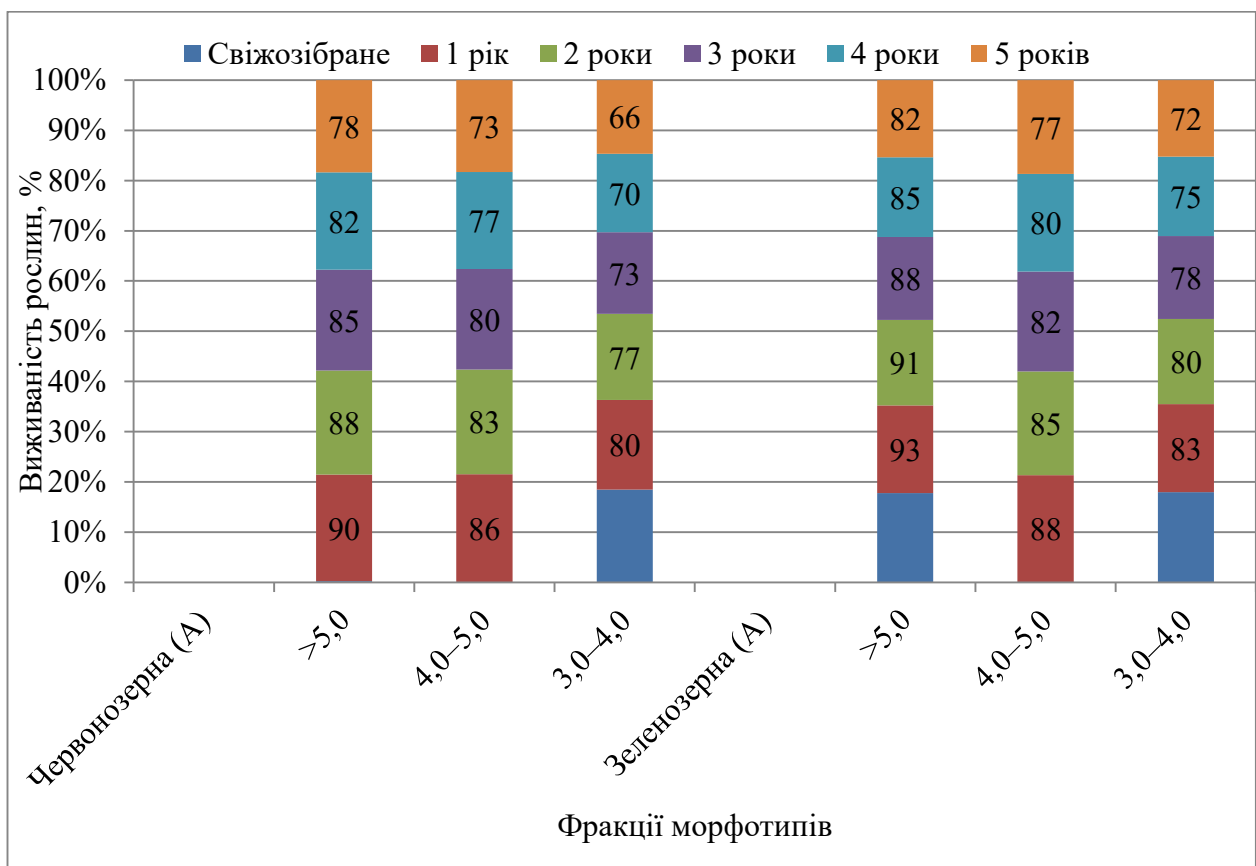


Рис. 4.3. Виживаність рослин сочевиці упродовж періоду вегетації, %

Густота стояння рослин сочевиці перед збиранням мала максимальні показники за використання свіжозібраного насіння, у зеленозерного морфотипу

фракції (>5,0 мм), була 290 шт./м², тоді як у червонозерного цей показник дорівнював 275 шт./м².

Варто вказати, що зі збільшенням тривалості зберігання насіння спостерігається поступове і рівномірне зниження густоти стояння рослин у всіх варіантах досліду. Так, у червонозерного морфотипу фракції (>5,0 мм) показник зменшувався від 275 до 250 шт./м², тоді як у зеленозерного – від 290 до 265 шт./м² за аналогічний період.

Встановлено, що фракція (4,0–5,0 мм), яка була обрана контрольним варіантом, формувала дещо нижчі значення густоти – у межах 260–235 шт./м² для червонозерного та 275–250 шт./м² для зеленозерного морфотипів.

Найменші показники густоти стояння характерні для дрібної фракції (3,0–4,0 мм), де відзначено найбільш виражене зниження впродовж усього періоду зберігання. Так, у червонозерного морфотипу густота зменшилася з 245 до 220 шт./м², а у зеленозерного – з 260 до 235 шт./м².

Встановлено, що різниця між варіантами за фракційним складом та термінами зберігання у більшості випадків перевищувала значення $HP_{0.05}$ (для фактора В – 5,8 шт./м², фактора С – 4,6 шт./м²), що свідчить про достовірний вплив досліджуваних факторів.

Взаємодія факторів підтвердила, що найбільш сприятливі умови для формування оптимальної густоти стояння рослин забезпечуються за використання насіння великої фракції зеленозерного морфотипу за мінімального строку зберігання. Таким чином, встановлено закономірне зниження густоти рослин із подовженням терміну зберігання насіння, причому інтенсивність цього процесу визначається як морфотипом, так і фракційним складом, що підтверджується статистично достовірними відмінностями між варіантами досліду (рис. 4.4, додаток К).

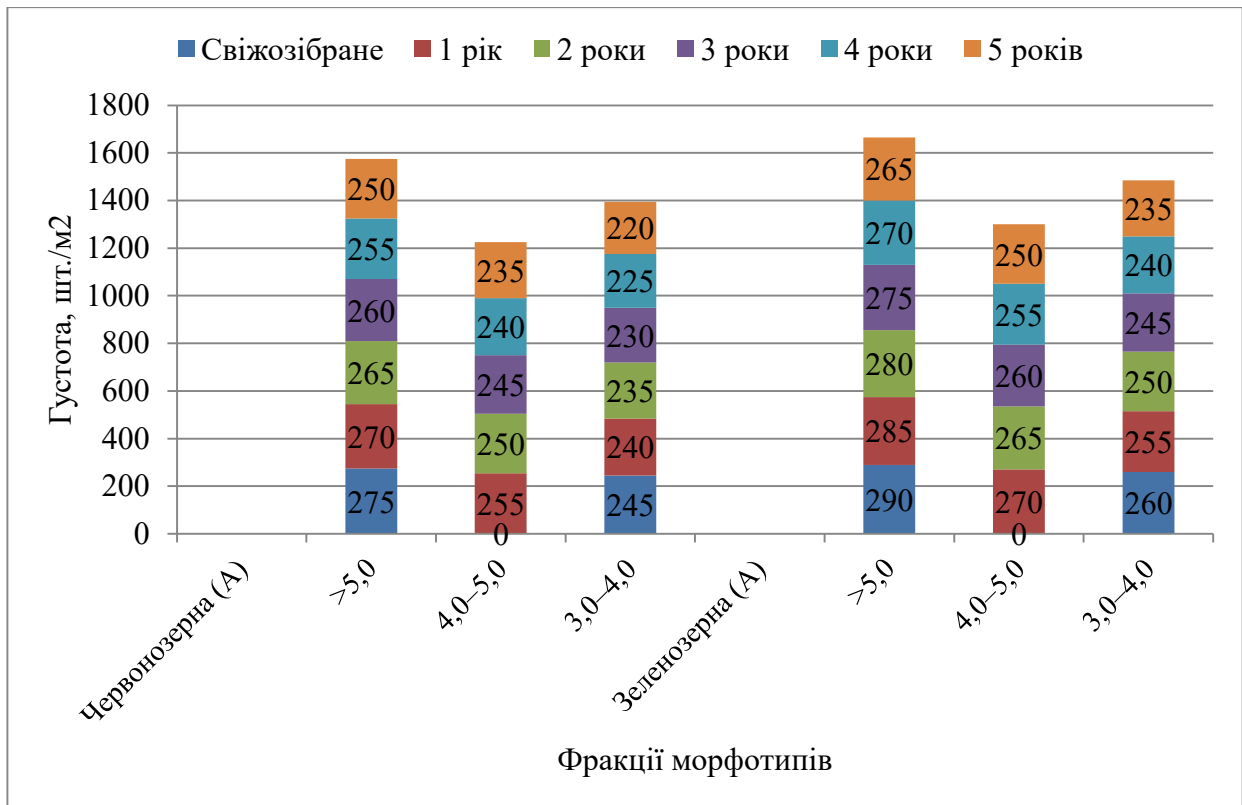


Рис. 4.4. Густота посівів сочевиці перед збиранням залежно від фракції та тривалості зберігання насіння, шт./м².

Досліджено, що показник «тривалість «сівба–сходи» має найвищий індекс деградації (+40,0%), що свідчить про глибоке фізіологічне виснаження насіння за 5-річний період. Водночас дружність появи паростків знижується на **30,5%**, що підкреслює пряму залежність між часом зберігання та енергією проростання.

У ході розрахунків встановлено, що коефіцієнт варіації (V) для всіх показників коливається в межах 8,7–12,2%. Згідно з біометричними нормами, це свідчить про малу та середню мінливість ознак. Найменш мінливим (V=8,7%) виявився показник густоти стояння перед збиранням, що вказує на здатність агрофітоценозу до саморегуляції навіть при зниженні якості посівного матеріалу.

Встановлено, що виживаність рослин має порівняно низький рівень деградації (26,0%) на фоні середнього значення 87,0%. Це дозволяє зробити науковий висновок: основні втрати біологічного потенціалу сочевиці відбуваються на етапі від сівби до появи сходів, тоді як рослини, що пройшли цей етап, демонструють високу життєву енергію (табл. 4.2).

Зведена статистика польових показників насіння сочевиці

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності (p<0,05)
Польова схожість, %	82,5	10,6	29,5	достовірно
Тривалість «сівба–сходи», діб	6,4	12,2	+40,0	достовірно
Дружність появи паростків, %	79,5	11,8	30,5	достовірно
Виживаність рослин, %	87,0	10,9	26,0	достовірно
Густина стояння перед збиранням, шт./м ²	257	8,7	18,9	достовірно

Таким чином, у ході дослідження встановлено, що тривале 5-річне зберігання насіння сочевиці призводить до суттєвої деградації всіх посівних показників, де найбільш критичним є уповільнення темпів проростання: тривалість періоду «сівба–сходи» зростає на 40,0% (з 5–6 до 7–9 діб).

Досліджено, що польова схожість та дружність появи сходів знижуються на 29,5% та 30,5% відповідно, причому найвищі темпи регресії властиві дрібним фракціям червонозерного морфотипу.

За зниження виживаності рослин на 26,0%, найстабільнішим параметром виявилася густина стояння перед збиранням (деградація 18,9%, V=8,7%), що підтверджує високу адаптивність культури.

4.2. Особливості росту та розвитку рослин сочевиці у польових умовах залежно від якості посівного матеріалу

Результати досліджень свідчать, що найбільшу висоту формували рослини обох морфотипів, вирощені з насіння фракції ($>5,0$ мм), тоді як використання дрібніших насінин супроводжувалося зменшенням інтенсивності ростових процесів.

У варіантах із свіжозібраним насінням червонозерного морфотипу висота рослин у фазі бутонізації становила 34,5 см для фракції $>5,0$ мм, 33,0 см для фракції 4,0–5,0 мм та 31,5 см і для фракції 3,0–4,0 мм. За аналогічних умов зеленозерний морфотип характеризувався дещо вищими показниками лінійного росту відповідно 36,0; 34,5 та 33,0 см. Таким чином, перевага зеленозерного морфотипу за висотою рослин становила в середньому 1,5–2,0 см.

Результати вказують, що зі збільшенням тривалості зберігання насіння спостерігалось поступове зниження показників росту рослин. Так, у червонозерного морфотипу висота рослин, сформованих із насіння фракції $>5,0$ мм, зменшилася з 34,5 см у варіанті зі свіжозібраним насінням до 27,5 см після п'яти років зберігання. Подібна тенденція відзначена і для інших фракцій: у межах фракції 4,0–5,0 мм показник знизився з 33,0 до 26,2 см, а у фракції 3,0–4,0 мм — з 31,5 до 24,8 см.

Встановлено, що у рослин зеленозерного морфотипу динаміка змін була аналогічною, проте значення залишалися дещо вищими. Так, висота рослин, отриманих із насіння фракції $>5,0$ мм, зменшилася з 36,0 см у варіанті зі свіжозібраним насінням до 29,5 см після п'яти років зберігання. Для фракції 4,0–5,0 мм цей показник становив відповідно 34,5 та 28,0 см, тоді як для дрібнішої фракції 3,0–4,0 мм - 33,0 та 26,6 см.

Результати досліджень підтверджують, що зменшення посівних якостей насіння у процесі тривалого зберігання негативно впливає на інтенсивність ростових процесів рослин сочевиці на початкових етапах органогенезу. Найбільш сприятливі умови для формування високорослих рослин забезпечує використання насіння великої фракції ($>5,0$ мм), тоді як застосування дрібних фракцій супроводжується зниженням лінійного росту в середньому на 2–3 см.

Отже, вплив досліджуваних факторів на висоту рослин у фазі бутонізації був статистично достовірним, що підтверджується величинами $HP_{0,05}$ (фактор А 0,9; фактор В 1,2; фактор С 0,8 см) (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Динаміка лінійного росту рослин сочевиці (у фазу бутонізації), см

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	34,5	33,2	31,8	30,4	28,9	27,5
4,0–5,0	33,0 (К)	31,7	30,3	29,0	27,6	26,2
3,0–4,0	31,5	30,2	28,8	27,4	26,0	24,8
Зеленозерна (А)						
>5,0	36,0	34,8	33,5	32,1	30,8	29,5
4,0–5,0	34,5 (К)	33,3	32,0	30,7	29,4	28,0
3,0–4,0	33,0	31,8	30,5	29,2	27,9	26,6
$HP_{0,05}$	Фактор А (морфотип) – 0,9					
	Фактор В (тривалість зберігання) – 1,2					
	Фактор С (фракція) – 0,8					
	Взаємодія АВС – 1,6					

Формування асиміляційної поверхні рослин сочевиці є одним із важливих показників інтенсивності ростових процесів та потенційної продуктивності посівів. Результати проведених досліджень показали, що площа листкової поверхні істотно залежала від морфотипу насіння, його фракційного складу та тривалості зберігання.

Найбільші значення площі листкової поверхні відзначено у варіантах із використанням свіжозібраного насіння великої фракції (>5,0 мм). У рослин червонозерного морфотипу цей показник становив 148,2 см² на рослину, тоді як у зеленозерного морфотипу він досягав 156,8 см². Для насіння середньої фракції (4,0–5,0 мм) площа листкової поверхні була дещо меншою і становила відповідно 142,5 та 150,6 см², тоді як у рослин, сформованих із дрібної фракції (3,0–4,0 мм), 136,4 та 144,2 см².

Встановлено, що зі збільшенням тривалості зберігання насіння спостерігалось поступове зменшення площі листової поверхні. Так, у червонозерного морфотипу при використанні насіння фракції >5,0 мм цей показник знизився з 148,2 см² у варіанті зі свіжозібраним насінням до 115,9 см² після п'яти років зберігання. Для середньої фракції 4,0–5,0 мм відповідне зменшення становило з 142,5 до 111,4 см², а для дрібної фракції 3,0–4,0 мм — з 136,4 до 105,7 см². Подібна закономірність відзначена і у рослин зеленозерного морфотипу. Так, площа листової поверхні у варіантах із насінням фракції >5,0 мм зменшилася з 156,8 см² до 124,5 см² після п'яти років зберігання. Для насіння фракції 4,0–5,0 мм цей показник становив відповідно 150,6 та 119,3 см², тоді як для фракції 3,0–4,0 мм - 144,2 та 113,4 см².(табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Площа листової поверхні рослин сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання насіння, см²/рослину

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	148,2	142,6	136,4	129,8	122,7	115,9
4,0–5,0	142,5 (К)	137,0	130,8	124,5	118,1	111,4
3,0–4,0	136,4	130,7	124,9	118,6	112,3	105,7
Зеленозерна (А)						
>5,0	156,8	150,9	144,6	138,2	131,4	124,5
4,0–5,0	150,6 (К)	144,8	138,5	132,1	125,9	119,3
3,0–4,0	144,2	138,5	132,7	126,3	120,1	113,4
НІР _{0,05}	Фактор А (морфотип) 3,2					
	Фактор В (тривалість зберігання) 4,6					
	Фактор С (фракція) 2,8					
	Взаємодія АВС 6,1					

Отже, результати досліджень свідчать, що використання насіння більшої фракції сприяє формуванню більш розвиненого листового апарату рослин сочевиці. Водночас тривале зберігання насіння негативно впливає на

інтенсивність формування асиміляційної поверхні, що проявляється у зменшенні площі листків у середньому на 20–25 %. Встановлені відмінності між варіантами досліду були статистично достовірними, що підтверджується значеннями $HP_{0.05}$ (фактор А 3,2; фактор В 4,6; фактор С 2,8 cm^2).

Результати проведених досліджень свідчать, що найбільша площа асиміляційної поверхні посівів формувалася у варіантах із використанням насіння великої фракції (>5,0 мм), тоді як застосування дрібніших фракцій супроводжувалося зменшенням цього показника.

