



**МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ,
ДОВКІЛЛЯ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ**

Міністерство економіки, довкілля
та сільського господарства України



УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ЕКСПЕРТИЗИ СОРТІВ РОСЛИН

УІЕСР

Український інститут
експертизи сортів
рослин

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ
МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ
ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ**



**МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ,
ДОВКІЛЛЯ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ**

Міністерство економіки, довкілля
та сільського господарства України



Український інститут
експертизи сортів
рослин

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ
МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ
ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ**

УДК 631.526:551.5
<https://doi.org/10.21498/978-617-95452-9-0>

Рекомендовано до опублікування в електронному форматі
рішенням Вченої ради Українського інституту експертизи сортів рослин
(*протокол № 15 від 23 грудня 2025 року*)

Рецензенти:

Лозінський М. В., доктор с.-г. наук, професор,
Білоцерківський національний аграрний університет;
Клименко Н. А., доцент, канд. екон. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Методичні рекомендації щодо застосування метеорологічних даних під час оцінювання результатів кваліфікаційної експертизи / Укладачі: Лещук Н. В., Гринів С. М., Орленко Н. С., Стариченко Є. М., Хоменко Т. М., Таганцова М. М., Сиплива Н. О.; заг. ред. С. І. Мельника; Укр. ін-т експертизи сортів рослин . Електрон. вид. Київ: УІЕСР, 2025. 68 с.

ISBN 978-617-95452-9-0 (PDF)

У методичних рекомендаціях викладено принципи наукових досліджень щодо визначення впливу ключових екологічних факторів на ріст, розвиток і продуктивність сортів рослин за різних екологічних умов.

Методичні рекомендації можуть бути використані студентами, науковцями та іншими фахівцями агрономічної галузі.

УДК 631.526:551.5
<https://doi.org/10.21498/978-61795452-9-0>

ISBN 978-61795452-9-0 (PDF)

© Український інститут
експертизи сортів рослин, 2025

ВСТУП

Сучасний етап науково-технічного розвитку агрономічної галузі ставить нові, значно вищі вимоги до наукового потенціалу фахівців, що потребує опанування нових наукових методів, вміння орієнтуватися в потоці наукової інформації, знаходити найбільш раціональні технологічні та організаційні рішення.

Фахівці у своїх дослідженнях все частіше стикаються із завданнями, які потребують, окрім професійної кваліфікації, знання методів обробки результатів спостережень, планування експериментів, математичного моделювання та оптимізації дослідницького процесу. Тому сучасний спеціаліст повинен мати не лише ґрунтовну професійну підготовку, а й певний багаж знань у галузі наукових досліджень, що включає володіння методологічними принципами наукової роботи, вміння збирати та обробляти інформацію, розробляти дослідницькі програми, аналізувати отримані результати та узагальнювати їх.

Визначення екотипу та адаптивного потенціалу нових сортів є важливим етапом у селекційному процесі та впровадженні їх у виробництво. Ці знання дозволяють спрогнозувати продуктивність сортів у різних екологічних умовах, оптимізувати технології вирощування і забезпечити стабільні врожаї та якість продукції. Це сприяє ефективному використанню генетичних ресурсів, оптимізації агротехнологій та підвищенню рентабельності вирощування сільськогосподарських культур. Надає науково обґрунтований підхід до визначення екотипу та адаптивного потенціалу нових сортів із використанням біометричних індексів та методів статистичного аналізу.

Метою цього видання є висвітлення методологічних та організаційних принципів наукових досліджень щодо визначення ключових екологічних факторів, що впливають на ріст, розвиток і продуктивність рослин, за різних екологічних умов.

У виданні наведено приклади досліджень у різних природно-кліматичних зонах України: Степу, Лісостепу, Поліссі. Закладання дослідів та всі спостереження здійснювали за єдиною методикою, що включає загальноприйняті для зони вирощування та культури агротехнічні заходи. Крім того, регулярно проводили фенологічні спостереження за фазами росту та розвитку й вимірювання морфологічних ознак рослин. Здійснювали оцінювання стійкості проти хвороб та шкідників у різних екологічних умовах.

Методичні рекомендації стануть корисними для студентів, науковців та інших фахівців агрономічної галузі.

ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН

На ріст, розвиток і продуктивність сортів впливає комплекс абіотичних та біотичних факторів. Для визначення екотипу та адаптивного потенціалу кожного сорту необхідно враховувати ключові абіотичні фактори.

Кліматичні фактори: температура (середньодобова, максимальна, мінімальна температура повітря протягом вегетаційного періоду, сума ефективних температур); опади (кількість та розподіл опадів впродовж вегетації); сонячна радіація (інтенсивність та тривалість сонячного освітлення); вологість повітря (відносна вологість повітря); вітровий режим (сила та напрямок вітру); тривалість вегетаційного періоду (кількість днів із середньодобовою температурою повітря понад +5°C (або іншого біологічного мінімуму).

Ґрунтові фактори: тип ґрунту (гранулометричний склад, структура, щільність); родючість ґрунту [вміст гумусу, основних елементів живлення (азот, фосфор, калій), мікроелементів]; реакція ґрунтового розчину (рН); водопроникність та вологоємність ґрунту; засоленість та інші специфічні характеристики ґрунту; рельєф та експозиція ділянки.

До біотичних факторів, які можуть впливати на адаптивність сортів, належать: шкідники та хвороби (видовий склад, чисельність, ступінь ураження рослин); бур'яни (видовий склад, забур'яненість посівів); взаємодія з мікроорганізмами ґрунту.

Критерії для класифікації сортів за екотипами

На основі отриманих даних про реакцію сортів на різні екологічні умови розробляють критерії для їхньої класифікації за екотипами. До основних критеріїв належать:

1. Реакція на температурний режим – термофільність (потреба у високих температурах); холодостійкість (здатність витримувати низькі температури); тривалість вегетаційного періоду (ранньостиглі, середньостиглі, пізньостиглі).

2. Реакція на водний режим – посухостійкість (здатність переносити дефіцит вологи); вологолюбність (потреба у достатньому зволоженні); толерантність до перезволоження.

3. Реакція на ґрунтові умови – пристосованість до різних типів ґрунтів (легкі, важкі, карбонатні тощо); толерантність до підвищеної кислотності або лужності ґрунту; ефективність використання поживних речовин.

4. Фотоперіодична реакція – чутливість до тривалості світлового дня.

На основі аналізу комплексу цих критеріїв нові сорти можуть бути зараховані до певних екотипів (наприклад, степовий, лісостеповий, поліський).

Методи оцінювання адаптивного потенціалу нових сортів

Адаптивний потенціал сорту визначається його здатністю забезпечувати стабільну та високу продуктивність у широкому діапазоні екологічних умов. Для його оцінювання використовують різні методи.

Метод 1. Аналіз стабільності врожайності.

Використання статистичних методів для оцінювання стабільності (наприклад, модель Еберхарта-Рассела, модель Фінлея-Вілкінсона). Розрахунок коефіцієнта варіації врожайності проводять за роками в розрізі екологічних зон.

Метод Фінлея-Вілкінсона (Finlay & Wilkinson, 1963) є одним із найпопулярніших для аналізу взаємодії генотип-середовище для сортів. Він базується на регресії продуктивності кожного генотипу на середнє значення продуктивності всіх генотипів у кожному конкретному середовищі. Середнє значення продуктивності середовища слугує індексом його продуктивності або сприятливості.

Для кожного генотипу будується лінійна регресія, де залежною змінною є продуктивність генотипу в певному середовищі, а незалежною змінною – середнє значення продуктивності всіх генотипів у цьому середовищі (індекс середовища).

Коефіцієнт регресії (β_i) характеризує пластичність (адаптивність) генотипу сорту:

$\beta_i = 1$ – генотип має середню пластичність, його реакція на зміну середовища подібна до середньої реакції всіх генотипів.

$\beta_i > 1$ – генотип є високопластичним, він краще реагує на сприятливі умови і гірше на несприятливі. Такі генотипи належать до інтенсивного типу.

$\beta_i < 1$ – генотип є відносно стабільним або низькопластичним, його продуктивність менш чутлива до змін середовища, такий генотип краще адаптований до несприятливих умов.

Відхилення від лінії регресії вказують на стабільність генотипу. Менші відхилення свідчать про вищу стабільність генотипу сорту.