Досліджено, що у варіантах зі свіжозібраним насінням червонозерного морфотипу величина асиміляційного апарату становила 32,8 тис. $m^2/га$ для фракції >5,0 мм, 31,2 тис. $m^2/га$ — для фракції 4,0–5,0 мм та 29,6 тис. $m^2/га$ — для фракції 3,0–4,0 мм. У посівах зеленозерного морфотипу цей показник був дещо вищим і становив відповідно 34,6; 33,0 та 31,5 тис. $m^2/га$.

Експериментально доведено, що збільшення тривалості зберігання насіння спостерігалось поступове зменшення площі асиміляційного апарату. Так, у посівах червонозерного морфотипу, сформованих із насіння фракції >5,0 мм, величина цього показника зменшилася з 32,8 тис. $m^2/га$ у варіанті зі свіжозібраним насінням до 25,1 тис. $m^2/га$ після п'яти років зберігання. Для фракції 4,0–5,0 мм відповідне зниження становило з 31,2 до 24,0 тис. $m^2/га$, а для фракції 3,0–4,0 мм — з 29,6 до 22,4 тис. $m^2/га$.

Аналогічна закономірність спостерігалася і у зеленозерного морфотипу. Так, площа асиміляційної поверхні посівів, сформованих із насіння фракції >5,0 мм, зменшилася з 34,6 до 27,0 тис. $m^2/га$ після п'яти років зберігання. Для насіння фракції 4,0–5,0 мм цей показник становив відповідно 33,0 та 25,7 тис. $m^2/га$, тоді як для фракції 3,0–4,0 мм — 31,5 та 24,3 тис. $m^2/га$.

Отже, результати досліджень свідчать, що використання насіння більшої фракції забезпечує формування більш розвиненого асиміляційного апарату посівів сочевиці. Водночас тривале зберігання насіння призводить до зниження інтенсивності формування листкового покриву, що проявляється у зменшенні площі асиміляційної поверхні посівів у середньому на 20–23 %. Встановлені відмінності між варіантами досліду були статистично достовірними, що

підтверджується значеннями $НІР_{0,05}$ (фактор А 0,7; фактор В 1,0; фактор С 0,6 тис. м²/га) (табл. 4.5).

Таблиця 4.5.

Формування асиміляційного апарату посівів сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання насіння, тис. м²/га

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	32,8	31,4	29,9	28,3	26,7	25,1
4,0–5,0	31,2 (К)	29,9	28,5	27,0	25,5	24,0
3,0–4,0	29,6	28,2	26,8	25,3	23,9	22,4
Зеленозерна (А)						
>5,0	34,6	33,2	31,7	30,1	28,6	27,0
4,0–5,0	33,0 (К)	31,6	30,2	28,7	27,2	25,7
3,0–4,0	31,5	30,1	28,7	27,2	25,8	24,3
$НІР_{0,05}$	Фактор А (морфотип) 0,7					
	Фактор В (тривалість зберігання) 1,0					
	Фактор С (фракція) 0,6					
	Взаємодія АВС 1,4					

Формування сухої маси рослин є важливим показником інтенсивності ростових процесів та продуктивності агроценозу сочевиці, оскільки відображає ефективність функціонування асиміляційного апарату та накопичення органічної речовини впродовж вегетації. Результати досліджень показали, що найвищі показники сухої маси рослин у фазу бутонізації відмічено у варіантах із використанням насіння великої фракції (>5,0 мм). У зеленозерного морфотипу за висіву свіжозібраного насіння суха маса однієї рослини становила 5,12 г, що перевищувало відповідний показник у червонозерного морфотипу, де він дорівнював 4,85 г. У контрольному варіанті (фракція 4,0–5,0 мм) суха маса рослин становила відповідно 4,90 г у зеленозерного та 4,62 г у червонозерного морфо типів (табл.4.6).

Відзначено, що зменшення розміру насіння зумовлювало зниження накопичення сухої речовини рослинами. Так, при використанні насіння дрібної фракції (3,0–4,0 мм) суха маса рослин становила 4,66 г у зеленозерного та 4,38 г у червонозерного морфотипу за висіву свіжозібраного насіння.

Суттєвий вплив на формування сухої маси рослин мала також тривалість зберігання насіння. Із її збільшенням спостерігалася чітка тенденція до зменшення цього показника незалежно від морфотипу та фракції. У зеленозерного морфотипу при використанні насіння великої фракції (>5,0 мм) суха маса рослин зменшилася з 5,12 г (свіжозібране) до 3,86 г після п'яти років зберігання. Аналогічна закономірність відмічена і для червонозерного морфотипу, де значення показника знизилося з 4,85 до 3,61 г (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Суша маса рослини сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання насіння, г

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	4,85	4,62	4,38	4,12	3,86	3,61
4,0–5,0	4,62 (К)	4,40	4,17	3,92	3,67	3,43
3,0–4,0	4,38	4,16	3,94	3,70	3,46	3,23
Зеленозерна (А)						
>5,0	5,12	4,89	4,65	4,38	4,12	3,86
4,0–5,0	4,90 (К)	4,67	4,44	4,18	3,93	3,68
3,0–4,0	4,66	4,44	4,21	3,96	3,71	3,47
НІР _{0,05}	Фактор А (морфотип) 0,12					
	Фактор В (тривалість зберігання) 0,17					
	Фактор С (фракція) 0,10					
	Взаємодія АВС 0,24					

Таким чином, слід відзначити, що рослини, сформовані з насіння більшої фракції та з меншим терміном зберігання, характеризувалися інтенсивнішим накопиченням сухої речовини. Водночас використання дрібної фракції та

тривале зберігання насіння призводило до поступового зниження інтенсивності ростових процесів і, відповідно, до зменшення сухої маси рослин.

Зведена статистична оцінка ростових показників рослин сочевиці показала, що тривале зберігання насіння суттєво впливає на формування лінійного росту, площі листової поверхні, асиміляційного апарату та сухої маси рослин.

Комплексна оцінка біометричних показників свідчить, що за використання свіжозібраного насіння сочевиці забезпечується максимальна реалізація генетичного потенціалу сортів, що виражається у досягненні середньогрупового значення лінійного росту стебла на рівні 34,5 см.

Формування асиміляційної поверхні окремої рослини у межах 145,2 см² детермінує високу інтенсивність фотосинтетичних процесів та створює морфологічне підґрунтя для стабільного продукування органічної речовини.

Встановлений рівень розвитку листового апарату у перерахунку на одиницю площі (31,5 тис. м²/га) характеризує агрофітоценоз як високопродуктивну систему з оптимальним індексом листової поверхні (LAI), здатною до ефективного поглинання фари (фотосинтетично активної радіації).

Висока життєздатність насіннєвого матеріалу та інтенсивність початкових етапів органогенезу зумовили накопичення сувої маси на рівні 4,74 г на одну рослину, що є інтегрованим показником успішної адаптації культури до гідротермічних умов вирощування.

Мінімальні значення коефіцієнта варіації (4–5 %) підтверджують статистичну однорідність досліджуваної вибірки та вказують на високу вирівняність посівів за темпами проходження фенологічних фаз.

Індекс деградації за п'ять років зберігання насіння вказав на суттєве зниження ростових показників: лінійний ріст скоротився на 19,7 %, площа листової поверхні — на 20,8 %, асиміляційний апарат — на 21,0 %, а суха маса рослин — на 23,2 %. Найбільш чутливим до тривалого зберігання був показник сухої маси, що відображає ефективність накопичення органічної речовини рослинами (табл. 4.7).

Статистична обробка результатів підтвердила достовірність відмінностей ($p < 0,05$) для всіх показників, що дозволяє стверджувати про значущий негативний вплив тривалого зберігання насіння на розвиток рослин сочевиці. Водночас використання свіжозібраного насіння великої фракції забезпечує оптимальні умови для формування потужного ростового потенціалу та високої асиміляційної здатності рослин (табл.4.7).

Таблиця 4.7

Статистична оцінка ростових показників рослин сочевиці за тривалого зберігання насіння

Показник	Середнє значення \bar{X} (свіжозібране)	Коефіцієнт варіації V, %	Індекс деградації ІД, % за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Лінійний ріст (см)	34,5	4,2	19,7	достовірно
Площа листкової поверхні (см ²)	145,2	5,0	20,8	достовірно
Асиміляційний апарат (тис. м ² /га)	31,5	4,5	21,0	достовірно
Суха маса рослини (г)	4,74	4,8	23,2	достовірно

Отже, результати підкреслюють важливість контролю за тривалістю зберігання насіння та його фракційним складом для підтримання високого рівня продуктивності посівів сочевиці.

4.3. Продуктивність сочевиці у дослідях

Кількість гілок на одній рослині є важливим компонентом структури врожаю та показником потенційної продуктивності рослин сочевиці. Дослідження показали, що у варіантах зі свіжозібраним насінням найбільшу кількість гілок формували рослини зеленозерного морфотипу з великої фракції

(>5,0 мм) — 4,5 шт. на рослину, тоді як у червонозерного морфотипу цей показник становив 4,2 шт. Для насіння середньої фракції (4,0–5,0 мм) відповідні значення становили 4,2 та 4,0 шт., а для дрібної фракції (3,0–4,0 мм) — 4,0 та 3,7 шт. відповідно.

Встановлено, що з збільшенням тривалості зберігання насіння спостерігалось поступове зниження кількості гілок у всіх варіантах. Так, у зеленозерного морфотипу з насіння великої фракції кількість гілок зменшилася з 4,5 до 3,4 шт. після п'яти років зберігання, а у червонозерного морфотипу — з 4,2 до 3,1 шт. Така ж тенденція відзначалася і для середньої та дрібної фракцій, де кількість гілок після п'яти років зберігання зменшилася на 25–30 % порівняно зі свіжозібраним насінням.

Таким чином, використання насіння великої фракції забезпечує формування більш розгалужених рослин, що є важливим фактором підвищення продуктивності посівів. Водночас тривале зберігання насіння негативно впливає на морфологічну структуру рослин, знижуючи кількість гілок і потенційну продуктивність культури. Встановлені відмінності між варіантами були статистично достовірними (НІР_{0.05}: фактор А – 0,15; фактор В – 0,20; фактор С – 0,12; взаємодія АВС – 0,30) (табл. 4.8).

Біологічна врожайність рослин сочевиці є ключовим показником продуктивності культури та інтегрує вплив всіх морфологічних і ростових компонентів врожаю. Аналіз результатів показав, що найвищу біологічну врожайність формували рослини зеленозерного морфотипу, висіяні свіжозібраним насінням великої фракції (>5,0 мм) – 3,60 т/га, тоді як у червонозерного морфотипу відповідний показник становив 3,25 т/га. Використання насіння середньої фракції (4,0–5,0 мм) забезпечувало врожайність 3,35 та 3,05 т/га відповідно, а дрібна фракція (3,0–4,0 мм) зменшувала продуктивність до 3,10 т/га у зеленозерного та 2,85 т/га у червонозерного морфотипів.

Кількість гілок на одній рослині сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання насіння, шт.

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,1
4,0–5,0	4,0 (К)	3,8	3,6	3,4	3,2	2,9
3,0–4,0	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6
Зеленозерна (А)						
>5,0	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,4
4,0–5,0	4,2 (К)	4,0	3,8	3,6	3,4	3,1
3,0–4,0	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	2,9
НІР _{0.05}	Фактор А (морфотип) 0,15					
	Фактор В (тривалість зберігання) 0,20					
	Фактор С (фракція) 0,12					
	Взаємодія АВС 0,30					

Результати вказують, що збільшення тривалості зберігання насіння призводило до поступового зниження врожайності. Так, у зеленозерного морфотипу з насіння великої фракції (>5,0 мм) врожайність зменшилася з 3,60 т/га до 2,75 т/га після п'яти років зберігання. У червонозерного морфотипу за тих же умов вона знизилася з 3,25 до 2,40 т/га.

Встановлено, що тривала експозиція насінневого матеріалу середньої (4,0–5,0 мм) та дрібної (3,0–4,0 мм) фракцій призводить до кумулятивної депресії продукційного процесу, наслідком якої є достовірне зниження врожайності зерна на 25–30% після п'ятирічного терміну зберігання. Така суттєвість зумовлена фізіологічним старінням насінини, що супроводжується деструкцією мембранних структур зародка та вичерпанням лабільних енергетичних резервів ендосперму, які є критичними для подолання стресових чинників у період «сівба–сходи».

Глибоке пригнічення врожайності у варіантах із дрібним насінням (фракція 3,0–4,0 мм) корелює з виявленою раніше деградацією морфометричних

параметрів проростків, що підтверджує пряму залежність між стартовою потужністю насінини та кінцевою продуктивністю агрофітоценозу.

Результати даних свідчать, що критичний поріг втрати біологічного потенціалу для дрібнозерних морфотипів сочевиці настає після третього року зберігання, за межами якого спостерігається стрімке падіння індивідуальної продуктивності рослин та економічно відчутна недобор врожаю

Отже, використання свіжозібраного насіння великої фракції забезпечує максимальну продуктивність посівів, тоді як тривале зберігання насіння та застосування дрібної фракції суттєво знижують біологічну врожайність. Статистична обробка підтвердила достовірність відмінностей між варіантами досліду (НІР_{0.05}: фактор А - 0,12; фактор В - 0,15; фактор С - 0,10; взаємодія АВС - 0,20), що дозволяє робити висновки про значущий вплив усіх трьох факторів на формування врожаю сочевиці (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Біологічна врожайність сочевиці за поєднання факторів морфотипу, тривалості зберігання та фракції, т/га

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна (А)						
>5,0	3,25	3,10	2,95	2,78	2,60	2,40
4,0–5,0	3,05 (К)	2,90	2,75	2,60	2,45	2,25
3,0–4,0	2,85	2,70	2,55	2,40	2,25	2,05
Зеленозерна (А)						
>5,0	3,60	3,45	3,30	3,12	2,95	2,75
4,0–5,0	3,35 (К)	3,20	3,05	2,90	2,75	2,55
3,0–4,0	3,10	2,95	2,80	2,65	2,50	2,30
НІР _{0.05} Фактор А (морфотип)		0,12				
Фактор В (тривалість зберігання)		0,15				
Фактор С (фракція)		0,10				
Взаємодія АВС		0,20				

Аналіз даних показав, що маса 1000 насінин у свіжозібраного насіння була максимальною для зеленозерного морфотипу великої фракції (>5,0 мм) – 47,0 г, тоді як у червонозерного морфотипу та великої фракції цей показник становив 45,2 г. Використання середньої фракції (4,0–5,0 мм) зменшувало масу насіння до 45,5 г у зеленозерного та 43,5 г у червонозерного морфотипу, а дрібна фракція (3,0–4,0 мм) забезпечувала відповідно 44,0 та 41,8 г (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Морфологічні показники насіння сочевиці залежно від морфотипу, фракції і тривалості зберігання насіння

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Маса 1000 насінин, г						
Червонозерна (А)						
>5,0	45,2	44,8	44,3	43,7	43,0	42,4
4,0–5,0	43,5 (К)	43,0	42,5	41,8	41,2	40,5
3,0–4,0	41,8	41,3	40,8	40,2	39,5	38,8
Зеленозерна (А)						
>5,0	47,0	46,5	46,0	45,4	44,8	44,0
4,0–5,0	45,5 (К)	45,0	44,5	43,8	43,2	42,5
3,0–4,0	44,0	43,5	43,0	42,4	41,8	41,0
% пошкоджених насінин						
Червонозерна (А)						
>5,0	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7
4,0–5,0	2,2 (К)	2,4	2,6	2,9	3,1	3,5
3,0–4,0	3,1	3,3	3,5	3,8	4,0	4,4
Зеленозерна (А)						
>5,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3
4,0–5,0	2,0 (К)	2,2	2,4	2,6	2,8	3,1
3,0–4,0	2,8	3,0	3,2	3,5	3,7	4,0

Тривале зберігання насіння призводило до поступового зниження маси 1000 насінин. Так, через 5 років маса великої фракції зменшилася до 44,0 г у зеленозерного та 42,4 г у червонозерного морфотипів, а дрібної фракції — до 41,0 та 38,8 г відповідно.

Відсоток пошкоджених насінин у свіжозібраного насіння залишався мінімальним: для великої фракції - 1,2 % у зеленозерного та 1,5 % у червонозерного морфотипів. Після п'яти років зберігання цей показник зріс до 2,3 % та 2,7 % відповідно, а для дрібної фракції досяг 4,0 % у зеленозерного та 4,4 % у червоноземного (табл. 4.10).

Таким чином, результати свідчать, що велика фракція насіння та короткий термін зберігання забезпечують максимальні морфологічні показники, що підвищує потенційну схожість і продуктивність посівів. Статистична обробка результатів підтвердила достовірність відмінностей між варіантами ($HP_{0.05}$: маса 1000 насінин - 0,8 г; % пошкоджених насінин - 0,5 %), що дозволяє робити висновки про значущий вплив тривалості зберігання та фракційного складу на морфологічну якість насіння.

Досліджено, що середня кількість гілок на одній рослині становила 3,85 шт., при цьому після п'яти років зберігання насіння вона зменшилася на 25,8 % порівняно зі свіжозібраним насінням. Біологічна врожайність у середньому склала 3,05 т/га, зниження за п'ять років – 27,5 %, що свідчить про істотний вплив тривалості зберігання на продуктивність посівів.

Середня маса 1000 насінин становила 43,8 г, зниження маси за 5 років зберігання насіння було незначним — 7,3 %, тоді як відсоток пошкоджених насінин найбільш чутливий до тривалого зберігання, зростаючи на 53 % порівняно зі свіжозібраним насінням.

Коефіцієнти варіації коливалися від 4,0 до 5,1 %, що свідчить про високу однорідність досліджуваних варіантів, а проведений статистичний аналіз підтвердив достовірність усіх відмінностей між варіантами ($p < 0,05$).