Метод допомагає ідентифікувати широко адаптовані генотипи T_r , що мають високу продуктивність в обширному діапазоні середовищ (часто з $\beta_i \approx 1$).

Специфічно адаптовані генотипи T_r , що добре працюють лише в певних сприятливих або несприятливих умовах.

Метод Еберхарта-Рассела (Eberhart & Russell, 1966) також ґрунтується на лінійній регресії та є одним з основних для оцінювання адаптивності та стабільності сортів. Цей метод оцінює екологічну пластичність і стабільність селекційної ознаки за двома параметрами.

Коефіцієнт регресії (β_j) аналогічний до методу Фінлея-Вілкінсона і (β_j) характеризує пластичність (адаптивність) генотипу.

$\beta_j = 1$ – генотип є екологічно пластичним, його продуктивність лінійно змінюється зі зміною продуктивності середовища.

$\beta_1 > 1$ – генотип високопластичний, добре реагує на сприятливі умови.

$\beta_1 < 1$ – генотип менш чутливий до змін середовища, може бути найбільшим у несприятливих умовах.

Варіанса стабільності (S_{di}^2 або σ_1^2) – це середньоквадратичне відхилення від лінії регресії, яке вимірює стабільність генотипу. Чим менше значення S_{di}^2 , тим стабільнішим є генотип, тобто його реакція на середовище більш передбачувана і менше відхиляється від лінійної залежності.

За значеннями коефіцієнта регресії (β_1), близький до 1,0 сорт адаптований до широкого діапазону середовищ.

Мінімальне відхилення від лінії регресії (S_{di}^2 близьким до 0) свідчить про високу передбачуваність реакції сорту на зміни середовища.

Метод Еберхарта-Рассела широко використовується для оцінювання адаптивності та стабільності гібридів і сортів сільськогосподарських культур, для рекомендації сортів для конкретних агроекологічних зон.

Обидва методи базуються на лінійній регресії для оцінювання взаємодії генотип-середовище з використанням коефіцієнта регресії для характеристики адаптивності / пластичності. Вони є важливими інструментами в селекції для вибору сортів.

Хоча концепції подібні, методика Еберхарта-Рассела чіткіше розділяє поняття пластичності (адаптивності) за допомогою β_1 та стабільності за допомогою S_{di}^2 . Вона надає два параметри для комплексного оцінювання, тоді як Фінлей-Вілкінсон зосереджується переважно на β_1 як індикаторі реакції на середовище.

Обидві методики є фундаментальними для розуміння того, як генетичний потенціал рослин реалізується в різних умовах, що є критично важливим для створення високопродуктивних та адаптованих сортів.

Метод 2. Оцінювання пластичності сорту.

Визначення коефіцієнта регресії (b) в моделях стабільності.

Сорти з коефіцієнтом регресії, близьким до 1, мають середню пластичність, вище за 1 – високу пластичність (добре реагують на поліпшення умов навколишнього середовища), нижче ніж 1 – низьку пластичність (менш чутливі до змін умов вирощування).

Метод 3. Визначення екологічної валентності.

Оцінювання діапазону екологічних умов, в яких сорт забезпечує прийнятну продуктивність.

Сорти з широкою екологічною валентністю вважаються більш адаптивними.

Метод 4. Багаторічні та багатолокаційні випробування.

Проведення сортовипробування протягом кількох років у різних географічних точках за різних агрокліматичних умов дозволяє отримати об'єктивну оцінку адаптивного потенціалу сортів.

Математично-статистичний аналіз отриманих даних

Проведення дисперсійного аналізу для оцінювання впливу генотипу (сортів), середовища (екологічних умов) та їхньої взаємодії на досліджувані показники.

Використання методів регресійного аналізу для встановлення залежності між екологічними факторами впливу та продуктивністю сортів.

Застосування методів багатовимірної статистичного аналізу (клас-терний аналіз, факторний аналіз) для класифікації сортів за їхньою екологічною реакцією.

Визначення адаптивного потенціалу

Біометричні індекси адаптивності:

індекс пластичності (P_i) – відношення мінімального значення ознаки до максимального в різних зонах;

індекс стабільності (S_i) – варіація урожайності в різних умовах.

Екологічна пластичність та стабільність:

застосовується метод Варга, метод лінійної регресії (Френч – Кайзер), або АММІ-аналіз (Additive Main effects and Multiplicative Interaction).

Статистична обробка результатів

На основі результатів польових і статистичних досліджень визначають:

- тип реакції сорту на умови середовища (екотип);
- зони оптимального вирощування;
- перспективність сорту для впровадження в певних регіонах.

1. ОЦІНЮВАННЯ МОРФОБІОЛОГІЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК НА ПРИКЛАДІ БУРЯКУ ЦУКРОВОГО

Фенологічні фази рослин буряку цукрового – сходи, формування розетки, змикання міжрядь, технічна стиглість. Критичними фазами росту та розвитку цукрового буряку є поява сходів, фаза «вилочки» та період до змикання рядків, коли рослини найбільш чутливі до умов навколишнього середовища, а також до дефіциту елементів живлення.

Визначення адаптивного потенціалу

Оцінювання сортів буряку цукрового за адаптивними та господарськими ознаками (середні дані за 3 роки).

Приклад оцінювання сортів буряку цукрового за основними критеріями для визначення їхнього екотипу та адаптивного потенціалу.

№	Назва сорту	Урожайність коренеплодів, т/га	Вміст цукру, %	Збір цукру, т/га	Посуhostійкість, (бали)	Ураженість церкоспорозом, %	Індекс пластичності (P _i)	Індекс стабільності (S _i)	Екотип
1	Сорт А	56,2	17,1	9,61	8,5	6,0	0,92	1,13	Широко адаптивний
2	Сорт В	48,7	16,5	8,04	7,0	11,0	0,75	1,35	Степовий екотип
3	Сорт С	52,3	18,0	9,41	6,0	14,5	0,60	1,65	Лісостеповий екотип
4	Сорт D	50,1	17,2	8,61	9,0	4,0	0,88	1,10	Широко адаптивний
5	Сорт E	45,5	16,0	7,28	5,5	19,0	0,50	1,80	Поліський екотип

Урожайність коренеплодів – середнє значення за 3 роки у трьох регіонах.

Збір цукру = урожайність × вміст цукру / 100.

Посуhostійкість – оцінка за шкалою від 1 до 9 балів (1 – низька... 9 – висока).

Ураженість хворобами – середній відсоток ураження церкоспорозом.

Індекс пластичності (P_i) – співвідношення мінімального та максимального значення урожайності між зонами (чим ближче до 1, тим краще).

Індекс стабільності (S_i) – чим нижче значення, тим стабільніший сорт у різних умовах.

Сорти, що проявили широку адаптивність і високу стабільність, можуть бути рекомендовані для вирощування в кількох зонах.

Сорти з вузькою спеціалізацією – як локальні екотипи для конкретних умов.

Адаптивний потенціал розглядається як головний критерій селекційної цінності нових сортів.

Приклад розрахунку індексу пластичності та стабільності сорту буряку цукрового.

Дані урожайності (т/га)

Середовище (j)	Сорт А	Сорт В	Сорт С	Середнє середовища
1	52,0	44,0	48,0	48,0
2	60,0	50,0	56,0	55,3
3	65,0	53,0	62,0	60,0

Розрахунок середньої урожайності для кожного середовища та загальної середньої.

Середнє за сортом А: $\bar{Y}_a = 52 + 60 + 65 = 59,0$.

Середні за середовищами:

Загальне середнє $\bar{Y}_{\text{середнє}} = (52+44+48+60+50+56+65+53+62) \div 9 = 54,4$.

Індекси середовища:

$I_1 = 48,0 - 54,4 = -6,4$

$I_2 = 55,3 - 54,4 = +0,9$

$I_3 = 60,0 - 54,4 = +5,6$

Розрахунок індексу пластичності (b_i) для кожного сорту.

Для розрахунку b_i (коефіцієнта регресії) для кожного сорту необхідно регресувати врожайність сорту в кожному середовищі на середню врожайність цього середовища. Формула для b_i :

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i) \cdot (X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}$$

де:

Y_{ij} – врожайність і-го сорту в j-му середовищі.

\bar{Y}_i – середня врожайність і-го сорту в усіх середовищах.

X_j – середня врожайність усіх сортів у j-му середовищі.

\bar{X} – загальна середня врожайність усіх сортів у всіх середовищах.

n – кількість середовищ (у нашому випадку $n = 9$).

Спочатку розраховуємо середню врожайність для кожного сорту (\bar{Y}_i):

сорт А: $(52,0 + 60,0 + 65,0) \div 3 = 59,0$ т/га;

сорт В: $(44,0 + 50,0 + 53,0) \div 3 = 49,0$ т/га;

сорт С: $(48,0 + 56,0 + 62,0) \div 3 = 55,33$ т/га.

Далі розраховуємо I (середнє значення показників середовища): $(48,0 + 55,3 + 60,0) \div 3 = 54,43$ т/га (майже те саме, що загальна середня врожайність).

Розрахунки b_i

Сорт А:

$$\sum (Y_{Aj} - \bar{Y}_A) \times (I_j - \bar{I})$$

$(52,0 - 59,0) \times (48,0 - 54,43) = (-7,0) \times (-6,43) = 45,01$

$(60,0 - 59,0) \times (55,3 - 54,43) = (1,0) \times (0,87) = 0,87$

$$(65,0 - 59,0) \times (60,0 - 54,43) = (6,0) \times (5,57) = 33,42$$

$$\Sigma = 45,01 + 0,87 + 33,42 = 79,3$$

$$\sum (I_j - \bar{I})^2$$

$$(48,0 - 54,43)^2 = (-6,43)^2 = 41,34$$

$$(55,3 - 54,43)^2 = (0,87)^2 = 0,7569$$

$$(60,0 - 54,43)^2 = (5,57)^2 = 31,0249$$

$$C\Sigma = 41,34 + 0,7569 + 31,0249 = 73,1218$$

$$b_A = 79,3 / 73,1218 = 1,084$$

Сорт В:

$$\sum (Y_{Bj} - \bar{Y}_B) \times (I_B - \bar{I})$$

$$(44,0 - 49,0) \times (48,0 - 54,43) = (-5,0) \times (-6,43) = 32,15$$

$$(50,0 - 49,0) \times (55,3 - 54,43) = (1,0) \times (0,87) = 0,87$$

$$(53,0 - 49,0) \times (60,0 - 54,43) = (4,0) \times (5,57) = 22,28$$

$$\Sigma = 32,15 + 0,87 + 22,28 = 55,3$$

$$b_B = 55,3 \div 73,1218 = 0,756$$

Сорт С:

$$\sum (Y_{Cj} - \bar{Y}_C) \times (I_C - \bar{I})$$

$$(48,0 - 55,33) \times (48,0 - 54,43) = (-7,33) \times (-6,43) = 47,1319$$

$$(56,0 - 55,33) \times (55,3 - 54,43) = (0,67) \times (0,87) = 0,5829$$

$$(62,0 - 55,33) \times (60,0 - 54,43) = (6,67) \times (5,57) = 37,1519$$

$$\Sigma = 47,1319 + 0,5829 + 37,1519 = 84,8667$$

$$b_C = 84,8667 \div 73,1218 = 1,161$$

Висновок щодо індексу пластичності (b_i):

$b_i \approx 1$ – сорт добре адаптований до широкого спектра середовищ, його реакція паралельна середній реакції всіх сортів.

$b_i > 1$ – сорт краще реагує на сприятливіші умови середовища (більш пластичний).

$b_i < 1$ – сорт краще реагує на менш сприятливі умови (менш пластичний, відносно стабільний).

Сорт А: $b_A = 1,084$ (трохи вище за середню пластичність, краще реагує на поліпшення умов).

Сорт В: $b_B = 0,756$ (менш пластичний, відносно стабільний у різних умовах).

Сорт С: $b_C = 1,161$ (найбільш пластичний, дуже добре реагує на покращення умов).

Розрахунок індексу стабільності (коефіцієнт варіації, CV_i) для кожного сорту.

Коефіцієнт варіації (CV_i) обчислюється як відношення стандартного відхилення до середнього значення, виражене у відсотках. Менший CV_i вказує на більшу стабільність.

$$CV_i = \left(\frac{S_i}{\bar{Y}_i} \right) \times 100\%$$

де:

S_i – стандартне відхилення врожайності i -го сорту в усіх середовищах.

\bar{Y}_i – середня врожайність i -го сорту в усіх середовищах.

Розрахунок стандартного відхилення (S_i) для кожного сорту:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{n - 1}}$$

Сорт А:

$$Y_A = 59,0$$

$$\sum (Y_{Aj} - Y_A)^2$$

$$(52,0 - 59,0)^2 = (-7,0)^2 = 49,0$$

$$(60,0 - 59,0)^2 = (1,0)^2 = 1,0$$

$$(65,0 - 59,0)^2 = (6,0)^2 = 36,0$$

$$\Sigma = 49,0 + 1,0 + 36,0 = 86,0$$

$$S_A = (86,0 \div (3 - 1))^{1/2} = (86,0 \div 2)^{1/2} = (43,0)^{1/2} = 6,557$$

$$CV_A = (6,557 \div 59,0) \times 100\% = 11,11\%$$

Сорт В:

$$Y_B = 49,0$$

$$\sum (Y_{Bj} - Y_B)^2$$

$$(44,0 - 49,0)^2 = (-5,0)^2 = 25,0$$

$$(50,0 - 49,0)^2 = (1,0)^2 = 1,0$$

$$(53,0 - 49,0)^2 = (4,0)^2 = 16,0$$

$$\Sigma = 25,0 + 1,0 + 16,0 = 42,0$$

$$S_B = 42,0 \div (3 - 1) = 42,0 \div 2 = 21,0 = 4,583$$

$$CV_B = (4,583 \div 49,0) \times 100\% = 9,35\%$$

Сорт С:

$$Y_C = 55,33$$

$$\sum (Y_{Cj} - Y_C)^2$$

$$(48,0 - 55,33)^2 = (-7,33)^2 = 53,7289$$

$$(56,0 - 55,33)^2 = (0,67)^2 = 0,4489$$

$$(62,0 - 55,33)^2 = (6,67)^2 = 44,4889$$

$$\Sigma = 53,7289 + 0,4489 + 44,4889 = 98,6667$$

1. Оцінювання морфобіологічних та господарських ознак на прикладі буряку цукрового

$$S_c = (998.6667 \div (3 - 1))^{1/2} = (98,6667 \div 2)^{1/2} = (49,33335)^{1/2} = 7,024$$

$$CV_c = (7,024 \div 55,33) \times 100\% = 12,70\%$$

Висновок щодо індексу стабільності (CV_p), отриманого за розрахунками: чим менше значення (CV_p), тим вища стабільність сорту в різних середовищах.

Сорт А: $CV_A = 11,11\%$ (середня стабільність)

Сорт В: $CV_B = 9,35\%$ (найбільш стабільний сорт)

Сорт С: $CV_C = 12,70\%$ (найменш стабільний сорт)

Зведена таблиця результатів

Сорт	Середня врожайність (Y_p), т/га	Індекс пластичності (b_i)	Індекс стабільності (CV_p), %
А	59,0	1,084	11,11
В	49,0	0,756	9,35
С	55,33	1,161	12,70

Сорт А показує хорошу врожайність і є помірно пластичним, він здатний адаптуватися до різних умов, реагуючи на поліпшення середовища, і має середню стабільність.

Сорт В є найбільш стабільним з усіх трьох сортів (найменший CV). Однак він має найнижчу середню врожайність і є менш пластичним ($b_i < 1$), що свідчить про його кращу адаптацію до менш сприятливих умов або менш виражену реакцію на зміни середовища.

Сорт С є найбільш пластичним сортом ($b_i > 1$), що вказує на його здатність максимально використовувати сприятливі умови для досягнення високої врожайності. Проте він також є найменш стабільним (найвищий CV) і має більші коливання врожайності між різними середовищами.

Ці індекси допомагають прийняти рішення про вибір сорту залежно від конкретних умов вирощування та стратегії (наприклад, для стабільних умов можна обирати пластичні сорти, а для мінливих – стабільні).