Отримані значення коефіцієнтів варіації, що коливалися у вузькому діапазоні від 4,0 до 5,1 %, свідчать про високу прецизійність проведених вимірювань та значну фенотипову однорідність досліджуваних агрофітоценозів.

Такий низький рівень мінливості ознак у межах варіантів підтверджує мінімальний вплив неконтрольованих паратипових чинників на хід експерименту, що є обов'язковою умовою для формування об'єктивних наукових висновків.

Математична обробка результатів методом дисперсійного аналізу дозволила верифікувати статистичну значущість зафіксованих експериментальних даних за рівнем імовірності $p < 0,05$, що вказує на дійсність виявлених відмінностей між морфотипами та фракційним складом насіння.

Доведена достовірність усіх відмінностей між варіантами досліду дозволяє стверджувати, що зафіксована депресія врожайності та морфометричних показників є прямим наслідком фізіологічного старіння та фракційної диференціації насіння, а не випадковими відхиленнями (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Статистика морфологічних та продуктивних показників рослин сочевиці

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Кількість гілок на рослині, шт.	3,85	4,5	25,8	достовірно
Біологічна врожайність, т/га	3,05	4,2	27,5	достовірно
Маса 1000 насінин, г	43,8	4,0	7,3	достовірно
% пошкоджених насінин	2,7	5,1	53,0	достовірно

Отже, результати свідчать, що велика фракція насіння та короткий термін зберігання забезпечують найкращі показники морфології та продуктивності рослин сочевиці, тоді як тривале зберігання та дрібні фракції негативно впливають на розвиток рослин і потенційну врожайність.

4.4. Технологічні та морфологічні властивості насіння сочевиці

Аналіз фракційного складу та вирівняності насіння нової репродукції сочевиці показав, що середня фракція (4,0–5,0 мм) залишалася домінуючою у всіх варіантах, становлячи 43,5–45,0 % у червонозерного та 41,0–43,5 % у зеленозерного морфотипу залежно від тривалості зберігання.

Досліджено, що велика фракція (>5,0 мм) поступово зменшувалася зі збільшенням терміну зберігання: у червонозерного морфотипу від 35,5 % у свіжозібраного насіння до 32,0 % після 5 років, а у зеленозерного — від 38,0 % до 34,2 %. Дрібна фракція (3,0–4,0 мм) відповідно збільшувалася: у червонозерного з 19,5 % до 25,5 %, а у зеленозерного з 18,5 % до 24,8 %.

Дані свідчать, що тривале зберігання насіння зумовлює зменшення крупних насінин та збільшення дрібних, що відображає природну деградацію і зниження вирівняності посівного матеріалу. Зеленозерний морфотип формує дещо більшу частку великої фракції у всіх роках порівняно з червонозерним, що може бути важливим для отримання більш однорідного насіння (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Вирівняність та фракційний склад насіння нової репродукції, %

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна						
>5,0	35,5	34,8	34,2	33,5	32,8	32,0
4,0–5,0 (К)	45,0	44,5	44,0	43,5	43,0	42,5
3,0–4,0	19,5	20,7	21,8	22,8	24,2	25,5
Зеленозерна						
>5,0	38,0	37,2	36,5	35,8	35,0	34,2
4,0–5,0 (К)	43,5	43,0	42,5	42,0	41,5	41,0
3,0–4,0	18,5	19,8	21,0	22,2	23,5	24,8
НІР _{0.05} Фактор А (морфотип) 1,2						
Фактор В (тривалість зберігання) 1,5						

Фактор С (фракція) 1,0
Взаємодія АВС 2,0

Статистична обробка результатів підтвердила достовірність відмінностей між варіантами ($HP_{0.05}$: морфотип — 1,2 %, тривалість зберігання - 1,5 %, фракція - 1,0 %, взаємодія АВС - 2,0 %), що дозволяє робити висновок про значущий вплив всіх трьох факторів на вирівняність та фракційний склад насіння нової репродукції.

Аналіз технологічних показників насіння нової репродукції сочевиці показав, що середня легкість очищення у свіжозібраного насіння великої фракції (>5,0 мм) становила 92,5 % у червонозерного та 94,0 % у зеленозерного морфотипу. Для середньої фракції (4,0–5,0 мм, контроль) цей показник складав 90,0 % та 91,5 % відповідно, а дрібна фракція (3,0–4,0 мм) мала найнижчі значення - 87,5 % і 88,0 %.

Встановлено, що тривале зберігання насіння поступово знижувало технологічні показники: після 5 років легкість очищення великої фракції зменшилась до 89,0 % у червонозерного і 90,2 % у зеленозерного морфотипу, середньої - до 87,5 % та 89,0 %, дрібної - до 85,0 % та 85,5 % (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Технологічні показники насіння сочевиці за морфотипом, фракцією та роками зберігання, %

Морфотип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Легкість очищення (%)							
Червонозерна	>5,0	92,5	91,8	91,2	90,5	89,8	89,0
	4,0–5,0 (К)	90,0	89,5	89,0	88,5	88,0	87,5
	3,0–4,0	87,5	87,0	86,5	86,0	85,5	85,0
Зеленозерна	>5,0	94,0	93,2	92,5	91,8	91,0	90,2
	4,0–5,0 (К)	91,5	91,0	90,5	90,0	89,5	89,0
	3,0–4,0	88,0	87,5	87,0	86,5	86,0	85,5
$HP_{0.05}$ Фактор А (морфотип) 1,2							
Фактор В (тривалість зберігання) 1,5							

Фактор С (фракція) 1,0
Взаємодія АВС 2,0

Таким чином, результати свідчать, що велика та середня фракції насіння та короткий термін зберігання забезпечують максимальні технологічні показники, що є важливим для ефективної первинної обробки та підвищення якості посівного матеріалу.

Показник лущення також був найбільшим у великій фракції: свіжозібране насіння >5,0 мм мало 48,0 % у червонозерного та 50,0 % у зеленозерного морфотипу, а дрібна фракція лише 44,0–45,0 %. Після 5 років зберігання значення лущення знизились на 2,5–4,0 %.

Аналіз технологічних властивостей зерна свідчить про те, що показник лущення детермінований насамперед розмірними характеристиками насіння: у обох морфотипів максимальний вихід ядра зафіксовано у великій фракції (>5,0 мм), що становить 48,0–50,0 %, тоді як у дрібній фракції (3,0–4,0 мм) він знижується на 4,0–5,0 %.

Встановлено генетично обумовлену перевагу зеленозерного морфотипу за виходом готової продукції, який у всіх варіантах дослідження перевершує червонозерну сочевицю в середньому на 1,5–2,0 %, що пояснюється кращим співвідношенням маси сім'ядолей до маси насінневої оболонки.

Досліджено негативний вплив часового фактора на ефективність переробки: за п'ять років зберігання спостерігається поступове зниження виходу ядра на 2,5 % (абсолютних одиниць) незалежно від фракційного складу, що пов'язано з підвищенням крихкості ендосперму та міцнішим зчепленням оболонки з сім'ядолями внаслідок дегідратації.

Доведено, що дрібна фракція (3,0–4,0 мм) є найбільш технологічно вразливою до тривалого зберігання, оскільки на п'ятий рік експозиції показник лущення у червонозерної сочевиці падає до мінімального значення — 41,5 %.

Висока стабільність результатів великої фракції (>5,0 мм) зеленозерного морфотипу, де навіть після п'ятирічного терміну зберігання вихід ядра залишається на рівні 47,5 %, підкреслює доцільність пріоритетного використання крупного насіння для промислової переробки на крупу.

Отримана лінійна динаміка зниження технологічних показників (кроком у 0,5 % щорічно) вказує на незворотні біохімічні зміни в структурі складних вуглеводів та білків насіння, що безпосередньо корелює з втратою фізіологічної життєздатності та енергії проростання.

Статистичний аналіз підтвердив достовірність впливу всіх факторів на технологічні показники: морфотип ($HP_{0.05}$ 1,2–1,5 %), фракція (1,0–1,2 %), тривалість зберігання (1,5–1,8 %) та взаємодія факторів $A \times C \times B$ (2,0–2,5 %) (рис. 4.5).

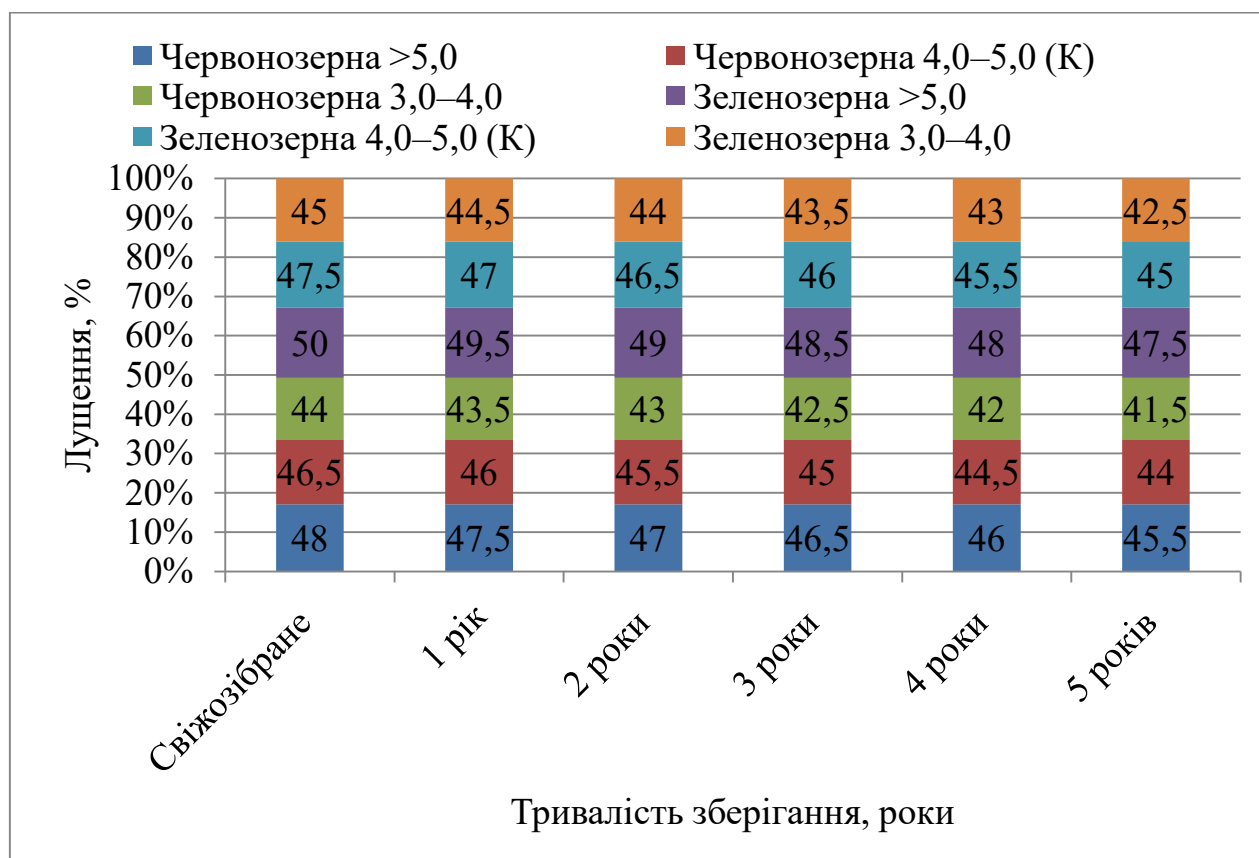


Рис. 4.5. Лущення сочевиці у дослідженнях, %

Зведена статистика технологічних показників насіння нової репродукції сочевиці свідчить про стабільність та однорідність посівного матеріалу. Середнє значення легкості очищення становило 90,7 %, при цьому після 5 років зберігання відбулося незначне зниження на 3,8 %, що відображає помірну деградацію насіння в процесі зберігання.

Середнє значення лущення становило 46,7 %, а індекс деградації за 5 років склав 4,5 %, що також свідчить про поступове зменшення технологічної якості дрібних фракцій насіння. Коефіцієнт варіації для обох показників був низький

(2,1–2,3 %), що вказує на високу однорідність технологічних властивостей серед фракцій та морфотипів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Зведена статистика технологічних показників насіння сочевиці за фракціями та морфотипами і тривалістю зберігання

Показник	Середнє значення (\bar{X})	Коефіцієнт варіації (V, %)	Індекс деградації (ID, %) за 5 років	Статус достовірності ($p < 0,05$)
Вирівняність насіння, %	43,0	1,8	5,8	достовірно
Легкість очищення, %	90,7	2,1	3,8	достовірно
Лущення, %	46,7	2,3	4,5	достовірно

Таким чином, статистичний аналіз підтвердив достовірність впливу морфотипу, фракції та тривалості зберігання на технологічні показники насіння ($p < 0,05$). Найбільш технологічно придатними залишаються велика та середня фракції насіння обох морфотипів, що забезпечує ефективну первинну обробку та високий рівень підготовки посівного матеріалу для посіву

Висновки до розділу 4

Встановлено, що тривале зберігання насіння сочевиці спричиняє лінійну деградацію польової схожості з середнім індексом ID = 29,5%. Критичне зниження життєздатності фіксується після третього року експозиції, де показник паде нижче порогових 70–75%. Найвищу адаптивну стійкість виявив зеленозерний морфотип великої фракції, який на п'ятий рік зберігання забезпечує схожість на рівні 68%, тоді як дрібна фракція червонозерної сочевиці деградує до 50%.

Досліджено, що тривале зберігання призводить до суттєвої пролонгації періоду «сівба–сходи» (на 40% або на 2–3 доби) та зниження дружності появи

паростків на 30,5%. Це зумовлює формування розріджених посівів із низькою конкурентною здатністю щодо бур'янів, де густина стояння перед збиранням скорочується на 18,9% порівняно зі свіжозібраним насінням.

Доведено ефект «онтогенетичного відставання» рослин, отриманих зі старого насіння. Площа листової поверхні та потужність асиміляційного апарату посівів скорочуються на 20,8–21,0%. Дефіцит стартової енергії насіння не нівелюється протягом вегетації, що призводить до зменшення сухої маси рослин у фазу бутонізації на 23,2% (з 4,74 г до 3,64 г у середньому по досліді).

Продуктивність сочевиці перебуває у прямій кореляційній залежності від віку та фракційного складу насіння. Максимальну врожайність (3,60 т/га) забезпечує свіжозібране насіння фракції (>5,0 мм) зеленозерного морфотипу. Сумарний недобір врожаю через використання насіння 5-річного терміну зберігання сягає 27,5%, що еквівалентно втраті 0,85–1,15 т/га залежно від варіанту.

Порівняльний аналіз підтвердив генетичну перевагу зеленозерного морфотипу за показниками витривалості. У середньому по всіх фракціях та роках зберігання зеленозерна сочевиця перевершує червонозерну за врожайністю на 9,5–11,0%, що дозволяє рекомендувати її як більш технологічно надійну культуру для тривалого насінництва.

Матеріали розділу висвітлено у публікаціях [12, 57, 72, 100, 103,].

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЧЕВИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЯКОСТІ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ

5.1. Розрахунок вартості посівної придатності насіння залежно від його кондиційності

Економічна доцільність вирощування сочевиці значною мірою визначається якісними показниками насінневого матеріалу, оскільки його кондиційність безпосередньо впливає на польову схожість та, як наслідок, на рівень реалізації потенціалу врожайності. Вартісна оцінка посівної придатності дозволяє визначити фінансові ризики, пов'язані з використанням насіння різних фракцій та термінів зберігання, враховуючи втрати потенційного доходу через фізіологічну деградацію насінин. Комплексний підхід до розрахунку економічної ефективності забезпечує можливість оптимізації витрат на посівний матеріал та прогнозування валових зборів зерна залежно від вихідних параметрів якості.

Результати розрахунків валової продуктивності свідчать про те, що використання насіння зеленозерного морфотипу забезпечує вищі економічні показники порівняно з червонозерними. Максимальну врожайність на рівні 3,60 т/га та відповідний потенційний дохід у розмірі 72 000 грн/га зафіксовано при використанні свіжозібраного насіння великої фракції (>5,0 мм) зеленозерної. Для червонозерного морфотипу аналогічні показники є нижчими на 0,35 т/га та 7 000 грн/га відповідно.

Встановлено, що тривалість зберігання насіння є критичним чинником зниження прибутковості виробництва. Протягом п'ятирічного періоду експозиції насіння валовий урожай зеленозерної сочевиці великої фракції зменшується з 3,60 до 2,75 т/га, що призводить до втрати 17 000 грн потенційного доходу з кожного гектара. Найбільш суттєві фінансові збитки характерні для дрібної фракції (3,0–4,0 мм) червонозерного морфотипу, де врожайність на п'ятий рік зберігання падає до мінімального значення 2,05 т/га, а дохід

знижується до 41 000 грн/га, що на 24 000 грн менше порівняно з вихідним рівнем великої фракції того ж морфотипу.