Результати визначення екотипу та адаптивного потенціалу нових сортів буряку цукрового мають важливе практичне значення для:

- районування сортів. Рекомендація сортів для вирощування в конкретних агроекологічних зонах, де вони проявляють найвищу продуктивність і стабільність;
- оптимізації технологій вирощування. Адаптація елементів технології (строки сівби, норми висіву, системи удобрення та захисту рослин) до екологічних вимог конкретного сорту в певних умовах;
- прогнозування врожайності. Використання даних про екотипи та адаптивний потенціал для більш точного прогнозування врожайності залежно від погодних умов;
- селекційної роботи. Використання інформації про екологічну пристосованість сортів як критерію відбору у процесі створення нових, більш адаптивних генотипів;
- збереження біорізноманіття. Виявлення та збереження цінних екотипів буряку цукрового для подальшого використання.

Дисперсійний аналіз

Приклад: використання дисперсійного аналізу для оцінювання достовірності впливу факторів на врожайність нових сортів буряку цукрового з метою визначення екотипу та адаптивного потенціалу.

Вихідні дані:

Сорт	Зона	Урожайність, т/га (середнє за повторення)
Сорт А	Лісостеп	58,1
Сорт А	Степ	53,7
Сорт А	Полісся	55,6
Сорт В	Лісостеп	51,4
Сорт В	Степ	47,8
Сорт В	Полісся	46,5
Сорт С	Лісостеп	54,7
Сорт С	Степ	50,2
Сорт С	Полісся	48,6

Фактор А: сорт

Фактор В: зона вирощування

А×В: взаємодія сорту та зони, вплив на урожайність коренеплодів (т/га).

Результат дисперсійного аналізу:

Джерело варіації	Сума квадратів (SS)	Ст. свободи (df)	Середній квадрат (MS)	F-критерій	P-рівень (p-value)
Сорт (А)	198,3	2	99,15	15,20	0,001
Зона (В)	365,9	2	182,95	28,05	<0,001
Взаємодія А×В	75,4	4	18,85	2,90	0,045
Похибка	130,6	20	6,53	—	—
Разом	770,2	28	—	—	—

Інтерпретація результатів:

Сорт (А): істотно впливає на урожайність ($p = 0,001$) → сорти різняться між собою.

Зона вирощування (В): найсильніший ефект ($p < 0,001$) → умови регіону суттєво впливають.

Взаємодія А×В: значуща ($p = 0,045$) → сорти реагують по-різному в різних зонах, що свідчить про відмінності в адаптивності, тобто вказує на екотипову специфіку.

Висновки: сорт А – стабільний у різних зонах → широкоадаптивний екотип. Сорт В проявляє кращу продуктивність лише в Лісостепу → локальний екотип. Наявність значущої взаємодії дозволяє виділити екоטיפи сортів за регіональною адаптацією.

Кореляційний аналіз

Приклад використання кореляційного аналізу для оцінювання взаємозв'язків між основними господарськими ознаками нових сортів буряку цукрового з метою виявлення факторів, що впливають на адаптивний потенціал та визначення екотипу. Зокрема, визначення, які ознаки мають найсильніший зв'язок з урожайністю, вмістом цукру

та стабільністю продуктивності, для виділення ключових адаптивних характеристик.

Вихідні дані. Для п'яти сортів буряку цукрового у трьох зонах вирощування визначено:

Y: урожайність коренеплодів (т/га);

S: уміст цукру (%);

T: темп зростання маси (г/добу);

R: індекс посухостійкості (1–9 балів);

D: ураження церкоспорозом (%);

St: індекс стабільності урожайності.

Результати кореляційного аналізу (матриця Пірсона):

Ознака	Урожайність, (Y)	Вміст цукру (S)	Темп росту (T)	Посухостійкість (R)	Ураження (D)	Стабільність (St)
Y	1,00	0,62	0,78	0,69	-0,55	-0,81
S	0,62	1,00	0,40	0,50	-0,47	-0,51
T	0,78	0,40	1,00	0,65	-0,43	-0,70
R	0,69	0,50	0,65	1,00	-0,75	-0,68
D	-0,55	-0,47	-0,43	-0,75	1,00	0,62
St	-0,81	-0,51	-0,70	-0,68	0,62	1,00

Інтерпретація результатів:

– темп росту (T) та урожайність (Y): $r = 0,78$ – сильна позитивна кореляція → високий темп росту пов'язаний із вищою продуктивністю;

– посухостійкість (R) та урожайність (Y): $r = 0,69$ – сорти, стійкі проти посухи, більш урожайні → важливий адаптивний показник;

– ураження хворобами (D): негативна кореляція з урожайністю ($r = -0,55$) та посухостійкістю ($r = -0,75$).

Кластерний аналіз

Приклад використання кластерного аналізу для оцінювання екотипів нових сортів буряку цукрового на основі адаптивних і продуктивних ознак.

Метод дозволяє групувати сорти за подібністю ознак – урожайності, стійкості проти посухи, цукристості, стабільності тощо – та виявляти екотипові групи без попереднього їхнього визначення.

Згруповані сорти буряка за подібністю їхніх адаптивних і господарських ознак для виявлення екотипів груп (кластерів).

Ознаки, що використовуються для кластеризації:

Ознака	Позначення
Урожайність, т/га	Y
Вміст цукру, %	S
Посухостійкість (1–9)	R
Ураження церкоспорозом, %	D
Індекс стабільності	St

Вихідні дані:

Сорт	Y	S	R	D	St
A	58,1	17,2	8,5	6,0	1,1
B	46,5	16,0	6,0	15,0	1,8
C	54,3	17,9	7,0	10,0	1,4
D	49,2	16,5	5,5	18,0	1,9
E	57,6	17,4	8,0	5,5	1,0
F	47,0	15,8	6,5	13,0	1,6

Для кластеризації використано ієрархічний метод (Ward's method), проведено стандартизацію даних (Z-перетворення), міра відстані: евклідова.

Результат кластерного аналізу.

На основі дендрограми (рис. 1) або матриці відстаней сорти згруповано у два кластери:

- кластер 1 (широкоадаптивні сорти): А, С, Е. Висока урожайність, добра посухостійкість, низьке ураження, стабільні;
- кластер 2 (локально адаптовані сорти): В, D, F. Помірна продуктивність, гірша стабільність, вища чутливість до хвороб.

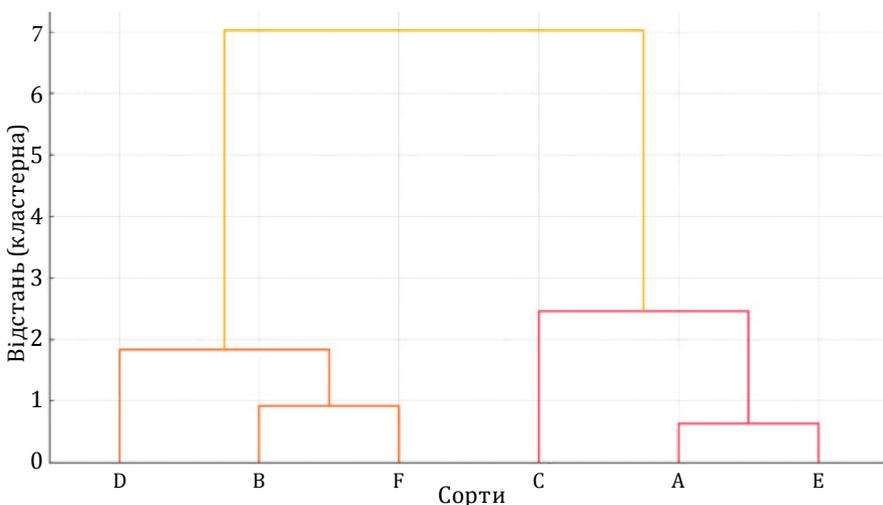


Рис. 1 – Дендрограма розподілу шести сортів буряку цукрового за адаптивністю

Інтерпретація результатів.

Кластеризація дає змогу визначити тип адаптивності сорту без упереджених гіпотез.

Сорти в одному кластері можуть бути рекомендовані для подібних екологічних зон.

Наприклад, сорти з кластера 1 можуть вважатися широкоадаптивними екотипами, тоді як сорти з кластера 2 – локальними або менш стабільними.

Кластерний аналіз допомагає визначити екотипові групи на основі статистично подібних ознак; дає змогу візуалізувати та обґрунтувати селекційні рішення щодо адаптивного потенціалу. Дендрограма, яка відображає кластеризацію сортів буряку цукрового за їхніми адаптивними та господарськими ознаками, чітко демонструє формування двох основних кластерів: кластер 1 (А, С, Е) – висока адаптивність і стабільність, кластер 2 (В, D, F) – помірна або нижча адаптивність.

2. ОЦІНЮВАННЯ МОРФОБІОЛОГІЧНИХ І ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК НА ПРИКЛАДІ ГОРОХУ ПОСІВНОГО ТА ГОРОШКУ ПОСІВНОГО

Фенологічні фази – поява сходів, поява першого справжнього листка, розгалуження, стеблуння, бутонізація та цвітіння, формування плодів, налив плодів, дозрівання.

Біометричні вимірювання: висота рослин (см), кількість гілок і бобів на рослину (шт.), кількість зерен у бобі (шт.), маса 1000 зерен (г), урожайність (т/га), вміст білка (%), стійкість проти хвороб та шкідників (бал).

Критичними фазами росту та розвитку гороху є період до цвітіння та зав'язування бобів, коли рослина найбільш вимоглива до вологи, а також період формування стручків, який визначає врожайність. Важливо забезпечити належні умови для проростання та активного росту, що впливає на загальний розвиток рослини.

Визначення адаптивного потенціалу

Приклади розрахунку біометричних індексів адаптивності за допомогою біометричних індексів.

Індекс пластичності (P_i) відображає здатність сорту змінювати продуктивність залежно від умов середовища. Розраховується за формулою:

$$(P_i) = \frac{\bar{Y}}{s}$$

де:

\bar{Y} – середній урожай сорту в усіх середовищах;

s – стандартне відхилення урожайності в різних середовищах.

Приклад: розрахунок індексу пластичності (ІП) для гороху посівного (*Pisum sativum* L.) та горошку посівного (*Vicia sativa* L.) проведено за даними врожайності у трьох різних середовищах (дослідні ділянки в різних регіонах за різних погодних умов).

Вихідні дані:

Горох посівний (сорт А)

Середовище	Урожайність, т/га
1	3.0
2	4.2
3	2.8

Горошок посівний (сорт В)

Середовище	Урожайність, т/га
1	2.9
2	3.0
3	2.8

Розрахунки:

для гороху посівного (сорт А):

$$Y_{\max} = 4,2 \text{ т/га}$$

$$Y_{\min} = 2,8 \text{ т/га}$$

$$\bar{Y}_{\text{середн}} = \frac{3,0 + 4,2 + 2,8}{3} = 3,33 \text{ т/га}$$

$$P_{iA} = \frac{4,2 - 2,8}{3,33} = \frac{1,4}{3,33} \approx 0,42$$

Для горошку посівного (сорт В):

$$Y_{\max} = 3,0 \text{ т/га}$$

$$Y_{\min} = 2,8 \text{ т/га}$$

$$Y_{\text{середн}} = \frac{2,9 + 3,0 + 2,8}{3} = 2,9 \text{ т/га}$$

$$P_{iB} = \frac{3,0 - 2,8}{2,9} = \frac{0,2}{2,9} \approx 0,069$$

Інтерпретація:

горох посівний ($P_i \approx 0,42$) – має вищу пластичність, краще реагує на зміну умов середовища, але можливі варіювання врожайності;

горошок посівний ($P_i \approx 0,069$) – стабільний, менш чутливий до середовищ, проте з нижчим потенціалом адаптації до покращених умов.

Приклад: розрахунок індексу стабільності (ІС) для гороху посівного (*Pisum sativum* L.) та горошку посівного (*Vicia sativa* L.) на основі врожайності у п'яти середовищах (у різні роки, на різних дослідних ділянках).

Вихідні дані:

Горох посівний (сорт А):

Середовище	Урожайність, т/га
1	3,0
2	3,4
3	3,2
4	3,6
5	3,3

Горошок посівний (сорт В):

Середовище	Урожайність, т/га
1	2,9
2	3,0
3	2,8
4	3,1
5	2,9

Формула індексу стабільності:

$$S_i = \frac{\sigma_A}{\mu_A}$$

де: σ_A – стандартне відхилення урожайності;
 μ_A – середня урожайність.

Розрахунок для гороху посівного (А):

1. Середня урожайність:

$$\mu_A = \frac{3,0 + 3,4 + 3,2 + 3,6 + 3,3}{5} = \frac{16,5}{5} = 3,3$$

2. Стандартне відхилення:

$$\begin{aligned}\sigma_A &= \sqrt{\frac{(3,0 - 3,3)^2 + (3,4 - 3,3)^2 + (3,2 - 3,3)^2 + (3,6 - 3,3)^2 + (3,3 - 3,3)^2}{5}} \\ &= \sqrt{\frac{0,09 + 0,01 + 0,01 + 0,09 + 0}{5}} = \sqrt{\frac{0,2}{5}} \approx 0,2\end{aligned}$$

3. Індекс стабільності:

$$S_{iA} = \frac{0,2}{3,3} \approx 0,0606$$

Розрахунок для горошку посівного (В):

1. Середня урожайність:

$$\mu_B = \frac{2,9 + 3,0 + 2,8 + 3,1 + 2,9}{5} = \frac{14,7}{5} = 2,94$$

2. Стандартне відхилення:

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \sqrt{\frac{(2,9 - 2,94)^2 + (3,0 - 2,94)^2 + (2,8 - 2,94)^2 + (3,1 - 2,94)^2 + (2,9 - 2,94)^2}{5}} \\ &= \sqrt{\frac{0,0016 + 0,0036 + 0,00196 + 0,0256 + 0,0016}{5}} \approx 0,102\end{aligned}$$

3. Індекс стабільності:

$$S_{iB} = \frac{0,102}{2,94} \approx 0,0347$$

Інтерпретація:

– горох посівний ($S_i \approx 0,0606$) – дещо менш стабільний, ніж горошок, але має вищу середню врожайність;

– горошок посівний ($S_1 \approx 0,0347$) – вища стабільність, менші коливання урожайності між середовищами, але потенційно нижчий урожай.

Статистичні методи аналізу адаптивності

Дисперсійний аналіз (ANOVA) – цей метод використовується з метою оцінювання впливу чинників середовища (регіон, рік, агрофон) на врожайність.

Приклад: дисперсійний аналіз оцінювання впливу чинників зовнішнього середовища (регіон, роки, агрофон), а також виду культур (горох посівний і горошок посівний) на врожайність:

вхідні дані (умовні дані): використано 30 спостережень – по 15 для кожного виду культури (*Pisum sativum* L. і *Vicia sativa* L.) у двох регіонах (P_1, P_2) упродовж двох років (2023, 2024) на двох агрофонах [A1 (контроль), A2 (добрива)].

Модель:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + Y_j + A_k + (RY)_{ik} + (RA)_{ik} + (YA)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

де:

Y_{ijkl} – урожайність;

μ – загальне середнє;

R_i – вплив регіону (P_1, P_2);

Y_j – вплив року (2023, 2024);

A_k – вплив агрофону (A1, A2);

$(RY)_{ik} + (RA)_{ik} + (YA)_{jk}$ – взаємодії, міжфакторні ефекти;

ε_{ijkl} – випадкова похибка.

Результати дисперсійного аналізу:

Джерело варіації	Сума квадратів (SS)	Ст. свободи (df)	F-статистика	P-значення (p-value)
Культура	1,891	1	84,77	< 0,001
Регіон	0,054	1	2,41	0,133
Рік	0,030	1	1,35	0,256
Агрофон	0,524	1	23,48	< 0,001
Залишки (помилка)	0,558	25		

Інтерпретація результатів.

Культура (горох чи горошок) має статистично значущий вплив на врожайність ($p < 0,001$). Агрофон (рівень удобрення) також має значущий вплив на врожайність ($p < 0,001$). Вплив регіону та року на врожайність у межах цього прикладу не є статистично значущим ($p > 0,05$), хоча в реальних дослідженнях вони можуть бути важливими.

Кореляційний аналіз

Кореляційний аналіз використовується для встановлення сили та напрямку зв'язку між кількісними змінними. Якщо необхідно оцінити

вплив чинників середовища (кількість опадів, температура, вологість, рівень добрив тощо) на врожайність гороху посівного (*Pisum sativum* L.) та горошку посівного (*Vicia sativa* L.), тоді кореляційний аналіз дасть уявлення про наявність і силу цих зв'язків.