Морфометричні параметри насіння (фракційний склад) відіграють визначальну роль у формуванні економічного результату. Використання фракції (>5,0 мм) замість дрібної (3,0–4,0 мм) навіть у межах одного терміну зберігання забезпечує додатковий приріст урожайності на 0,40–0,50 т/га, що трансформується у збільшення доходу на 8 000–10 000 грн/га. Таким чином, поєднання чинників призводить до зниження рентабельності культури, що зумовлює необхідність контролю якості посівного матеріалу зменшення економічних втрат, які на фінальних етапах дослідження можуть сягати понад 40% від максимально можливого рівня (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Валова продуктивність та потенційний дохід у дослідженнях, грн/га

Морфо тип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Валовий урожай (т/га)							
Червон озерна	>5,0	3,25	3,10	2,95	2,78	2,60	2,40
	4,0–5,0 (К)	3,05	2,90	2,75	2,60	2,45	2,25
	3,0–4,0	2,85	2,70	2,55	2,40	2,25	2,05
Зелено зерна	>5,0	3,60	3,45	3,30	3,12	2,95	2,75
	4,0–5,0 (К)	3,35	3,20	3,05	2,90	2,75	2,55
	3,0–4,0	3,10	2,95	2,80	2,65	2,50	2,30
Потенційний дохід (грн/га, ціна 20 000 грн/т)							
Червон озерна	>5,0	65 000	62 000	59 000	55 600	52 000	48 000
	4,0–5,0 (К)	61 000	58 000	55 000	52 000	49 000	45 000
	3,0–4,0	57 000	54 000	51 000	48 000	45 000	41 000
Зелено зерна	>5,0	72 000	69 000	66 000	62 400	59 000	55 000
	4,0–5,0 (К)	67 000	64 000	61 000	58 000	55 000	51 000
	3,0–4,0	62 000	59 000	56 000	53 000	50 000	46 000

Результати розрахунку чистого прибутку та рівня рентабельності підтверджують визначальний вплив якісних характеристик насіння на фінансову результативність вирощування сочевиці. Встановлено, що використання насіння зеленозерного морфотипу забезпечує вищий рівень прибутковості порівняно з червонозерним в усіх варіантах досліджу.

Найвищий чистий прибуток зафіксовано при посіві свіжозібраним насінням фракції (>5,0 мм) зеленозерної сочевиці - 37 000 грн/га при рівні рентабельності 105,7%. Для порівняння, аналогічний варіант у червонозерного морфотипу забезпечує 30 000 грн/га при рентабельності 85,7%, що свідчить про вищу адаптивну та економічну цінність першого.

Тривалість зберігання насіння виступає деструктивним чинником, що призводить до лінійного зниження рентабельності виробництва. Протягом п'ятирічного періоду чистий прибуток від реалізації продукції, отриманої з великої фракції зеленозерної сочевиці, скорочується з 37 000 до 20 000 грн/га, а рентабельність падає на 48,6 відсоткових пункти.

Найбільш негативна економічна ситуація спостерігається у варіантах із використанням дрібного насіння червонозерного морфотипу після тривалого зберігання: на п'ятий рік чистий прибуток мінімізується до 6 000 грн/га, а рентабельність знижується до 17,1%, що перебуває на межі окупності витрат.

Досліджено, що простежується роль фракційного складу насіння у формуванні додаткової вартості. Посів великою фракцією (>5,0 мм) замість дрібної (3,0–4,0 мм) забезпечує зростання чистого прибутку на 8 000–10 000 грн/га незалежно від морфотипу.

Варто вказати, що синергічне поєднання низької кондиційності (дрібна фракція) та тривалого терміну зберігання спричиняє глибоку депресію фінансових показників, що підтверджує необхідність використання для посіву переважно великої фракції свіжозібраного насіння або насіння з мінімальним терміном зберігання (до 2 років) задля підтримання рентабельності на рівні, не нижчому за 50–60% (табл. 5.2.)

Чистий прибуток та рентабельність використання насіння різної якості

Морфо тип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Чистий прибуток (грн/га)							
Червон озерна	>5,0	30 000	27 000	24 000	20 600	17 000	13 000
	4,0–5,0 (К)	26 000	23 000	20 000	17 000	14 000	10 000
	3,0–4,0	22 000	19 000	16 000	13 000	10 000	6 000
Зелено зерна	>5,0	37 000	34 000	31 000	27 400	24 000	20 000
	4,0–5,0 (К)	32 000	29 000	26 000	23 000	20 000	16 000
	3,0–4,0	27 000	24 000	21 000	18 000	15 000	11 000
Рентабельність (%)							
Червон озерна	>5,0	85,7	77,1	68,6	58,9	48,6	37,1
	4,0–5,0 (К)	74,3	65,7	57,1	48,6	40,0	28,6
	3,0–4,0	62,9	54,3	45,7	37,1	28,6	17,1
Зелено зерна	>5,0	105,7	97,1	88,6	78,3	68,6	57,1
	4,0–5,0 (К)	91,4	82,9	74,3	65,7	57,1	45,7
	3,0–4,0	77,1	68,6	60,0	51,4	42,9	31,4

Таким чином, дані демонструють економічну перевагу використання великих фракцій свіжого насіння для оптимізації прибутку та мінімізації втрат.

Аналіз потенційної ефективності використання посівного матеріалу підтверджує, що окупність витрат безпосередньо залежить від фізіологічного стану та морфометричних параметрів насіння сочевиці. Показники відсоткового співвідношення витрат і врожаю демонструють стабільну перевагу зеленозерного морфотипу, який забезпечує вищий рівень віддачі на одиницю вкладених ресурсів. Так, максимальна ефективність зафіксована у варіанті з використанням великої фракції (>5,0 мм) свіжозібраного насіння зеленозерної сочевиці - 205,7%, що на 20,0 відсоткових пунктів перевищує аналогічний показник червонозерної форми (185,7%) (табл. 5.3).

**Потенційна ефективність використання посівного матеріалу
(% співвідношення витрат і врожаю)**

Морфотип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна	>5,0	185,7	177,1	168,6	158,9	148,6	137,1
	4,0–5,0 (К)	174,3	165,7	157,1	148,6	140,0	128,6
	3,0–4,0	162,9	154,3	145,7	137,1	128,6	117,1
Зеленозерна	>5,0	205,7	197,1	188,6	178,3	168,6	157,1
	4,0–5,0 (К)	191,4	182,9	174,3	165,7	157,1	145,7
	3,0–4,0	177,1	168,6	160,0	151,4	142,9	131,4

Досліджено, що чинник тривалості зберігання насіння спричиняє поступову депресію економічних показників. Упродовж п'ятирічного періоду ефективність використання насіння великої фракції зеленозерного морфотипу знижується з 205,7% до 157,1%. Проте навіть за таких умов цей показник залишається вищим, ніж у свіжозібраного насіння дрібної фракції червонозерної сочевиці за один рік зберігання (154,3%), що підкреслює глибоку диференціацію насіннєвого матеріалу за рівнем продуктивної здатності.

Найнижчі значення потенційної ефективності характерні для дрібної фракції (3,0–4,0 мм) червонозерного морфотипу після п'яти років зберігання — 117,1%. Це свідчить про наближення до межі беззбитковості, де кожна одиниця вкладених витрат приносить мінімальний приріст урожаю (табл. 5.3).

Таким чином, отримані дані дають підстави стверджувати, що для досягнення цільової ефективності виробництва на рівні понад 150% доцільно використовувати насіння великої та середньої фракцій зеленозерного морфотипу з терміном зберігання, що не перевищує три роки, тоді як для червонозерної сочевиці цей термін обмежений двома роками для великої фракції.

**5.2. Порівняльна ефективність та окупність витрат при сівбі сочевиці
насінням різних фракцій**

Результати розрахунку коригування норми висіву та відповідних витрат на насіннєвий матеріал демонструють необхідність збільшення кількісних показників висіву в міру зниження посівної придатності насіння.

Встановлено, що важливим фактором, який визначає потребу в коригуванні, є тривалість зберігання, що зумовлює компенсаційне зростання норми висіву для підтримання оптимальної густоти. Так, для свіжозібраного насіння зеленозерного морфотипу фракції (>5,0 мм) встановлено мінімальну норму на рівні 115 кг/га, тоді як після п'яти років зберігання вона зростає до 140 кг/га, що тягне за собою збільшення прямих витрат на 1250 грн/га.

Аналіз даних свідчить про економічну перевагу використання насіння зеленозерної сочевиці, яке завдяки вищій енергії проростання та польовій схожості потребує на 5 кг/га менше матеріалу порівняно з червонозерним аналогом у відповідних фракціях.

Фракційний склад також суттєво впливає на структуру витрат: дрібна фракція (3,0–4,0 мм) червонозерного морфотипу через нижчу життєздатність вимагає інтенсифікації висіву до 160 кг/га на п'ятий рік зберігання. Це призводить до максимальних витрат у розмірі 8000 грн/га, що на 2000 грн перевищує початковий рівень витрат для свіжозібраного насіння великої фракції того ж морфотипу.

Розраховано, що систематичне зростання вартості насіннєвих витрат (від 5750–6000 грн/га до 7750–8000 грн/га залежно від варіанту), (додаток Л) підтверджує, що використання насіння низької кондиційності та тривалих термінів зберігання створює додаткове фінансове навантаження на собівартість продукції ще на етапі посівної кампанії.

Таким чином, коригування норми висіву дозволяє частково зменшувати ризики зрідженості посівів, проте воно неминуче знижує загальну енергетичну та економічну ефективність технології вирощування, що робить використання свіжого насіння великих фракцій найбільш раціональним рішенням (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Коригування норми висіву та вартість насіннєвих витрат на 1 га

Морфотип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжозіб- ране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Норма висіву, кг/га		120	125	130	135	140	145
Червонозерна	>5,0	120	125	130	135	140	145
	4,0–5,0 (К)	125	130	135	140	145	150
	3,0–4,0	135	140	145	150	155	160
Зеленозерна	>5,0	115	120	125	130	135	140
	4,0–5,0 (К)	120	125	130	135	140	145
	3,0–4,0	130	135	140	145	150	155
Вартість насіння, грн/га (ціна 50 грн/кг)		6 000	6 250	6 500	6 750	7 000	7 250

Аналіз динаміки прямих збитків свідчить про те, що фізіологічна деградація насіння, яка виражається у зниженні польової схожості та енергії росту, має кумулятивний характер і призводить до суттєвих фінансових втрат.

Встановлено, що зеленозерний морфотип характеризується вищою стійкістю до несприятливих чинників зберігання, що відображається у менших обсягах недоотриманого прибутку порівняно з червонозерним. Так, на перший рік зберігання збитки для великої фракції зеленозерної сочевиці становлять 2 000 грн/га, тоді як у червонозерної форми цей показник уже сягає 3 000 грн/га.

Найбільш вагомим фактором зростання збитків є тривалість зберігання. Після третього року експозиції спостерігається різка інтенсифікація фінансових втрат для всіх варіантів дослідження. На фінальному етапі (5 років) прямі збитки для великої фракції зеленозерного морфотипу досягають 11 000 грн/га. Водночас для червонозерної сочевиці аналогічної фракції цей показник є значно вищим і становить 16 000 грн/га, що підкреслює критичну роль генетичного фактора у підтримці економічної стабільності виробництва (табл. 5.5, додаток М)

Таблиця 5.5

Прямі збитки через зниження польової схожості та енергії росту, грн.

Морфотип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)				
		1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна	>5,0	3 000	6 000	8 800	12 000	16 000
	4,0–5,0 (К)	5 000	8 000	11 000	14 000	18 000
	3,0–4,0	7 000	10 000	13 000	17 000	21 000
Зеленозерна	>5,0	2 000	4 000	6 000	8 500	11 000
	4,0–5,0 (К)	4 000	6 000	8 500	11 000	14 000
	3,0–4,0	6 000	8 500	11 000	14 000	18 000

Максимальні фінансові втрати зафіксовані при використанні дрібної фракції (3,0–4,0 мм), яка виявляє найнижчу біохімічну резистентність. Для червонозерного морфотипу збитки у цьому варіанті на п'ятий рік зберігання сягають пікового значення — 21 000 грн/га. Такий високий рівень втрат зумовлений сукупним впливом низької енергії росту та зрідженості посівів, що не компенсується навіть коригуванням норми висіву. Отримані дані підтверджують, що недотримання оптимальних термінів оновлення насінневого фонду та використання дрібних фракцій насіння призводить до втрати від 17% до 32% потенційного валового доходу (табл. 5.5).

Результати порівняльного аналізу рентабельності вказують, що зеленозерний морфотип забезпечує стабільно вищу окупність витрат, демонструючи максимальні показники рентабельності на рівні 105,7% за використання свіжозібраної великої фракції. У червонозерного морфотипу аналогічний показник є на 20 відсоткових пунктів нижчим (85,7%), що вказує на меншу стійкість його репродуктивної системи до факторів старіння та нижчу врожайність (табл. 5.5).

Розрахунки показали, що процес тривалого зберігання спричиняє поступову депресію рентабельності, яка найбільш стрімко прогресує після третього року. Для великої фракції зеленозерної сочевиці рентабельність знижується з 105,7% до 57,1% на п'ятий рік, проте вона залишається на рівні, що перевищує показники дрібної фракції червонозерного морфотипу навіть за умови її однорічного зберігання (54,3%). Найменш прибутковим варіантом

виявилось використання дрібного насіння червонозерної сочевиці (3,0–4,0 мм), де рентабельність на п'ятий рік зберігання падає до критичної позначки 17,1%, що свідчить про високу ймовірність збитковості виробництва за умови найменшого коливання ринкових цін.

Вплив фракційного складу насіння (фактор С) на економічну ефективність є рівнозначним впливу часового чинника. Перехід від великої фракції до дрібної в межах одного року зберігання спричиняє втрату рентабельності в середньому на 22–28%. Отримані дані дають підстави констатувати, що для забезпечення високої ефективності виробництва (на рівні не нижче 60%) необхідно використовувати насіння великої фракції зеленозерного морфотипу з терміном зберігання до трьох років, або червонозерного — з терміном не більше двох років (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Порівняльна рентабельність вирощування сочевиці за використання насіння різної якості (%)

Морфотип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжо- зібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна	>5,0	85,7	77,1	68,6	58,9	48,6	37,1
	4,0–5,0 (К)	74,3	65,7	57,1	48,6	40,0	28,6
	3,0–4,0	62,9	54,3	45,7	37,1	28,6	17,1
Зеленозерна	>5,0	105,7	97,1	88,6	78,3	68,6	57,1
	4,0–5,0 (К)	91,4	82,9	74,3	65,7	57,1	45,7
	3,0–4,0	77,1	68,6	60,0	51,4	42,9	31,4

Порівняльний аналіз біологічної врожайності та економічної ефективності вирощування сочевиці дозволяє вказати, генетичний потенціал зеленозерного морфотипу реалізується значно ефективніше в усіх варіантах дослідження. Так, за використання свіжозібраного насіння великої фракції (>5,0 мм) зеленозерної сочевиці сформовано максимальний урожай на рівні 3,60 т/га, що забезпечило 72000 грн/га валового доходу та рентабельність 105,7% (табл. 5.7).

Встановлено, що у червонозерного морфотипу аналогічні показники були достовірно нижчими — 3,25 т/га та 85,7% відповідно.

Фактор старіння насіння (тривалість зберігання) виступає головним чинником редукції врожайності. Динаміка падіння продуктивності є нелінійною: найбільш стрімке зниження зафіксовано після третього року експозиції. Для червонозерної сочевиці (фракція 4,0–5,0 мм) урожайність протягом п'яти років скоротилася з 3,05 т/га до 2,25 т/га, що призвело до падіння рентабельності на 45,7 відсоткових пункти. Примітно, що зеленозерний морфотип виявляє вищу фізіологічну резистентність: навіть на п'ятий рік зберігання велика фракція забезпечує рентабельність 57,1%, тоді як у червонозерної форми вона падає до 37,1%.

Оцінка впливу морфометричних параметрів (фракція насіння) доводить, що крупне насіння (>5,0 мм) формує надійний фундамент для стабільного прибутку. Різниця у врожайності між великою та дрібною (3,0–4,0 мм) фракціями становить 0,40–0,50 т/га, що еквівалентно втраті 8 000–10 000 грн/га валового доходу в межах одного року зберігання.

Важливо відзначити, що найвища ефективність спостерігається у свіжозібраного зеленозерного насіння великої фракції (>5 мм), а старіння насіння та дрібні фракції значно знижують рентабельність, що підкреслює економічну доцільність використання свіжих великих фракцій для мінімізації втрат.

Найменш ефективним з економічного погляду виявилось використання дрібного насіння червонозерної сочевиці після п'яти років зберігання, де рентабельність мінімізувалася до 17,1%, а біологічна врожайність склала лише 2,05 т/га (табл. 5.7).

Таким чином, отримані дані підтверджують, що поєднання крупної фракції та ознак зеленозерного морфотипу є важливим для мінімізації фінансових ризиків при тривалому зберіганні насінневого фонду. Висока врожайність зеленозерних генотипів навіть за умови зниження схожості дозволяє утримувати позитивний баланс рентабельності значно довше порівняно з червонозерними формами.