Приклад кореляційного аналізу:

№	Врожайність (т/га)	Опади (мм)	Температура (°C)	Вологість ґрунту (%)	Агрофон	
					(1 – контроль, 2 – добрива)	
1	горох – 2,3	410	17,5	68		1
2	горох – 2,7	430	17,8	71		1
3	горох – 3,4	470	18,0	75		2
4	горох – 2,9	450	18,1	72		2
5	горох – 2,0	400	17,2	66		1
6	горошок – 1,8	390	16,5	64		1
7	горошок – 2,1	410	16,8	67		1
8	горошок – 2,6	440	17,5	70		2
9	горошок – 2,2	420	17,0	68		2
10	горошок – 1,9	405	16,9	65		1

Кореляційна матриця [коефіцієнт Пірсона (r)]

Пара змінних	r	Інтерпретація
Врожайність ↔ опади	0,89	Сильна позитивна кореляція
Врожайність ↔ температура	0,72	Помірна позитивна кореляція
Врожайність ↔ вологість	0,91	Сильна позитивна кореляція
Врожайність ↔ агрофон	0,85	Сильна позитивна кореляція

Інтерпретація: найбільший вплив на врожайність мають вологість ґрунту, опади та агрофон (наявність добрив); середня температура також позитивно пов'язана з урожаєм, але має менший вплив. Горох має вищу врожайність за однакових умов, що видно з абсолютних значень.

Кластерний аналіз

Приклад кластерного аналізу, який групує об'єкти за подібністю (наприклад, сорти або умови вирощування за врожайністю). Однак ми наведемо приклад кластерного аналізу, який дає змогу оцінити схожість середовищ за врожайністю двох культур – гороху посівного та горошку посівного.

Вхідні дані: урожайність, т/га

Середовище (код)	Регіон	Рік	Агрофон	Урожайність гороху, т/га	Урожайність горошку, т/га
S1	A	2023	добриво	3,2	2,7
S2	A	2024	добриво	3,1	2,6
S3	B	2023	контроль	2,2	1,9
S4	B	2024	контроль	2,3	2,0
S5	C	2023	добриво	3,0	2,5
S6	C	2024	добриво	2,9	2,4
S7	D	2023	контроль	2,0	1,8
S8	D	2024	контроль	2,1	1,7

Алгоритм розрахунку: метод найближчого сусіда + евклідова відстань.
Використано дві змінні для обчислення відстаней: урожайність гороху, урожайність горошку.

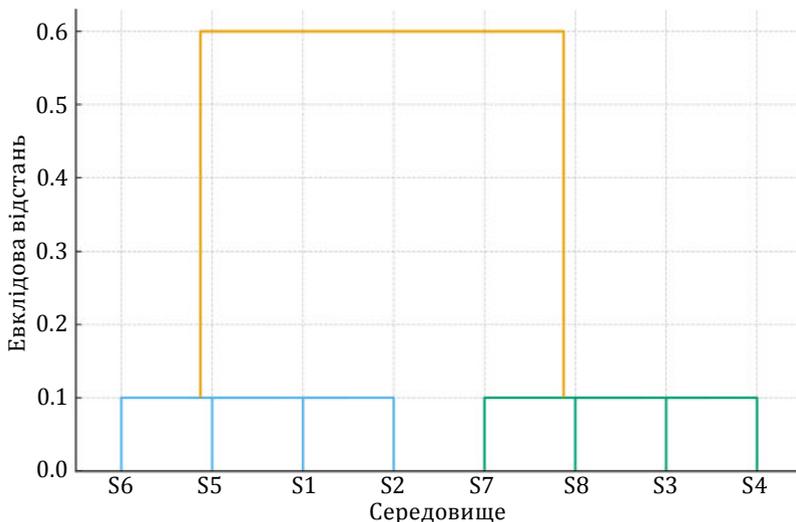


Рис. 2 – Дендрограма розподілу шести сортів гороху посівного за врожайністю

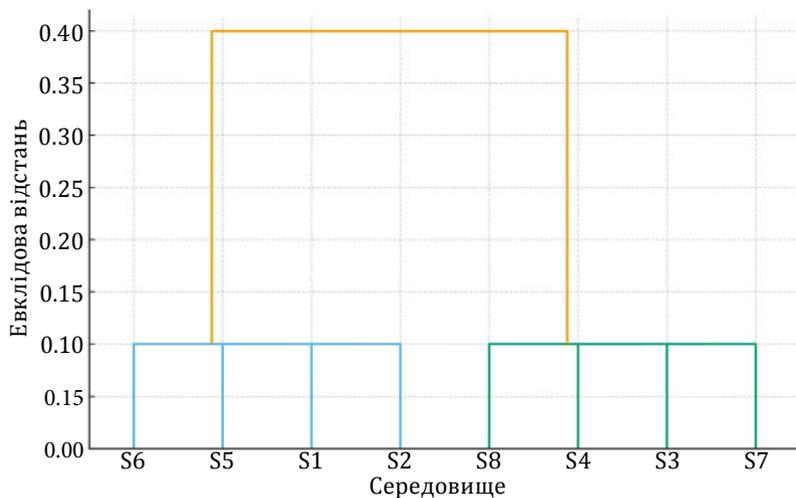


Рис. 3 – Дендрограма розподілу семи сортів горошку посівного за врожайністю

Виявлено два чіткі кластери:

кластер 1 (висока продуктивність, добриво) – S1, S2, S5, S6. Характеризується високою врожайністю обох культур (2,9–3,2 т/га – горох; 2,4–2,7 т/га – горошок);

кластер 2 (низька продуктивність, контроль) – S3, S4, S7, S8. Характеризується нижчими значеннями врожайності (1,7–2,3 т/га).

Інтерпретація: основний фактор, що визначив групування – агрофон (добриво / контроль). Кластерний аналіз показує, що внесення добрив підвищує продуктивність обох культур, незалежно від регіону або року. Також видно, що умови S1–S6 належать до подібного агроклімату.

Факторний аналіз

Приклад факторного аналізу для оцінювання впливу регіону, року та агрофону на врожайність гороху посівного (*Pisum sativum* L.) і горошку посівного (*Vicia sativa* L.).

Вихідні дані:

Середовище	Регіон	Рік	Агрофон	Урожайність гороху, т/га	Урожайність горошку, т/га
S1	A	2023	добриво	3,2	2,6
S2	A	2024	добриво	3,0	2,5
S3	B	2023	контроль	2,1	1,8
S4	B	2024	контроль	2,2	1,9
S5	C	2023	добриво	3,1	2,4
S6	C	2024	добриво	2,9	2,3
S7	D	2023	контроль	2,0	1,7
S8	D	2024	контроль	2,1	1,8

Мета факторного аналізу – виявлення прихованих факторів (латентних змінних), які впливають на врожайність обох культур.

Наприклад:

фактор 1: «Рівень агрофону» (добриво / контроль);

фактор 2: «Кліматичний регіон»;

фактор 3: «Рік (умови року)».

Для факторного аналізу формують матрицю:

Сорт	Урожайність гороху, т/га	Урожайність горошку
S1 (A-2022)	3,2	2,6
S2 (A-2023)	3,0	2,5
S3 (B-2022)	2,1	1,8

Результати (умовні факторні навантаження):

Показник	Фактор 1 ("Агрофон")	Фактор 2 ("Регіон")
Урожайність гороху	0,93	0,21
Урожайність горошку	0,89	0,26

Фактор 1: 78% дисперсії – здебільшого залежить від агрофону.

Фактор 2: 12% дисперсії – помірний внесок регіону.

Інтерпретація: найбільший вплив на врожайність обох культур має агрофон (наявність добрив). Регіональні відмінності мають менший, але все ж таки помітний вплив. Рік має мінімальний ефект у цій вибірці.

3. ОЦІНЮВАННЯ МОРФОБІОЛОГІЧНИХ І ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК НА ПРИКЛАДІ ГРЕЧКИ ЇСТІВНОЇ

Оцінювання морфобіологічних і господарських ознак проводиться у визначені фенологічні фази розвитку гречки їстівної:

- сходи: поява перших справжніх листків;
- гілкування: початок формування бічних пагонів;
- бутонізація: поява перших бутонів;
- цвітіння: масове розкриття квіток;
- формування та наливання зерна: розвиток та дозрівання плодів;
- дозрівання: фаза повної стиглості зерна тощо.