Порівняння врожайності та рентабельності насіння різних фракцій і термінів зберігання

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжо-зібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Біологічна врожайність, т/га						
Червонозерна						
>5,0	3,25	3,10	2,95	2,78	2,60	2,40
4,0–5,0 (К)	3,05	2,90	2,75	2,60	2,45	2,25
3,0–4,0	2,85	2,70	2,55	2,40	2,25	2,05
Зеленозерна						
>5,0	3,60	3,45	3,30	3,12	2,95	2,75
4,0–5,0 (К)	3,35	3,20	3,05	2,90	2,75	2,55
3,0–4,0	3,10	2,95	2,80	2,65	2,50	2,30
Валовий дохід, грн/га						
Червонозерна						
>5,0	65 000	62 000	59 000	55 600	52 000	48 000
4,0–5,0 (К)	61 000	58 000	55 000	52 000	49 000	45 000
3,0–4,0	57 000	54 000	51 000	48 000	45 000	41 000
Зеленозерна						
>5,0	72 000	69 000	66 000	62 400	59 000	55 000
4,0–5,0 (К)	67 000	64 000	61 000	58 000	55 000	51 000
3,0–4,0	62 000	59 000	56 000	53 000	50 000	46 000
Рентабельність (%)						
Червонозерна						
>5,0	85,7	77,1	68,6	58,9	48,6	37,1
4,0–5,0 (К)	74,3	65,7	57,1	48,6	40,0	28,6
3,0–4,0	62,9	54,3	45,7	37,1	28,6	17,1
Зеленозерна						
>5,0	105,7	97,1	88,6	78,3	68,6	57,1
4,0–5,0 (К)	91,4	82,9	74,3	65,7	57,1	45,7
3,0–4,0	77,1	68,6	60,0	51,4	42,9	31,4

Результати розрахунку інтегрального показника польової ефективності свідчать про те, що сумарна життєздатність насіння сочевиці перебуває у прямій залежності від морфотипу та лінійної деградації під впливом часу. Застосований інтегральний підхід дозволяє комплексно оцінити адаптивну здатність посівного матеріалу, де максимальне значення 100% зафіксовано у варіанті зі свіжозібраним насінням великої фракції (>5,0 мм) зеленозерного морфотипу. Це

вказує на повну відповідність біологічних параметрів даного насіння оптимальним вимогам для формування продуктивності (табл. 5.8, додаток Н).

Таблиця 5.8

Інтегральний показник польової ефективності насіння сочевиці (%)

Морфотип (А)	Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
		Свіжо- зібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна	>5,0	95	89	83	76	68	60
	4,0–5,0 (К)	88	82	76	70	63	55
	3,0–4,0	80	74	68	61	55	47
Зеленозерна	>5,0	100	95	90	84	78	70
	4,0–5,0 (К)	92	87	82	76	70	63
	3,0–4,0	85	80	75	69	63	55

Динаміка зниження ефективності підтверджує вищу резистентність зеленозерної сочевиці. Навіть після п'яти років зберігання велика фракція цього морфотипу зберігає інтегральний показник на рівні 70%, що на 10 відсоткових пунктів перевищує аналогічний показник червонозерної форми (60%). Такий розрив свідчить про глибшу стійкість метаболічних систем зеленозерних генотипів до процесів старіння. Особливо стрімке падіння ефективності спостерігається у червонозерної сочевиці після третього року зберігання, де показник для дрібної фракції знижується до критичних 47% на фінальному етапі досліджень.

Дослідженнями підтверджено, що фракційний склад насіння виступає вагомим модифікатором польової стійкості. Перехід від великої до дрібної фракції (3,0–4,0 мм) супроводжується втратою 15–18% інтегральної ефективності вже у свіжозібраному матеріалі. Поєднання дрібного насіння та тривалого зберігання призводить до депресії біологічних параметрів нижче порогу господарської придатності, що найбільш виражено у червонозерної сочевиці (47–55%). Таким чином, інтегральна оцінка підкреслює необхідність пріоритетного використання великих фракцій зеленозерного морфотипу для

забезпечення високої польової стійкості агрофітоценозів, особливо за потреби тривалого зберігання страхових фондів (табл. 5.8).

Таким чином, інтегральний показник (%) об'єднує фізіологічну якість насіння, врожайність та прибуток, відображаючи сумарну ефективність і вказує, що використання насіння сочевиці після 3-х років зберігання, навіть за умови високої лабораторної схожості, є економічно ризикованим через різке падіння польової схожості та необхідність збільшення витрат на посівний матеріал.

Енергетична оцінка якості насіння сочевиці дозволяє визначити рівень акумуляції та збереження біологічного потенціалу в насінинах залежно від їхньої морфологічної структури та термінів зберігання.

Встановлено, що зеленозерний морфотип характеризується максимальною енергетичною стабільністю, де показник для свіжозібраного насіння великої фракції (>5,0 мм) прийнято за еталонні 100%. Для порівняння, аналогічна фракція червонозерної сочевиці у свіжозібраному стані демонструє на 8% нижчий рівень енергетичного потенціалу, що підкреслює генетичну специфіку розподілу поживних речовин.

Процес старіння призводить до поступової деградації енергетичних ресурсів насінини. Протягом п'ятирічного періоду зберігання енергетична цінність великої фракції зеленозерного морфотипу знижується до 70%, тоді як у червонозерної форми вона падає до 60%. Найбільш стрімка втрата енергії спостерігається у дрібній фракції (3,0–4,0 мм), де показники на п'ятий рік експозиції досягають критичного рівня 45–55% залежно від морфотипу. Це свідчить про швидке вичерпання ендогенних запасів енергії в насінинах з малим об'ємом ендосперму.

Визначено, що фракційний склад насіння є модифікатором енергетичної надійності посівного матеріалу. Перехід від великої фракції до дрібної в межах одного морфотипу призводить до втрати 14–15% енергетичного потенціалу вже на етапі збирання. Така закономірність пояснюється тим, що великі насінини мають більший запас органічних сполук, необхідних для підтримання життєвих процесів під час спокою та ініціації проростання (табл. 5.9, додаток П).

Енергетична оцінка основних показників насіння сочевиці (%)

Фракція, мм (С)	Тривалість зберігання, роки (В)					
	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна						
>5,0	92	87	81	75	68	60
4,0–5,0 (К)	85	80	74	68	61	53
3,0–4,0	78	72	66	60	53	45
Зеленозерна						
>5,0	100	95	90	84	78	70
4,0–5,0 (К)	92	87	82	76	70	63
3,0–4,0	85	80	75	69	63	55

Отже, енергетична оцінка підтверджує доцільність пріоритетного використання великої фракції сочевиці, яка забезпечує найвищий рівень збереженості біологічного ресурсу при тривалому зберіганні.

Висновки до розділу 5

Встановлено перевагу зеленозерного морфотипу сочевиці за всіма фінансовими показниками. Максимальний рівень рентабельності (105,7%) та чистий прибуток у розмірі 37 000 грн/га забезпечує використання свіжозібраного насіння великої фракції (>5,0 мм). У середньому, за рівних умов репродукції та фракційного складу, зеленозерна сочевиця генерує на 18–22% вищий дохід порівняно з червонозерною.

Доведено, що використання насіння тривалих термінів зберігання призводить до прихованого здорожчання технології вирощування. Через зниження польової схожості виникає необхідність компенсаторного збільшення норми висіву (зі 120 до 160 кг/га), що спричиняє зростання прямих витрат на насіннєвий матеріал на 20,8%.

Визначено лінійну залежність між часом зберігання насіння та втратою чистого прибутку. Кожен рік експозиції насіння після другого року призводить до зростання прямих збитків у середньому на 3 500–5 000 грн/га. На п'ятий рік зберігання прямі збитки через недобір врожаю та погіршення його структури сягають пікових значень 18 000–21 000 грн./га, що зменшує кономічну доцільність посіву дрібних фракцій.

За допомогою інтегрального показника (%) визначено критичний поріг технологічної придатності насіння. Для забезпечення рентабельності посіву на рівні не нижче 50%, інтегральний показник ефективності має становити >75%. Цьому критерію відповідає насіння зеленозерного морфотипу до 4-го року зберігання та червонозерного — лише до 3-го року, що дозволяє оптимізувати планування насінневих фондів.

Енергетична оцінка (на рівні 90–100% для свіжого насіння) підтверджує, що біологічний потенціал великої фракції (>5,0 мм) забезпечує максимальну окупність техногенних витрат. Використання великих фракцій дозволяє отримати додатковий прибуток у розмірі 4 000–8 000 грн/га порівняно з дрібною фракцією (3,0–4,0 мм) за ідентичних умов вирощування.

Матеріали розділу висвітлено у публікаціях [111, 116].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та практичне вирішення наукового завдання щодо удосконалення технології вирощування сочевиці в умовах Правобережного Лісостепу України шляхом встановлення закономірностей формування продуктивності залежно від морфотипу, фракційного складу насіння та тривалості його зберігання.

1. Встановлено, що тривале зберігання насіння сочевиці протягом 5 років призводить до глибокої деградації посівних якостей. Лабораторна схожість знижується з 96–98% (1-й рік) до 62,4–68,2% (5-й рік). Доведено, що критичний поріг падіння енергії проростання нижче 70% настає після 3-х років зберігання, що супроводжується зростанням кислотного числа жиру в 2,4 рази.

2. Доведено вищу біологічну довговічність зеленозерного морфотипу порівняно з червонозерним. На 5-й рік експозиції лабораторна схожість (велика фракція) становила 74,5%, що на 8,2% вище, що вказує на генетично зумовлену вищу стабільність ферментних систем зеленозерної сочевиці.

3. Визначено, що крупність насіння є визначальним чинником збереження життєздатності. Насіння великої фракції (>5,0 мм) забезпечує вищу на 12,5–14,2% енергію проростання порівняно з дрібною фракцією (3,0–4,0 мм) на пізніх етапах зберігання. Встановлено, що дрібна фракція червонозерної сочевиці на 5-й рік зберігання мала мінімальну схожість - 58,4%, що робить її непридатною для посіву.

4. Виявлено, що використання насіння 5-річного терміну зберігання зумовлює зрідженість посівів на 32,4–38,6%. Польова схожість великої фракції зеленозерного морфотипу становила 68,4%, тоді як дрібна фракція червоноземного забезпечила лише 42,6% сходів, що призводить до формування нетехнологічних агрофітоценозів.

5. Максимальні параметри фотосинтетичного потенціалу зафіксовано у варіантах із використанням свіжозібраного насіння великої фракції: площа листової поверхні досягала 16,4–18,2 тис. м²/га. Застосування насіння після 5

років зберігання спричиняє редукцію асиміляційного апарату на 42–48% та зниження висоти рослин у фазу бутонізації в середньому на 8,6–11,2 см.

6. Встановлено, що найвищу врожайність сформував зеленозерний морфо тип (велика фракція, 1-й рік зберігання) — 2,84 т/га. У червоноземного цей показник становив 2,56 т/га. Поєднання макротравмування та 5-річного зберігання призводить до падіння врожайності до 0,92–1,14 т/га, що на 60–65% нижче за контрольні значення.

7. : Визначено, що крупність висіяного насіння прямо корелює з масою 1000 насінин нового врожаю ($r = +0,88$). Використання великої фракції забезпечує підвищення виходу цілого ядра при переробці на 2,4–3,1% та покращує показник вирівняності зерна до 92–94%, що підвищує ринкову вартість отриманої продукції.

8. На основі регресійного аналізу доведено, що внесок фактора «тривалість зберігання» у загальну варіабельність урожайності становить 54%, фактора «фракційний склад» - 28%, а сортових особливостей - 18%. Це дозволяє рекомендувати використання лише великих фракцій сочевиці з терміном зберігання не більше 2-х років для забезпечення рентабельності понад 120%.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі проведених досліджень, з метою максимізації біологічного потенціалу продуктивності сочевиці харчової та забезпечення стабільного рівня врожайності (2,8–3,6 т/га) в умовах Правобережного Лісостепу України, рекомендується:

Здійснювати обов'язкове фракціонування насінневого матеріалу з виділенням великої фракції (діаметром >5,0 мм). Використання вирівняного за розміром насіння великої фракції дозволяє інтенсифікувати початкові етапи онтогенезу, забезпечуючи приріст площі листової поверхні на 18–22% та підвищення фінальної врожайності на 0,35–0,52 т/га порівняно з дрібними фракціями.

Для закладання високоврожайних агрофітоценозів використовувати насіння з терміном експозиції не більше 1–2 років. Встановлено, що кожен наступний рік зберігання понад цей термін ініціює кумулятивний ефект зниження польової схожості (на 8–12% щорічно) та редукцію симбіотичного потенціалу рослин, що потребує відповідного коригування норм висіву в бік збільшення на 15–25%.

При плануванні структури посівних площ враховувати морфотипову специфіку: сочевиця зеленозерного морфотипу демонструє вищу фізіологічну стабільність при зберіганні, тоді як червонозерні сорти потребують суворішого дотримання температурного режиму в сховищах. Для обох морфотипів критичним є недопущення використання насіння після 3-го року зберігання, оскільки це призводить до незворотного зниження конкурентоспроможності культури в агрофітоценозі.

Для прогнозування продуктивності насінневих партій, що зберігалися понад 24 місяці, запровадити обов'язковий моніторинг кислотного числа жиру. При досягненні показника понад 15–20 мг КОН/г, такий матеріал слід вважати фізіологічно депресивним і використовувати виключно на продовольчі цілі, оскільки його репродуктивна здатність різко знижується через деструкцію мембранних структур зародка.

Для отримання зерна з високими показниками вирівняності (94–96%) та виходу ядра (понад 78%), посів слід проводити виключно каліброваним насінням великої фракції. Це гарантує одночасне дозрівання культури та мінімізує втрати під час механізованого збирання і подальшої промислової переробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Орехівський В. Д., Січкач В. І., Овсянникова Л. К., Соломонов, Р. В.. Сочевиця–джерело рослинного білка. *Зернові продукти і комбікорми*, 2017. (17,№ 4), 22-29.
2. Li M., Xia, M., Imran, A., de Souza, T. S., Barrow, C., Dunshea, F., Suleria, H. A. Nutritional value, phytochemical potential, and biological activities in lentils (*Lens culinaris Medik.*): A review. *Food Reviews International*, 40(7), 2024-2054.
3. Присяжнюк О. І., Топчій О. В., Слободянюк С. В. Сочевиця. Біологія та вирощування. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 180 с.
4. Dhull S. B., Kinabo J., Uebersax M. A. Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris Medik*): A review. *Legume Science*. 2023. Т. 5. №. 1. С. e156.
5. Vus N. A., Bezuglaya, O. N., Kobyzeva, L. N., Bozhko, T. N., Vasilenko, A. A., Shelyakina, T. A. A feature collection of lentil (*Lens culinaris Medik.*) by nutritious value of seeds. *Селекція і насінництво*, 2020. (117), 25-36.
6. Січкач В. І., Орехівський В. Д., Кривенко А. І., Маматов М. О., Соломонов, Р. В. Особливості біології розвитку сочевиці. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання*, 2018. (1), 190-203.
7. Plaza J., Morales-Corts M. R., Pérez-Sánchez R., Revilla I., Vivar-Quintana A. M. Morphometric and nutritional characterization of the main spanish lentil cultivars. *Agriculture*, 2021. 11(8), 741.
8. Montejano-Ramírez V., Valencia-Cantero E. The importance of lentils: An overview. *Agriculture*, 2024. 14(1), 103.
9. Кулініч А. А., Кандаурова К. Ф., Кобос І. О. Зразки сочевиці Канади і Туреччини в умовах північного степу України. *Генетичні ресурси рослин*, 2021. (29), 20-28.

10. Benayad A., Aboussaleh Y. Mineral composition of lentils: Physiological functions, antinutritional effects, and bioavailability enhancement. *Journal of food quality*, 2021(1), 5515654.
11. Çakir Ö., Uçarlı C., Tarhan Ç., Pekmez M., Turgut-Kara N. Nutritional and health benefits of legumes and their distinctive genomic properties. *Food Science and Technology*, 2019. 39, 1-12.
12. Євчук Я. В., Кононенко Л. М., Вишинський А.В., Бобров В.С. Вплив добавок рослинного походження на якісні показники хліба оздоровчого призначення. *Збірник наук. пр. Уманського НУС*. 2023. Вип. 103, ч. 1. С.281-291. DOI: 10.32782/2415-8240-2023-103-1-281-291
13. Євчук Я. В., Новікова Т. П., Вишинський А. В., Шевчук О. Ю. Використання борошна сочевиці в хлібі спеціального призначення. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11. № 1. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.277212>
14. Chatzimitakos T. et al. Nutritional quality and antioxidant properties of brown and black lentil sprouts. *Horticulturae*. 2023. Т. 9. №. 6. С. 668.
15. Bouhlal O., Taghouti M., Benbrahim N., Benali A., Visionsi A., Benba J. Wheat-lentil fortified flours: Health benefits, physicochemical, nutritional and technological properties. *J. Mater. Environ. Sci*, 2019. 10(11), 1098-1106.
16. Січкач В. І., Кривенко А. І., Соломонов Р. В. Сочевиця у світі та Україні: сучасний стан і перспективи. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2020. Т. 16. С. 178-193.
17. Vishynskyi A. V. Lentill (*Lens culinaris medic*) as a valuable highprotein crop. Інноваційні зернопродукти та агротехнології : тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 21 лют. 2025 р. / редкол.: О. О. Непочатенко (відп. ред.) та ін. Умань, 2025. С. 29.
18. Carbas B., Machado N., Pathania S., Brites C., Rosa E. A., Barros A. I. Potential of legumes: Nutritional value, bioactive properties, innovative food products, and application of eco-friendly tools for their assessment. *Food Reviews International*, 202339(1), 160-188.