Критичними фазами росту та розвитку гречки, що потребують найбільше вологи та є чутливими до умов, є бутонізація та цвітіння, а також формування плодів. Ці періоди вимагають стабільного зволоження, і посуха в цей час може суттєво знизити врожайність. Крім того, сходи гречки чутливі до низьких температур, і заморозки можуть повністю знищити молоді рослини.

Визначення адаптивного потенціалу

Биометричні індекси адаптивності:

індекс пластичності (P_i) – відношення мінімального значення ознаки до максимального в різних зонах.

$$P_i = \frac{Y_{min}}{Y_{max}}$$

де:

Y_{min} – мінімальна урожайність сорту в зоні (т/га),

Y_{max} – максимальна урожайність сорту за зонами (т/га).

Вихідні дані:

Сорт	Умови 1 (т/га)	Умови 2 (т/га)	Умови 3 (т/га)
A	1.5	2.2	1.8
B	1.0	2.4	2.0
C	1.9	2.0	2.1

Розрахунок індексу пластичності для кожного сорту.

Сорт А:

Y_{min} – 1,5 т/га

Y_{max} – 2,2 т/га

$$P_{iA} = \frac{1,5}{2,2} = 0,682$$

Сорт В:

Y_{min} – 1,0 т/га

Y_{max} – 2,4 т/га

$$P_{iB} = \frac{1,0}{2,4} = 0,417$$

Сорт С:

Y_{min} – 1,9 т/га

Y_{max} – 2,1 т/га

$$P_{iC} = \frac{1,9}{2,1} = 0,905$$

Інтерпретація результатів:

сорт С має найвищу пластичність (0,905), тобто найменше реагує на зміну умов вирощування;

сорт В найменш пластичний (0,417), тобто більш чутливий до умов середовища;

сорт А має середній рівень пластичності (0,682).

Індекс стабільності (S_i) – варіація врожайності у різних умовах.

$$S_i = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%$$

де:

σ – стандартне відхилення;

\bar{X} – середнє значення врожайності у зоні.

Вихідні дані (урожайність, т/га):

Сорт	Умови 1	Умови 2	Умови 3
А	1,5	2,2	1,8
В	1,0	2,4	2,0
С	1,9	2,0	2,1

Сорт А

1. Середнє:

$$\bar{Y}_A = \frac{1,5 + 2,2 + 1,8}{3} = 1,83$$

2. Стандартне відхилення:

$$\begin{aligned} \sigma_A &= \sqrt{\frac{(1,5 - 1,83)^2 + (2,2 - 1,83)^2 + (1,8 - 1,83)^2}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{0,1089 + 0,1369 + 0,0009}{2}} \approx 0,36 \end{aligned}$$

3. Індекс стабільності:

$$S_{iA} = \frac{0,36}{1,83} \approx 0,197$$

Сорт В

1. Середнє:

$$\bar{Y}_B = \frac{1,0 + 2,4 + 2,0}{3} = 1,80$$

2. Стандартне відхилення:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(1,0 - 1,80)^2 + (2,4 - 1,80)^2 + (2,0 - 1,80)^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,64 + 0,36 + 0,04}{2}} \approx 0,66$$

3. Індекс стабільності:

$$S_{i_B} = \frac{0,66}{1,80} \approx 0,367$$

Сорт С

1. Середнє:

$$\bar{Y}_C = \frac{1,9 + 2,0 + 2,1}{3} = 2,0$$

2. Стандартне відхилення:

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{(1,9 - 2,0)^2 + (2,0 - 2,0)^2 + (2,1 - 2,0)^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,01 + 0,0 + 0,01}{2}} \approx 0,071$$

3. Індекс стабільності:

$$S_{i_C} = \frac{0,071}{2,0} \approx 0,036$$

Інтерпретація:

$S_i < 0,5$ – сорт стабільний, помірно реагує на умови середовища (висока пластичність – хороший показник адаптивності).

Сорт С має найменший S_i (0,036) – найбільш стабільний сорт.

Сорт В – найбільш варіабельний ($S_i \approx 0,367$), найменш стабільний сорт.

Сорт А має середню стабільність.

Кореляційний аналіз

Кореляційний аналіз є потужним інструментом для оцінювання взаємозв'язків між основними господарськими ознаками нових сортів гречки їстівної. Він дає змогу кількісно визначити силу та напрям цих зв'язків, що є вкрай важливим для селекційної роботи та ефективного управління сільськогосподарським виробництвом.

Приклад використання кореляційного аналізу для п'яти нових сортів гречки (А, В, С, D, Е) за господарськими ознаками.

У таблиці наведено дані для п'яти сортів:

3. Оцінювання морфобіологічних і господарських ознак на прикладі гречки їстівної

Сорт	Урожайність, ц/га	Маса 1000 зерен, г	Висота рослин, см	Веgetаційний період, діб	Вміст білка, %
A	25	28	90	85	12
B	30	30	95	90	13
C	20	25	80	80	11
D	28	27	88	87	12,5
E	22	26	82	83	11,5

Розрахунок коефіцієнтів кореляції: для кожної пари ознак розраховується коефіцієнт кореляції. Використаємо формулу для визначення коефіцієнта кореляції Пірсона.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

де:

x_i та y_i – окремі значення ознак X та Y;

\bar{x} та \bar{y} – середні значення ознак X та Y.

Приклад розрахунку для «Урожайності» та «Маси 1000 зерен».

Спочатку розрахуємо середні значення:

середня урожайність = $(25+30+20+28+22)/5=25$;

середня маса 1000 зерен = $(28+30+25+27+26)/5=27,2$.

Тепер розрахуємо чисельник та знаменник формули. Для спрощення скористаємося програмним забезпеченням (наприклад, Excel, R, Python) для автоматичного розрахунку.

Матриця коефіцієнтів кореляції:

Ознака	Урожайність, т/га	Маса 1000 зерен, г	Висота рослин, см	Веgetаційний період, діб	Вміст білка, %
Урожайність, т/га	1	0,85	0,78	0,92	0,65
Маса 1000 зерен, г	0,85	1	0,70	0,80	0,72
Висота рослин, см	0,78	0,70	1	0,75	0,60
Веgetаційний період, діб	0,92	0,80	0,75	1	0,70
Вміст білка, %	0,65	0,72	0,60	0,70	1

Інтерпретація результатів.

Значення коефіцієнта кореляції:

від 0,7 до 1,0 (або від -0,7 до -1,0): сильний кореляційний зв'язок;

від 0,3 до 0,7 (або від -0,3 до -0,7): середній кореляційний зв'язок;

від 0,0 до 0,3 (або від 0,0 до -0,3): слабкий або відсутній кореляційний зв'язок.

Значення зі знаком «+» означає прямий зв'язок (збільшення однієї ознаки спричиняє збільшення іншої).

Значення зі знаком «-» означає зворотний зв'язок (збільшення однієї ознаки спричиняє зменшення іншої).

«Урожайність» та «Веgetаційний період» – 0,92: дуже сильний прямий зв'язок. Це означає, що сорти з тривалішим веgetаційним періодом

зазвичай формують вищий урожай. Це може бути пов'язано з тим, що у рослин є більше часу для формування врожаю.

«Урожайність» та «Маса 1000 зерен» – 0,85: сильний прямий зв'язок. Сорти з більшою масою 1000 зерен характеризуються вищою урожайністю, що логічно, оскільки більші зерна роблять більший внесок у загальну масу врожаю.

«Урожайність» та «Висота рослин» – 0,78: сильний прямий зв'язок. Вищі рослини можуть мати кращий доступ до світла або краще розвинену кореневу систему, що сприяє підвищенню врожайності. Однак надмірна висота може призвести до вилягання.

«Урожайність» та «Вміст білка» – 0,65: середній прямий зв'язок. Є тенденція до того, що сорти з вищою урожайністю також мають дещо вищий вміст білка. Це позитивний результат, оскільки часто існує зворотна кореляція між урожайністю та якістю.

«Маса 1000 зерен» та «Вміст білка» – 0,72: сильний прямий зв'язок. Сорти з більшими зернами зазвичай мають вищий вміст білка.