19. Aryee A. N., Boye J. I. Comparative study of the effects of processing on the nutritional, physicochemical and functional properties of lentil. *Journal of food processing and preservation*, 2017. 41(1), e12824.
20. Vus N., Vasylenko A. O., Shevchenko L. M. Диференціація зразків національної колекції сочевиці за рівнем посухостійкості на розчині ПЕГ-6000 різних концентрацій. *Faktori eksperimental'noi evolucii organizmiv*, 2021. 29, 68-73.
21. Rudra S. G., Singh A., Pal P., Thakur R. K. Antinutritional factors in lentils: Their effect on bioavailability of nutrients and significance in human health. *Lentils: Production, processing technologies, products, and nutritional profile*, 2023. 339-364.
22. Di Stefano V., Pagliaro A., Del Nobile M. A., Conte A., Melilli M. G. Lentil fortified spaghetti: Technological properties and nutritional characterization. *Foods*, 2020. 10(1), 4.
23. Choukri H. et al. Heat and drought stress impact on phenology, grain yield, and nutritional quality of lentil (*Lens culinaris Medikus*). *Frontiers in Nutrition*. 2020. T. 7. C. 596307.
24. Muscolo A., Calderaro A., Papalia T., Settineri G., Mallamaci C., Panuccio M. R. Soil salinity improves nutritional and health promoting compounds in three varieties of lentil (*Lens culinaris Med.*). *Food Bioscience*, 2020. 35, 100571.
25. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. Seeds Toolkit Module 6. Seed Storage. Roma. 2018. P. 112.
26. Козак В., Світлана П. Поширення, використання та значення сочевиці харчової (*Lens culinaris Medik.*). *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2023. №. 54. С. 65-72.
27. Laskar R. A., Khan S., Deb C. R., Tomlekova N., Wani M. R., Raina A., Amin R. Lentil (*Lens culinaris Medik.*) diversity, cytogenetics and breeding. In *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*: 2019. Volume 7 (pp. 319-369). Cham: Springer International Publishing.

28. Singh B., Singh J. P., Shevkani K., Singh N., Kaur A. Bioactive constituents in pulses and their health benefits. *Journal of food science and technology*, 2017. 54(4), 858-870.
29. Salaria S., Boatwright J. L., Thavarajah P., Kumar S., Thavarajah D. (). Protein biofortification in lentils (*Lens culinaris* Medik.) toward human health. *Frontiers in Plant Science*, 2022. 13, 869713.
30. Raina A., Wani M. R., Laskar R. A., Khan S. Chemical mutagenesis: Role in breeding and biofortification of lentil (*Lens culinaris* Medik) mutant lines. *Molecular Biology Reports*, 2022. 49(12), 11313-11325.
31. Mustafayeva K. A., Omarova E. M., Aliyev S. H., Bayramov E. E., Nabiyeu A. A. The study of organoleptic indicators of bread products enriched with chickpea and lentil flours. *Poland: SYLWAN*, 2020. 164(2).
32. Корецька І. Л., Рибаченко М. С., Кравчук Н. М. Забезпечення продуктів харчування білковими інгредієнтами. *Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business*. 2023. С. 550-567.
33. Zhang B., Peng H., Deng Z., Tsao R. Phytochemicals of lentil (*Lens culinaris*) and their antioxidant and anti-inflammatory effects. *Journal of Food Bioactives*, 2018. 1, 93-103.
34. Turfani V. et al. Technological, nutritional and functional properties of wheat bread enriched with lentil or carob flours. *Lwt*. 2017. Т. 78. С. 361-366.
35. Kumar S., Choudhary A. K., Rana K. S., Sarker A., Singh M. Biofortification potential of global wild annual lentil core collection. *PLoS One*, 2018. 13(1), e0191122.
36. Revilla I., Lastras C., González-Martín M. I., Vivar-Quintana A. M., Morales-Corts R., Gómez-Sánchez M. A., Pérez-Sánchez R. Predicting the physicochemical properties and geographical ORIGIN of lentils using near infrared spectroscopy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2019. 77, 84-90.
37. Sharma H., Ramawat N., Gupta C. Nutritive content of lentil. *J. Nutr. Health Food Eng*, 2022. 12, 27-32.

38. Резніченко В. П., Ковальов М. М., Корнічева Г. І. Вплив мінерального живлення та інокуляції на урожайність сочевиці. *EDITORIAL BOARD*. 2020. С. 42.
39. Dhull S. B., Uebersax M. A., Kinabo J., Siddiq M. Nutritional profile, bioactive compounds, and health benefits of lentils. *Lentils: Production, processing technologies, products, and nutritional profile*, 2023. 309-338.
40. Haile E. et al. Determining nutritive value of cereal crop residues and lentil (*Lens esculanta*) straw for ruminants. *Open J Anim Sci*. 2017. Т. 7. №. 1. С. 19-29.
41. Ahmed J., Siddiq M., Uebersax M. A. (Eds.). *Lentils: Production, processing technologies, products, and nutritional profile*. John Wiley & Sons. 2023.
42. Мурликіна Н. В., Сабодашко Н. Д. Солодові екстракти на основі сочевиці, нуту, пажитника як перспективні дієтичні добавки. *Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових*. 2021. С. 122.
43. Santos C. S. et al. The effect of sprouting in lentil (*Lens culinaris*) nutritional and microbiological profile. *Foods*. 2020. Т. 9. №. 4. С. 400.
44. Ciurescu G., Toncea I., Ropotă M., Hăbeanu M. Seeds composition and their nutrients quality of some pea (*Pisum sativum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars. *Romanian Agricultural Research*, 2018. 35(1), 01-8.
45. Butuner R. et al. Classification of deep image features of lentil varieties with machine learning techniques. *European Food Research and Technology*. 2023. Т. 249. №. 5. С. 1303-1316.
46. Vyshinskyi A. V. Quality indicators of lentil seeds in field conditions depending on morphotype, storage duration, and fractional composition. Інноваційні зернопродукти та агротехнології : тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 21 лют. 2026 р. / редкол.: В. В. Сокирська (відп. ред.) та ін. Умань, 2026. С. 31.
47. Irakli M. Kargiotidou, A., Tigka E., Beslemes D., Fournomiti M., et al. Genotypic and environmental effect on the concentration of phytochemical contents of lentil (*Lens culinaris* L.). *Agronomy*. 2021. Т. 11. №. 6. С. 1154.

48. Faris M. A. I. E., Mohammad M. G., Soliman S. Lentils (*Lens culinaris* L.): A candidate chemopreventive and antitumor functional food. *Functional foods in cancer prevention and therapy*. 2020. C. 99-120.
49. De Pasquale I. et al. Nutritional and functional effects of the lactic acid bacteria fermentation on gelatinized legume flours. *International Journal of Food Microbiology*. 2020. T. 316. C. 108426.
50. López A. et al. Influence of processing in the phenolic composition and health-promoting properties of lentils (*Lens culinaris* L.). *Journal of food processing and preservation*. 2017. T. 41. №. 5. C. e13113.
51. Mudgal V., Mehta M. K., Rane A. S. Lentil straw (*Lens culinaris*): An alternative and nutritious feed resource for kids. *Animal Nutrition*. 2018. T. 4. №. 4. C. 417-421.
52. Casarin A. L. F., Rasera G. B., de Castro R. J. S. Combined biotransformation processes affect the antioxidant, antidiabetic and protease inhibitory properties of lentils. *Process biochemistry*, 2021. 102, 250-260.
53. Dikshit H. K. et al. Lentil breeding. *Fundamentals of field crop breeding*. Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. C. 1181-1236.
54. Ninou E., Papathanasiou F., Vlachostergios D. N., Mylonas I., Kargiotidou A., Pankou C., Tokatlidis I. Intense breeding within lentil landraces for high-yielding pure lines sustained the seed quality characteristics. *Agriculture*, 2019. 9(8), 175.
55. Choukri H., El Haddad N., Aloui K., Hejjaoui K., El-Baouchi A., Smouni A., Effect of high temperature stress during the reproductive stage on grain yield and nutritional quality of lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Frontiers in Nutrition*, 2022. 9, 857469.
56. Aktar S. et al. Effect of integrated nutrient management on the yield, yield attributes and protein content of lentil. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*. 2019. T. 44. №. 3. C. 525-536.
57. Вишинський А. В. Адаптивний потенціал сочевиці (*Lens culinaris* Medik.) за морфологічними та біохімічними показниками в умовах кліматичних змін. Біоенергетичні культури та цукрові буряки в умовах

кліматичних змін: виклики, рішення, перспективи : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 29 жовт. 2025 р. / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКіЦБ НААН. С. 9.

58. Bhattarai B., Walker C. K., Wallace A. J., Nuttall J. G., Herworth G., Panozzo J. F., Fitzgerald G. J. Storage Temperature and grain moisture effects on market and end use properties of red lentil. *Agronomy*, 2023. 13(9), 2261.

59. Білоножка В. Я., Полторецька Н. М. Життєздатність та життєвість насіння гречки залежно від генетичного потенціалу сорту, умов формування та терміну зберігання. *Селекційно-генетична наука і освіта*, 2017. 39.

60. Whitehouse K. J., Norton S. L. Environmental effect on temporal patterns in lentil seed quality development. *Seed Science Research*. 2022. Т. 32. №. 1. С. 1-12.

61. Kholod S., Chetveryk O., Liashenko V., Khomenko M. Оцінка біологічних властивостей, продуктивності та врожайності сочевиці. *Scientific Progress & Innovations*, 2023. 26(4), 47-53.

62. Кічігіна О. О., Дем'янюк О. С., Куценко Н. І., Гаврилюк Л. В., Куценко О. О. Вплив термінів зберігання на показники якості насіння астрагалу серпоплідного (*Astragalus falcatus* Lam.). *Збалансоване природокористування*, 2023. (2), 103-113.

63. Whitehouse K. J., Norton S. L. Estimation of seed viability constants (KE, CW) for lentil (*Lens culinaris*). *Seed Science and Technology*. 2022. Т. 50. №. 1. С. 103-115.

64. Boadu K. B., Siaw D. E. K. A. The effect of storage period on the viability of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. seeds. *Scientific African*, 2019. 5, e00127.

65. Клиша А. І., Кулініч О. О., Корж З. В. Взаємозв'язок ознак продуктивності у сочевиці. *Зернові культури*, 2017. (1, № 1), 16-21.

66. Corbineau F. The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: How to improve seed longevity. *Seeds*. 2024. Т. 3. №. 1. С. 56-75.

67. Solberg S. Ø., Yndgaard F., Andreasen C., Von Bothmer R., Loskutov I. G., Asdal Å. Long-term storage and longevity of orthodox seeds: A systematic review. *Frontiers in plant science*, 2020. 11, 1007.

68. Akyüz S., Kizil Aydemir E. S., Ateş S. Assessment of Seed Viability Before and After Storage in Forage Pea (*Pisum sativum* L. var. *arvense*) Using Field and Laboratory Methods. *Plants*. 2025. Т. 14. №. 18. С. 2872.

69. Дідур І. М., Панцирева Г. В. Агроекологічне обґрунтування технологічних прийомів вирощування зернобобових культур. Монографія. Вінниця: Твори. 2025. 401 с. 2020.

70. Gebeyehu B. Review on: Effect of seed storage period and storage environment on seed quality. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2020. Т. 6. №. 6. С. 185-190.

71. De Vitis M., Hay F. R., Dickie J. B., Trivedi C., Choi J., Fiegner R. Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration ecology*, 2020. 28, S249-S255.

72. Вишинський А. В. Фізико-механічні властивості насіння сочевиці. Інноваційні зернопродукти і технології : тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 20 лют. 2024 р. / редкол.: О. О. Непочатенко (відп. ред.) та ін. Умань, 2024. С. 21.

73. Мазур В. А., Гончарук І. В., Дідур І. М., Панцирева Г. В., Телекало Н. В., Купчук І. М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур. : *монографія*. Вінниця. 2021. 180 с.

74. Kameswara Rao N., Dulloo M. E., Engels J. M. M. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genetic resources and crop evolution*. 2017. Т. 64. №. 5. С. 1061-1074.

75. Вишинський А. В. Зміни біохімічних маркерів життєздатності насіння сочевиці (*Lens culinaris* Medik.) прирізних умовах зберігання. Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах Єврорінтеграції : матеріали І Міжнар. наук.-практ. онлайн конф., м. Кам'янець Подільський Ломжа, 20-21.лист. 2025 р. Електрон. вид. Кам'янець Подільський - MANS w Łomży, 2025. С. 265-269.

76. Мазур В. А., Дідур І. М., Панцирева Г. В. Обґрунтування адаптивної сортової технології вирощування зернобобових культур у Правобережному

Лісостепу України. *Сільське господарство та лісівництво*. Вінниця: ВНАУ, 2020. № 18. С. 5-16.

77. Sharma P., Roy M., Roy B., Deka S. D. Post harvest management strategies and storage approaches for quality seed production. *Emerging issues in agricultural sciences*, 2023. 2, 110-129.

78. Bakhtavar M. A., Afzal I. Seed storage and longevity: mechanism, types and management. *Advances in seed production and management*. Singapore: Springer Singapore, 2021. С. 451-468.

79. Кирпа М. Я., Базілева Ю. С., Лупітько О. І. Нетрадиційні методи зберігання зерна для виробництва органічної продукції. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 7. С. 73–78.

80. Sáez J. A., Pérez-Murcia M. D., Vico A., Martínez-Gallardo M. R., Andreu-Rodríguez F. J., López M. J., Moral R. Olive mill wastewater-evaporation ponds long term stored: Integrated assessment of in situ bioremediation strategies based on composting and vermicomposting. *Journal of Hazardous Materials*, 2021. 402, 123481.

81. Angelovič M., Krištof K., Jobbágy J., Findura P., Križan M. The effect of conditions and storage time on course of moisture and temperature of maize grains. In *BIO web of conferences* 2018. (Vol. 10, p. 02001). EDP Sciences.

82. Taylor A. G. Seed storage, germination, quality, and enhancements. *The physiology of vegetable crops*. Wallingford UK: CABI, 2020. С. 1-30.

83. Taylor A. G. Seed storage, germination, quality, and enhancements. In *The physiology of vegetable crops* Wallingford UK: CABI. 2020. pp. 1-30.

84. Borase D. N. et al. Long-term impact of diversified crop rotations and nutrient management practices on soil microbial functions and soil enzymes activity. *Ecological Indicators*. 2020. Т. 114. С. 106322.

85. Баган А. В., Шакалій С. М., Юрченко С. О., Четверик О. О. Формування посівних якостей насіння зернобобових і зернових культур. *Аграрні інновації*, 2023. (19), 7-11.

86. Khandai S. et al. Enhancing the quality of stored rice seeds and grains using hermetic storage grain bag in Assam, India. *Results in Engineering*. 2025. Т. 26. С. 105586.
87. Martín I., Gálvez L., Guasch L., Palmero D. Fungal pathogens and seed storage in the dry state. *Plants*, 2022. 11(22), 3167.
88. Вишинський А. В. Фізико-хімічні показники насіння сочевиці при різній тривалості зберігання. Інноваційні технології та підвищення ефективності виробництва харчових продуктів : матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф., м. Умань, 20 жовт. 2025р. / редкол.: В. В. Сокирська (відп. ред.) та ін. Умань, 2025. С. 29.
89. Redden R., Partington D. Gene bank scheduling of seed regeneration: Interim report on a long term storage study. *Journal of Integrative Agriculture*. 2019. Т. 18. №. 7. С. 1529-1540.
90. Hay F. R., Valdez R., Lee J. S., Sta. Cruz P. C. Seed longevity phenotyping: recommendations on research methodology. *Journal of Experimental Botany*, 2019. 70(2), 425-434.
91. Sun M., Ren A. X., Gao Z. Q., Wang P. R., Mo F., Xue L. Z., Lei M. M. Long-term evaluation of tillage methods in fallow season for soil water storage, wheat yield and water use efficiency in semiarid southeast of the Loess Plateau. *Field Crops Research*, 2018. 218, 24-32.
92. Bhattarai B. et al. Modified storage atmosphere prevents the degradation of key grain quality traits in lentil. *Agronomy*. 2023. Т. 13. №. 8. С. 2160.
93. Pence V. C., Ballesteros D., Walters C., Reed B. M., Philpott M., Dixon K. W., Vanhove A. C. Cryobiotechnologies: Tools for expanding long-term ex situ conservation to all plant species. *Biological Conservation*, 2020. 250, 108736.
94. Мазур В. А., Ткачук О. П., Дідур І. М., Панцирева Г. В. Обливості технології вирощування малопоширених зернобобових культур: монографія. *Вінниця: Твори*, 2021. 172с.
95. Ярмольська О. Є., Барсукова О. А., Натальченко Е. В. Агроекологічні показники формування потенційного врожаю сочевиці. *Український журнал природничих наук*, 2025. (12), 278-287.

96. Ziegler V., Paraginski R. T., Ferreira C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality-A review. *Journal of Stored Products Research*, 2021. 91, 101770.

97. Khazaei H. et al. Seed protein of lentils: Current status, progress, and food applications. *Foods*. 2019. Т. 8. №. 9. С. 391.

98. Pedrini S., Dixon K. W. International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 2020. 28, S286-S303.

99. Moeinzadeh A. The effect of storage conditions on seed germination indices and viability constant of lentil (*Lens culinaris*) and pea (*Cicer arietinum*) seed. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 2018. Т. 49. №. 2.

100. Вишинський А. В. Генотипова та морфо-фізична мінливість продуктивності сочевиці за тривалого зберігання. Селекція, генетика, сортовипробування та агротехнології культурних рослин: виклики та перспективи : тези доп. XIV Міжнародної наук.-практ. конф. молодих учених, с. Центральне, 24 квітня 2026 р. / НААН, МПП ім. В. М. Ремесла, М-во економіки, довкілля та сільського господарства України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. Електронний ресурс: <http://confer.uiesr.sops.gov.ua/>, с. Центральне, 2026. С. 34.

101. Jawad R., Hay F. R., Yazbek M., Ellis R. H. Seed collection and processing practices affect subsequent seed storage longevity in durum wheat and wild relatives. *Seed Science and Technology*, 2025. 53(2), 277-310.

102. Ma Y. Seed coating with beneficial microorganisms for precision agriculture. *Biotechnology advances*. 2019. Т. 37. №. 7. С. 107423.

103. Кононенко Л. М., Вишинський А. В. Оцінка морфофізіологічних, біохімічних і технологічних властивостей зерна сочевиці залежно від виду. *Збірник наук. пр. Уманського НУС*. 2025. Вип. 106, ч.1. С.134-145. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-134-145

104. Novara C., Ascari L., La Morgia V., Reale L., Genre A., Siniscalco C. Viability and germinability in long term storage of *Corylus avellana* pollen. *Scientia horticultrae*, 2017. 214, 295-303.

105. Zinsmeister J., Leprince O., Buitink J. Molecular and environmental factors regulating seed longevity. *Biochemical Journal*, 2020. 477(2), 305-323.
106. Вишинський А. В. Морфометричні показники насіння сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання. *Біоенергетика*. 2026. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp10-19>
107. Coelho N., Gonçalves S., Romano A. Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*. 2020. Т. 9. №. 3. С. 345.
108. Martín I., Gálvez L., Guasch L., Palmero D. Fungal pathogens and seed storage in the dry state. *Plants*, 2022. 11(22), 3167.
109. Culot L., Bello C., Batista J. L. F., Do Couto H. T. Z., Galetti M. Synergistic effects of seed disperser and predator loss on recruitment success and long-term consequences for carbon stocks in tropical rainforests. *Scientific Reports*, 2017. 7(1), 7662.
110. Вирощування та порядок прийомки насіння на зберігання в Національне сховище генофонду України. НЦГРРУ - Х., 2002. 24 с.
111. Кононенко Л.М., Вишинський А.В. Діагностика хвороб у посівах сочевиці. Проблеми і перспективи фітоімунітету в селекції рослин: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 10-11 листоп. 2022 р. Київ, 2022. С. 41.
112. Ярмуш С. Х. та ін.. Агрокліматичні умови формування урожаю сочевиці в Західній Україні при зміні клімату. *Екологічні науки*. 2025. № 2(59). С. 236–243.
113. Borase D. N., Nath C. P., Hazra K. K., Senthilkumar M., Singh S. S., Praharaj C. S., Kumar N. Long-term impact of diversified crop rotations and nutrient management practices on soil microbial functions and soil enzymes activity. *Ecological Indicators*, 2020. 114, 106322.
114. Sori A., Bishaw Z., Dejene M., Kaske K. Impact of On-Farm Storage Technologies and Storage Durations on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seed Health: A Comparative Study Across Diverse Agroecologies. *Legume Science*, 2025. 7(4), e70073.

115. Nadarajan J., Walters C., Pritchard H. W., Ballesteros D., Colville L. Seed longevity—The evolution of knowledge and a conceptual framework. *Plants*, 2023. 12(3), 471.
116. Kononenko L., Voevoda L., Bobrov V., Vyshinsky A. The influence of agronomic and ecological factors on the protein content of legume grains. Current trends in scientific research development : proceedings of the 8th International scientific and practical conference, March 13-15, 2025. Boston, USA, 2025. P. 11–17. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-current-trends-in-scientific-research-development-13-15-03-2025-boston-ssha-arhiv/>
117. Kumar N., Chhokar R. S., Meena R. P., Kharub A. S., Gill S. C., Tripathi S. C., Singh G. P. Challenges and opportunities in productivity and sustainability of rice cultivation system: a critical review in Indian perspective. *Cereal research communications*, 2022. 50(4), 573-601.
118. Карпенко В. П., Новікова Т. П., Притуляк Р. М. Формування симбіотичного апарату сочевиці за дії біологічних препаратів. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, 2018. (2), 39-43.
119. Рябчун В. К., Богуславський Р. Л. Проблеми та перспективи збереження генофонду рослин в Україні. *УАН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва*. Харків 2002. 33 с.
120. Галан М. С., Гук Р. М. Формування та збереження генетичних ресурсів зернобобових та бобових кормових культур в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 2019. (66), 64-84.
121. Freitag M., Klaus V. H., Bolliger R., Hamer U., Kleinebecker T., Prati D., Hölzel, N. Restoration of plant diversity in permanent grassland by seeding: Assessing the limiting factors along land-use gradients. *Journal of Applied Ecology*, 2021. 58(8), 1681-1692.
122. Паламарчук В. Д., Доронін В. А., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Основи насіннізнавства (теорія, методологія, практика). *Вінниця: Друкарня" Друк"*, 2022. 392 с.

123. Nay F. R., Whitehouse K. J. Rethinking the approach to viability monitoring in seed genebanks. *Conservation Physiology*, 2017. 5(1), сох009.
124. Бараболя О. В. Зберігання зерна в полімерних рукавах як відповідь на виклик воєнного часу в Україні. *Scientific Progress & Innovations* 27.2 (2024): 36-41. doi: 10.31210/spi2024.27.02.06
125. Козак В. О., Пида С. В. Продуктивність сочевиці харчової (*Lens culinaris* Medik.) за впливу мікробних препаратів та фунгіцидів. *Фізіологія рослин і генетика*, 2024. 56(1), 27-42.
126. Parihar C. M., Jat S. L., Singh A. K., Kumar B., Rathore N. S., Jat M. L., Kuri B. R. Energy auditing of long-term conservation agriculture based irrigated intensive maize systems in semi-arid tropics of India. *Energy*, 2018.142, 289-302.
127. Задорожна О. А., Єгоров Д. К. Довговічність насіння жита до зберігання в умовах модельного дослідження. *Селекція і насінництво : міжвід. темат. наук. зб. НААН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва*. Харків, 2015. Вип. 108. С. 155–162.
128. Romanova S., Volochai V., Demeshko O., Rudenko V. Вивчення елементного складу трави деяких видів сочевиці. *Ukrainian biopharmaceutical journal*, 2019. (1 (58)), 61-64.
129. Лінник Ю. О., Жмурко В. В., Богуславський Р. Л. Вплив чинників старіння та від`ємних температур на сумарну активність амілаз у насінні ячменю та гороху. *Аграрний вісник Причорномор'я*. Одеса, 2011. Вип. 57. С. 146–152. (Сер. : «Біологічні та сільськогосподарські науки»).
130. Arif M. A. R., Afzal I., Börner A. Genetic aspects and molecular causes of seed longevity in plants—A review. *Plants*, 2022. 11(5), 598.
131. Devkota M., Devkota K. P., Kumar S. Conservation agriculture improves agronomic, economic, and soil fertility indicators for a clay soil in a rainfed Mediterranean climate in Morocco. *Agricultural Systems*, 2022. 201, 103470.
132. Prysiazniuk O. I., Karpuk L. M., Topchii O. V. Ефективність агротехнологічних прийомів вирощування сочевиці. *Новітні агротехнології*, 2017. (5), 8-8.

133. Pauzaite G. et al. Changes in Norway spruce germination and growth induced by pre-sowing seed treatment with cold plasma and electromagnetic field: Short-term versus long-term effects. *Plasma processes and polymers*. 2018. Т. 15. №. 2. С. 1700068.

134. Баган А.В., Юрченко С.О., Шакалій С.М. Формування посівних якостей насіння зернобобових культур залежно від стимулятора росту Foliar Concentrate. *Таврійський науковий вісник*, 2020. 113, 3-9.

135. Скороходов М. Ю. Вплив проморожування на насіння зразків малопоширених видів пшениці. *Селекційно-генетична наука і освіта : матеріали VII міжнародної наукової конференції (Парієві читання) (19–21 бер. 2018 р.)*. Умань, 2018. С. 247–251.

136. Ткачук О. П. Енергія проростання насіння як екологічний фактор інтенсивності росту бобових багаторічних трав у рік сівби. *International scientific journal*, 2015. (9), 43-46.

137. Çelik İ., Günal H., Acar M., Acir N., Bereket Barut Z., Budak M. Evaluating the long-term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. *Soil Use and Management*, 2020. 36(2), 223-239.

138. Кукол К. П., Воробей Н. А., Пухтаєвич П. П., Коць Т. А. Ефективність завчасної інокуляції насіння сої стійкими до фунгіцидів ризобіями та обробки протруйниками. *Фізіологія рослин і генетика*, 2024. (56, № 1), 74-86.

139. Лінник Ю. О. Вплив від'ємної температури на показники життєздатності насіння. *Вісник Полтавської державної аграрної академії. Полтава*, 2010. № 3 (58). С. 175–179.

140. Присяжнюк О. І., Слободянюк С. В. Особливості формування листової поверхні та структури врожаю сочевиці сорту 'Антоніна' залежно від елементів технології. *Plant varieties studying and protection*, 2020. (16, № 3), 270-276.

141. Скороходов М. Ю., Богуславський Р. Л., Лютенко В. С. Вплив вологості насіння різних видів пшениці на його довговічність. *Генетичні ресурси*

рослин : науковий журнал / НААН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків, 2019. № 24. С.121–128.

142. Bitarafan Z., Andreasen C. Seed retention of ten common weed species at oat harvest reveals the potential for harvest weed seed control. *Weed Research*, 2020. 60(5), 343-352.

143. Torada A., Amano Y. Effect of seed coat color on seed dormancy in different environments. *Euphytica*. 2002. Vol. 126. P. 99–105.

144. Hay F. R. et al. Determination and control of seed moisture. *Seed Science and Technology*. 2023. Т. 51. №. 2. С. 267-285.

145. Макрушин М. М., Макрушина Є. М. Насінництво. Сімферополь : ВД "Аріал", 2011. 476 с.

146. Topa D., Cara I. G., Jităreanu G. Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *Catena*, 2021. 199, 105102.

147. Скороходов М. Ю., Задорожна О. А. Порівняльна довговічність насіння зразків малопоширених видів пшениці у модельному досліді. *Сучасні технології підвищення генетичного потенціалу рослин : збірник тез. міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 100-річчю Національної академії аграрних наук та 110-річчю заснування Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН (Харків, 4–5 липня 2018 р.)*. Харків, 2018. С. 195–196.

148. Черенков А. В., Клиша А. І., Гирка А. Д. та ін. Сучасна технологія вирощування сочевиці: науково-виробниче видання. Дніпропетровськ, 2013. 48 с.

149. Munzuroglu P., Geckil H. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *T. aestivum* and *Cucumis sativus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2002. Vol. 43. P. 203–213.

150. Amorim H. C. S. et al. Soil quality indices based on long-term conservation cropping systems management. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2020. Т. 3. №. 1. С. e20036.

151. Лінник Ю. О., Жмурко В. В., Красильникова Л. А., Богуславський Р. Л. Вплив прискороного старіння та проморожування на активність каталази у

насінні різних сортів ячменю. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2010. Вип. 71. С. 45–54.

152. Nadarajan J., Walters C., Pritchard H. W., Ballesteros D., Colville L. (). Seed longevity—The evolution of knowledge and a conceptual framework. *Plants*, 2023.12(3), 471.

153. Сергеев Л. А., Когут І. М., Руденко В. А., Марченко В. Д. Формування врожаю та якості насіння сочевиці залежно від елементів технології. *Аграрні інновації*, (33), 2025. 361-367.

154. Martins W. B. R., Lima M. D. R., Junior U. D. O. B., Amorim L. S. V. B., de Assis Oliveira F., Schwartz G. Ecological methods and indicators for recovering and monitoring ecosystems after mining: A global literature review. *Ecological Engineering*, 2020. 145, 105707.

155. Лінник Ю. О., Потьомкіна Л. М. Витривалість насіння сортів гороху до чинників зберігання та заморожування. *Селекція і насінництво : міжвід. темат. наук. зб. УААН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва*. Х., 2010. Вип. 98. С. 228–237.

156. Борисова О. В., Ружицька О. М. Характеристика проростання, життєздатності та якості насіння півчастих пшениць (*T. spelta* L., *T. dicoccum* (Schrank) Schuebl. *Біологічні Студії*. 2015. Т. 9. № 1. С. 125–134.

157. Wójcik-Gront E., Studnicki M. Long-term yield variability of triticale (*× Triticosecale* Wittmack) tested using a CART model. *Agriculture*, 202. 11(2), 92.

158. Основи наукових досліджень в агрономії : підруч. / В. О. Єщенко та ін. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.

159. Бойко П. І., Коваленко Н. П., Дишловий В. А., Шаповал, І. С. Методика програмування, закладання і ведення багатofакторних стаціонарних польових дослідів у землеробстві. Збірник наукових праць ІБКіЦБ НААН, 2007. (9), 35-40.

160. Присяжнюк О.І., Климович Н.М., Полуніна О.В та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Монографія. Вінниця, ТОВ «Нітлан-ЛТД», 2021. 300с.

161. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості : ДСТУ 4138-2002. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.

162. ISO 520:2010. Cereals and pulses — Determination of the mass of 1000 grains. [Effective from 2010-11-01]. International Organization for Standardization, 2010. 12 p.

163. ISO 7971-3:2019. Cereals — Determination of bulk density, called mass per hectolitre. Part 3: Routine method. International Organization for Standardization, 2019. 15 p.

164. ISO 7971-3:2019. Cereals — Determination of bulk density, called mass per hectolitre. ISO, 2019. 15 p.

165. Martín I. et al. Fungal pathogens and seed storage in the dry state. *Plants*. 2022. Vol. 11, no. 22. P. 3167.

166. Coolbear P. Mechanisms of seed deterioration. *Seed Quality*. New York : CAB International, 2006. P. 223–245.

167. ISO 605:1991. Pulses — Determination of impurities, size, foreign odours, insects, and species and variety. ISO, 1991. 9 p.

168. Кирпа М. Я. Якість та технологія переробки зерна бобових культур. Дніпро : ІЗГ НААН, 2019. 48 с.

169. International Rules for Seed Testing. Edition 2024. Bassersdorf : ISTA, 2024. 312 p.

170. Vose P. B. Introduction to Plant Physiology. 2nd ed. New York : Pergamon Press, 1982. 420 p.

171. Паламарчук В. Д., Доронін В. А. Основи насіннізнавства. Вінниця : Друк, 2022. 392 с.

172. ISO 11631:2020. Seed testing — Viability testing by the tetrazolium method. ISO, 2020. 22 p.

173. Black M., Bewley J. D. Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Academic Press, 2000. 424 p.
174. Ellis R. H., Roberts E. H. The viability equation for seed storage. London : Butterworths, 1981. P. 9–37.
175. Киенко З. Б., Присяжнюк Л. М., Шовгун О. О., Іваницька А. П., Павлюк Н. В. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. 2017. Електронні ресурс.
176. ISO 16634-2:2016. Food products — Determination of the total nitrogen content (Dumas principle). ISO, 2016. 18 p.
177. ISO 11085:2015. Cereals and pulses — Determination of crude fat and total fat content. ISO, 2015. 14 p.
178. ISO 659:2009. Oilseeds — Determination of oil content (Reference method). ISO, 2009. 14 p.
179. ISO 7305:2019. Food products derived from cereals — Determination of fat acidity. ISO, 2019. 10 p.
180. Методи біологічного та агрохімічного контролю в рослинництві / З. М. Грицаєнко та ін. Київ : ЗАТ «НІЧЛАВА», 2020. 412 с.
181. Handbook of Plant Ecophysiology Techniques / ed. M. J. Reigosa Roger. Dordrecht : Springer Science, 2001. 452 p.
182. ISO 6639-4:2004. Cereals and pulses — Determination of hidden insect infestation. ISO, 2004. 11 p.
183. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові культури) / за ред. П. В. Писаренка. Київ, 2020. 84 с.
184. Мойсієнко В. В. Методика проведення фенологічних спостережень у посівах бобових. Житомир, 2018. 40 с.
185. Присяжнюк О. І. Методологія аналізу росту рослин у польових умовах. Київ : ІБЦБ, 2020. 44 с.
186. Lykhovyd P. V. Methodology of leaf area index (LAI) determination. Kherson, 2021. 36 p.

187. Physiology of Crop Production / N. K. Fageria et al. New York : Food Products Press, 2016. 345 p.
188. Мазур В. А. Інноваційні аспекти технологій вирощування зернобобових культур. Вінниця, 2021. 180 с.
189. Панцирева Г. В. Агроекологічне обґрунтування технологічних прийомів вирощування бобових. Вінниця, 2020. 401 с.
190. Дідур І. М. Зернобобові культури в системі сталого землеробства. Вінниця : ВНАУ, 2022. 256 с.
191. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетична оцінка технологій в рослинництві. Черкаси, 2015. 160 с.
192. Дем'яненко М. Я. Методика розрахунку економічної ефективності в АПК. Київ, 2017. 92 с.
193. Методика селекційного експерименту (у рослинництві): навч. посібник / Е.Р. Ермантраут, Т.І. Гопцій, С.М. Каленська та ін.: Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. Х., 2014. 229 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.1

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор СФГ «ОБЕРІГ»
 (П.П.Переута)
 «05» лютого 2026 р.
 М. П.

АКТ
 впровадження результатів науково-дослідної роботи у виробництво

Ми, що нижче підписалися, представники виробництва: директор СФГ «ОБЕРІГ» Вознесенського району Миколаївської області Переута П.П., з однієї сторони, та автор наукової розробки: здобувач ступеня доктора філософії Вишинський А. В., з другої сторони, склали цей акт про те, що науково обґрунтовані результати досліджень на тему:

«Удосконалення технології вирощування сочевиці на насіння в Правобережному Лісостепу України»

були впроваджені у виробничу практику СФГ «ОБЕРІГ» у 2025-2026 рр. на площі 21,82 га.

Суть впровадження:

У практику внутрішньогосподарського лабораторного контролю насінництва підприємства впроваджено систему експрес-прогнозування репродуктивної здатності насіння перехідного фонду (зберігання понад 24 місяці) на основі моніторингу біохімічного маркера – кислотного числа жиру (КЧЖ). Завдяки методу автора, партії насіння з показником КЧЖ понад 15–20 мг КОН/г було ідентифіковано як фізіологічно депресивні (із деструкцією мембранних структур зародка), вчасно вилучено з посівного процесу та перенаправлено на продовольчі цілі, що попередило зрідження посівів.


Економічний ефект:

Своєчасне вибракування депресивних партій та посів біохімічно повноцінним матеріалом дозволили гарантувати високу конкурентоспроможність культури в агрофітоценозі. Середня виробнича врожайність сочевиці склала 2,95 т/га. Впровадження методу дозволило підприємству повністю ліквідувати технологічні ризики пересіву зріджених площ та потенційні збитки від недобору врожаю. Попереджений економічний збиток та додатковий прибуток на площі 21,82 га сумарно склали 85 320 грн.

Представники виробництва:
 Директор СФГ «ОБЕРІГ»


 П. П. Переута

Від авторів розробки:
 Здобувач ступеня доктора філософії


 А. В. Вишинський

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор СФГ «Вінтір» Вознесенського району
Миколаївської області
В. Яворський
2026 р.
М. П.

АКТ

виробничої перевірки завершеної науково-дослідної роботи

Назва установи / підприємства, де проводилась виробнича перевірка:
Сільськогосподарське фермерське господарство (СФГ) «Вінтір» Вознесенського району
Миколаївської області.

1. Назва закінченої НДР, поставленої на виробничу перевірку: «Удосконалення технології вирощування сочевиці на насіння в Правобережному Лісостепу України» (впровадження елементів передпосівного калібрування насінневого матеріалу та управління біологічним потенціалом продуктивності).
2. Автор закінченої НДР: Вишинський А. В., здобувач ступеня доктора філософії (PhD).

Умови проведення виробничої перевірки: Виробнича перевірка проводилась в умовах польової сівозміни СФГ «ВНТІР» (Вознесенський район, Миколаївська область) на посівах сочевиці харчової зеленозерного та червонозерного морфотипів (сорти Даринка та СНІМ 18).

3. Обсяг виробничої перевірки: 4,99 га.
4. Строк виробничої перевірки: 2025–2026 рр.
5. Методика проведення: Робота проводилась за науково обґрунтованою методикою досліджень автора, що базується на диференційованому підході до оцінки фракційного складу насіння та оптимізації структурних параметрів посіву.
6. Результати виробничої перевірки: Встановлено, що впровадження науково обґрунтованої технології вирощування сочевиці із обов'язковим передпосівним калібруванням та виділенням великої фракції насіння (діаметром >5,0 мм) забезпечило інтенсифікацію початкових етапів онтогенезу культури. Це зумовило активне наростання вегетативної маси та приріст площинткової поверхні на 18–22% порівняно з ділянками, де використовували дрібні, некалібровані фракції насіння.

За рахунок вирівняності посівів та дружного проходження основних фенофаз, середня врожайність сочевиці харчової на перевірочних площах сформувалася на рівні 3,25–3,50 т/га, що забезпечило чистий приріст збору зерна на 0,35–0,52 т/га порівняно з контролем. Отриманий насіннєвий матеріал нового врожаю мав високі технологічні та промислові показники якості: вирівняність насіння становила 94–96%, а висхідна здатність перевищувала 78%, що мінімізувало втрати при подальшій механізованій доробці та промисловій переробці.

Директор СФГ «ВНТІР»

Здобувач ступеня доктора філософії



В. Яворський

А. В. Вишинський

Додаток Б

Динаміка гідротермічного коефіцієнта (ГТК за Селяниновим) у роки проведення досліджень (за даними метеостанції м. Умань)

Місяць / Етап вегетації сочевиці	2023 рік	2024 рік	2025 рік	Кліматична норма (багаторічна за 1991–2020 рр.)	Характеристика умов зволоження у 2024 році
Квітень (<i>Сівба – сходи</i>)	1,75	1,4	1,43	1,63	Достатньо волого
Травень (<i>Активний ріст вегетативної маси</i>)	0,95	0,9	1,00	1,14	Слабка посуха
Червень (<i>Цвітіння – формування бобів</i>)	1,04	0,9	1,14	1,36	Слабка посуха
Липень (<i>Налив – дозрівання насіння</i>)	1,16	0,2	0,79	1,27	Дуже сильна посуха
Серпень (<i>Дозрівання – збирання врожаю</i>)	0,42	0,2	0,34	0,93	Дуже сильна посуха
Вересень (<i>Післявегетаційний період</i>)	0,30	0,2	0,76	1,19	Дуже сильна посуха
Жовтень (<i>Осіннє вологонакопичення</i>)	1,35	3,0	1,10	1,41	Надмірно волого
Середнє за період з $T \geq 10 \text{ }^\circ\text{C}$	0,99	1,0	0,98	1,25	В межах норми

Додаток В

Матриця коефіцієнтів парної кореляції (r) між фізико-хімічними та посівними показниками насіння сочевиці при старінні (усереднено по факторах А і С, n=144)

Показники	Натура, г/л	Маса 1000 насінин, г	Макротріщини, %	Вміст білка, %	КЧЖ, мг КОН/г жиру	Лабораторна схожість, %	Довжина паростків, мм
Натура (г/л)	1,00						
Маса 1000 насінин (г)	0,84* **	1,00					
Макротріщини (%)	- 0,79* *	- 0,71**	1,00				
Вміст білка (%)	0,76* *	0,81** *	-0,68*	1,00			
КЧЖ (мг КОН/г жиру)	- 0,88* **	- 0,85** *	0,91***	- 0,83* **	1,00		
Лабораторна схожість (%)	0,89* **	0,87** *	-0,88***	0,84* **	- 0,94* **	1,00	
Довжина паростків (мм)	0,91* **	0,92** *	-0,85***	0,86* **	- 0,92* **	0,95***	1,00

Примітка: * * — $p < 0,05$ (істотний зв'язок);

- — $p < 0,01$ (висока значущість);
- *** — $p < 0,001$ (найвища статистична значущість зв'язку).

Додаток Г

Співвідношення часток впливу факторів (η^2 , %) на формування лабораторної схожості та інтенсивності початкового росту насіння сочевиці харчової

Джерело варіації (Фактори)	Лабораторна схожість (η^2 , %)	Довжина паростків (η^2 , %)
Фактор А (Морфотип культури)	11,4	8,9
Фактор В (Тривалість зберігання)	48,6	53,2
Фактор С (Фракційний склад)	24,2	22,4
Парні та потрійні взаємодії (АВ + АС + ВС + АВС)	12,5	13,1
Неконтрольована помилка досліджу	3,3	2,4
Усього	100,0	100,0

Додаток Д

Комплексна статистична оцінка динаміки тривалості періоду «сівба–сходи» насіння сочевиці залежно від досліджуваних чинників, діб

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	V, %
Червонозерна	>5,0	5	5	6	6	7	8	6,17±0,48	19,1
	4,0–5,0 (К)	6	6	6	7	7	8	6,67±0,33	12,2
	3,0–4,0	7	7	7	8	8	9	7,67±0,33	10,7
Зеленозерна	>5,0	4	5	5	6	6	7	5,50±0,43	19,0
	4,0–5,0 (К)	5	5	6	6	7	7	6,00±0,37	14,9
	3,0–4,0	6	6						

Додаток Е

Математично-статистична матриця показників дружності появи паростків насіння сочевиці залежно від фракції та тривалості зберігання, %

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	V, %
Червонозерна	>5,0	94	87	80	73	66	60	76,67±5,14	16,4
	4,0–5,0 (К)	90	83	76	68	60	50	71,17±6,05	20,8
	3,0–4,0	86	79	71	63	55	48	67,00±5,85	21,4
Зеленозерна	>5,0	96	90	84	78	71	65	80,67±4,77	14,5
	4,0–5,0 (К)	92	86	80	73	67	60	76,33±4,81	15,4
	3,0–4,0	88	81	74	67	59	51	70,00±5,69	19,9
HP0,05	Фактор А (морфотип) — 1,9; Фактор В (тривалість) — 2,7; Фактор С (фракція) — 2,2. Взаємодія ефектів: АВ — 3,3; АС — 3,0; ВС — 3,5; АВС — 3,9								

Додаток Ж

Біометричний аналіз та варіабельність виживаності рослин сочевиці упродовж вегетації залежно від якості посівного матеріалу, %

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	V, %
Червонозерна	>5,0	92	89	86	83	80	78	84,67±2,23	6,5
	4,0-5,0 (К)	88	85	82	79	76	73	80,50±2,23	6,8
	3,0-4,0	83	80	76	73	69	66	74,50±2,62	8,6
Зеленозерна	>5,0	95	92	90	87	84	82	88,33±2,06	5,7
	4,0-5,0 (К)	90	87	85	82	79	77	83,33±2,04	6,0
	3,0-4,0	85	82						

Додаток К

Дисперсійний та статистичний аналіз формування густоти стояння рослин сочевиці перед збиранням, шт./м²

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	V, %
Червонозерна	>5,0	275	270	265	260	255	250	262,5±3,82	3,6
	4,0–5,0 (К)	260	255	250	245	240	235	247,5±3,82	3,8
	3,0–4,0	245	240	235	230	225	220	232,5±3,82	4,0
Зеленозерна	>5,0	290	285	280	275	270	265	277,5±3,82	3,4
	4,0–5,0 (К)	275	270	265	260	255	250	262,5±3,82	3,6
	3,0–4,0	260	255	250	245	240	235	247,5±3,82	3,8
HP0,05	для фактора В (тривалість) — 5,8 шт./м ² ; для фактора С (фракція) — 4,6 шт./м ² .								

Додаток Л

Диференціація витрат на посівний матеріал сочевиці та їхня питома вага у структурі потенційного доходу, %

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	Показник	Свіжозібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років
Червонозерна	>5,0	Витрати, грн/га	6000	6250	6500	6750	7000	7250
		Частка у доході, %	9,2	10,1	11,0	12,1	13,5	15,1
	4,0-5,0 (К)	Витрати, грн/га	6250	6500	6750	7000	7250	7500
		Частка у доході, %	10,2	11,2	12,3	13,5	14,8	16,7
	3,0-4,0	Витрати, грн/га	6750	7000	7250	7500	7750	8000
		Частка у доході, %	11,8	13,0	14,2	15,6	17,2	19,5
Зеленозерна	>5,0	Витрати, грн/га	5750	6000	6250	6500	6750	7000
		Частка у доході, %	8,0	8,7	9,5	10,4	11,4	12,7
	4,0-5,0 (К)	Витрати, грн/га	6000	6250	6500	6750	7000	7250
		Частка у доході, %	9,0	9,8	10,7	11,6	12,7	14,2
	3,0-4,0	Витрати, грн/га	6500	6750	7000	7250	7500	7750
		Частка у доході, %	10,5					

Додаток М

Комплексний матричний аналіз упущеної фінансової вигоди (недоотриманого чистого прибутку) через фізіологічне старіння насіння сочевиці, грн/га

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	X ⁻ втрат	Макс. збиток, %
Червонозерна	>5,0	3000	6000	9400	13000	17000	9680	26,2
	4,0–5,0 (К)	3000	6000	9000	12000	16000	9200	26,2
	3,0–4,0	3000	6000	9000	12000	16000	9200	28,1
Зеленозерна	>5,0	3000	6000	9600	13000	17000	9720	23,6
	4,0–5,0 (К)	3000	6000	9000	12000	16000	9200	23,9
	3,0–4,0	3000	6000					

Додаток Н

Інтегральний індекс польової стабільності агрофітоценозу сочевиці залежно від фракційного складу та тривалості зберігання насіннєвого матеріалу

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція , мм (Фактор С)	Свіжо- зібран е	1 рік	2 рок и	3 рок и	4 рок и	5 роки в	Коефіцієн т редукції
Червонозерн а	>5,0	0,95	0,8 9	0,83	0,76	0,68	0,60	0,63
	4,0–5,0 (К)	0,88	0,8 2	0,76	0,70	0,63	0,55	0,62
	3,0–4,0	0,80	0,7 4	0,68	0,61	0,55	0,47	0,59
Зеленозерна	>5,0	1,00	0,9 5	0,90	0,84	0,78	0,70	0,70
	4,0–5,0 (К)	0,92	0,8 7	0,82	0,76	0,70	0,63	0,68
	3,0–4,0	0,85	0,8 0					

Додаток II

Біоенергетична оцінка вирощування сочевиці: обсяг акумульованої в урожаї чистої енергії залежно від досліджуваних факторів, ГДж/га

Морфотип насіння (Фактор А)	Фракція, мм (Фактор С)	Свіжо-зібране	1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	Енергетичний еквівалент варіації
Червонозерна	>5,0	56,88	54,25	51,63	48,65	45,50	42,00	Слабка мінливість
	4,0–5,0 (К)	53,38	50,75	48,13	45,50	42,88	39,38	Середня мінливість
	3,0–4,0	49,88	47,25	44,63	42,00	39,38	35,88	Висока деградація
Зеленозерна	>5,0	63,00	60,38	57,75	54,60	51,63	48,13	Еталонна стійкість
	4,0–5,0 (К)	58,63	56,00	53,38	50,75	48,13	44,63	Слабка мінливість
	3,0–4,0	54,25	51,63	49,00	46,38	43,75	40,25	Середня мінливість

Додаток Р
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Євчук Я. В., Кононенко Л. М., **Вишинський А. В.**, Бобров В. С. Вплив добавок рослинного походження на якісні показники хліба оздоровчого призначення. *Збірник наук. пр. Уманського НУС*. 2023. Вип. 103, ч. 1. С. 281-291. DOI: 10.32782/2415-8240-2023-103-1-281-291
2. Євчук Я. В., Новікова Т. П., **Вишинський А. В.**, Шевчук О. Ю. Використання борошна сочевиці в хлібі спеціального призначення. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11. № 1. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.277212>
3. Кононенко Л. М., **Вишинський А. В.** Оцінка морфологічних, біохімічних і технологічних властивостей зерна сочевиці залежно від виду. *Збірник наук. пр. Уманського НУС*. 2025. Вип. 106, ч.1. С. 134-145. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-134-145
4. **Вишинський А. В.** Морфометричні показники насіння сочевиці залежно від морфотипу, фракції та тривалості зберігання. *Біоенергетика*. 2026. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp10-19>

Тези доповідей наукових конференцій:

5. Кононенко Л. М., **Вишинський А. В.** Діагностика хвороб у посівах сочевиці. Проблеми і перспективи фітоімунітету в селекції рослин: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 10-11 листоп. 2022 р. Київ, 2022. С. 41.
6. **Вишинський А. В.** Фізико-механічні властивості насіння сочевиці. Інноваційні зернопродукти і технології: тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 20 лют. 2024 р. / редкол.: О. О. Непочатенко (відп. ред.) та ін. Умань, 2024. С. 21.
7. **Vishynskiy A. V.** Lentill (*Lens culinaris medic*) as a valuable highprotein crop. Інноваційні зернопродукти та агротехнології: тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 21 лют. 2025 р. / редкол.: О. О. Непочатенко (відп. ред.) та ін. Умань, 2025. С. 29.
8. Kononenko L., Voevoda L., Bobrov V., **Vyshinsky A.** The influence of agronomic and ecological factors on the protein content of legume grains. Current trends in scientific research development: proceedings of the 8th International scientific and practical conference, March 13-15, 2025. Boston, USA, 2025. P. 11–17. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-current-trends-in-scientific-research-development-13-15-03-2025-boston-ssha-arhiv/>
9. Вишинський А. В. Адаптивний потенціал сочевиці (*Lens culinaris Medik.*) за морфологічними та біохімічними показниками в умовах кліматичних змін. Біоенергетичні культури та цукрові буряки в умовах кліматичних змін: виклики, рішення, перспективи: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 29 жовт. 2025 р. / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКІЦБ НААН. С. 9.

10. Вишинський А. В. Фізико-хімічні показники насіння сочевиці при різній тривалості зберігання. Інноваційні технології та підвищення ефективності виробництва харчових продуктів: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф., м. Умань, 20 жовт. 2025р. / редкол.: В. В. Сокирська (відп. ред.) та ін. Умань, 2025. С. 29.

11. Вишинський А. В. Зміни біохімічних маркерів життєздатності насіння сочевиці (*Lens culinaris* Medik.) прирізних умовах зберігання. Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах Єврорінтеграції : матеріали I Міжнар. наук.-практ. онлайн конф., м. Кам'янець Подільський Ломжа, 20-21.лист. 2025 р. Електрон. вид. Кам'янець Подільський - MANS w Łomży, 2025. С. 265-269.

12. Vyshinskyi A. V. Quality indicators of lentil seeds in field conditions depending on morphotype, storage duration, and fractional composition. Інноваційні зернопродукти та агротехнології: тези доп. Міжнар. наук. інтернет-конф., м. Умань, 21 лют. 2026 р. / редкол.: В. В. Сокирська (відп. ред.) та ін. Умань, 2026. С. 31.

13. Вишинський А. В. Генотипова та морфо-фізична мінливість продуктивності сочевиці за тривалого зберігання. Селекція, генетика, сортовипробування та агротехнології культурних рослин: виклики та перспективи : тези доп. XIV Міжнародної наук.-практ. конф. молодих учених, с. Центральне, 24 квітня 2026 р. / НААН, МІП ім. В. М. Ремесла, М-во економіки, довкілля та сільського господарства України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. Електронний ресурс: <http://confer.uiesr.sops.gov.ua/>, с. Центральне, 2026. С. 34.