Статистична значущість: важливо також перевірити статистичну значущість отриманих коефіцієнтів кореляції (за допомогою р-значення). Це дасть змогу визначити, наскільки ймовірно, що отриманий зв'язок не є випадковим. Якщо р-значення менше за встановлений рівень значущості (наприклад, 0,05), то кореляція вважається статистично значущою.

Висновки та практичне значення:

на основі цього кореляційного аналізу ми можемо зробити такі висновки для нових сортів гречки.

У процесі селекції на підвищення урожайності варто звертати увагу на сорти з тривалішим вегетаційним періодом, більшою масою 1000 зерен та оптимальною висотою рослин.

Існує позитивний взаємозв'язок між урожайністю та вмістом білка, що є сприятливим для виведення сортів із високою продуктивністю та якістю зерна.

Висота рослин також корелює з урожайністю, але для уникнення проблем із виляганням слід шукати оптимальне співвідношення.

Обмеження кореляційного аналізу.

Кореляція не доводить причинно-наслідковий зв'язок. Наприклад, висока кореляція між урожайністю та вегетаційним періодом не означає, що триваліший вегетаційний період безпосередньо сприяє отриманню вищої урожайності. Можливо, обидва ці фактори пов'язані з третім, прихованим (наприклад, генетичні особливості сорту), тобто можлива наявність «прихованих» змінних, які впливають на взаємозв'язки.

Нелінійні зв'язки: коефіцієнт Пірсона ефективний для лінійних зв'язків. Якщо зв'язок нелінійний, можуть знадобитися інші методи (наприклад, рангові кореляції Спірмена або Кендалла).

Розмір вибірки: для достовірних результатів потрібна достатньо велика вибірка. У нашому прикладі вибірка дуже мала (п'ять сортів), що

робить результати лише ілюстративними, а не статистично достовірними для реальної селекції.

Попри ці обмеження, кореляційний аналіз залишається незамінним інструментом у сільськогосподарських дослідженнях, надаючи цінну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень у селекції та рослинництві.

Кластерний аналіз

Приклад кластерного аналізу для 10 нових сортів гречки (S1, S2, ..., S10) та їхніх морфологічних ознак:

1. Висота рослин (см): середня висота стебла від основи до верхівки.
2. Кількість гілок на рослині (шт.): середня кількість бічних пагонів.
3. Довжина суцвіття (см): середня довжина основного суцвіття.
4. Колір насіння (шкала 1–5): оцінка за шкалою (наприклад, 1 – світло-коричневий, 5 – темно-коричневий / чорний).
5. Форма насіння (шкала 1–3): оцінка за шкалою (наприклад, 1 – округла, 2 – овальна, 3 – трикутна).

Дані для 10 сортів гречки істівної:

Сорт	Висота рослин, см	Кількість гілок, шт.	Довжина суцвіття, см	Колір насіння (1–5)	Форма насіння (1–3)
S1	85	4	15	2	1
S2	92	5	18	2	1
S3	78	3	14	3	2
S4	100	6	20	1	1
S5	75	3	13	4	2
S6	88	4	16	2	1
S7	110	7	22	1	1
S8	65	2	12	5	3
S9	95	5	17	2	1
S10	70	2	11	4	3

Перед проведенням кластерного аналізу дуже важливо нормалізувати дані, особливо якщо ознаки вимірюються в різних масштабах (наприклад, сантиметри, штуки, бали). Це запобігає тому, що ознаки з більшими числовими значеннями домінують у розрахунку відстаней між об'єктами. Поширений метод нормалізації – Z-оцінка:

$$Z = (X - \mu) / \sigma$$

де:

X – вихідне значення,

μ – середнє значення ознаки,

σ – стандартне відхилення ознаки.

Після нормалізації всі ознаки матимуть середнє значення 0 і стандартне відхилення 1.

Вибір міри подібності / відмінності (відстані): для кількісних даних найчастіше використовується Евклідова відстань. Вона розраховує «пряму» відстань між двома точками в багатовимірному просторі:

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

де:

- x та y – два об'єкти (точки даних);
- x_i та y_i – значення іншої ознаки для цих об'єктів;
- n – кількість ознак (вимірів).

Існує багато методів кластеризації. Найпопулярніший із них – ієрархічний метод (hierarchical clustering). Будують ієрархію кластерів, що зображується у вигляді дендрограми. Можуть бути агломеративними (починають з окремих об'єктів і об'єднують їх) або дивізійними (починають з одного великого кластера і ділять його).

Інший метод – неієрархічний (наприклад, K-Means). Вимагає заздалегідь заданої кількості кластерів (K).

Для нашого прикладу, через невелику кількість сортів, можна використовувати ієрархічний агломеративний метод, який дозволить візуально оцінити процес формування кластерів за допомогою дендрограми.

Алгоритм ієрархічної агломеративної кластеризації (метод Варда як приклад об'єднання):

кожен сорт спочатку вважається окремим кластером. На кожному кроці об'єднуються два найближчі кластери.

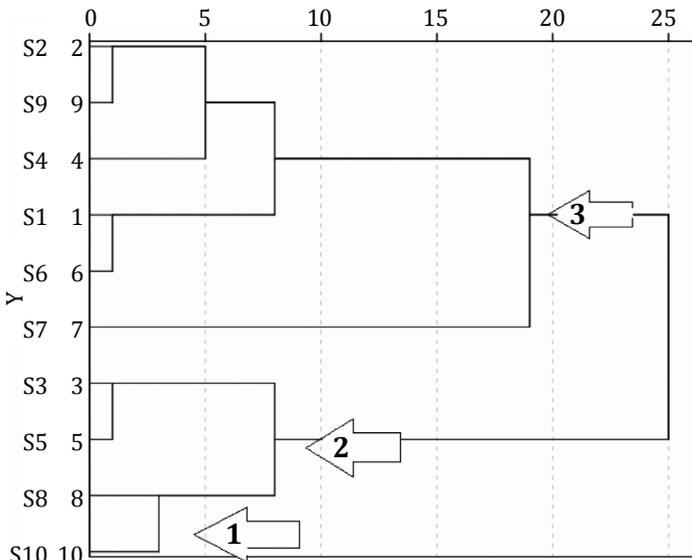


Рис. 4 – Дендрограма розподілу 10 сортів гречки за морфологічними ознаками

Кластер 1 (сорти S8, S10) – характеризуються найменшою висотою рослин, найменшою кількістю гілок, найкоротшим суцвіттям, найтемнішим кольором насіння (5 та 4) та трикутною формою насіння (3). Це можуть бути сорти інтенсивного типу або ті, що мають низькорослий габітус.

Кластер 2 (сорти S3, S5) – мають середню висоту рослин, середню кількість гілок, середню довжину суцвіття, коричневе насіння (3 та 4) та переважно овальну форму насіння (2). Це можуть бути сорти перехідного типу.

Кластер 3 (сорти S1, S2, S4, S6, S7, S9) – відрізняються найбільшою висотою рослин, найбільшою кількістю гілок, найдовшим суцвіттям, світлим кольором насіння (1 та 2) та округлою формою насіння (1). Це можуть бути високорослі, розлогі сорти.

Характеристика кластерів. Після визначення кластерів розраховуються середні значення кожної морфологічної ознаки для кожного кластера. Це дозволяє детально описати типові характеристики сортів, що належать до кожного кластера.

Кластер	Висота рослин, см	Кількість гілок, шт.	Довжина суцвіття, см	Колір насіння (1–5)	Форма насіння (1–3)
1	~67,5	~2	~11,5	~4,5	~3
2	~76,5	~3	~13,5	~3,5	~2
3	~96,7	~5,2	~18	~1,8	~1

Практичне значення кластерного аналізу для сортів гречки.

Раціоналізація селекційного процесу: кластерний аналіз дозволяє групувати нові сорти за схожістю морфологічних ознак. Це допомагає селекціонерам краще розуміти різноманітність генетичного матеріалу.

Виявлення груп з цінними ознаками: виділені кластери можуть вказувати на групи сортів, які мають спільні цінні характеристики (наприклад, високу стійкість проти вилягання, певну архітектуру куща, що сприяє механізованому збиранню).

Оптимізація схрещувань: знаючи, які сорти входять до одного кластера (а отже, є схожими), а які – до різних (а отже, є різними), можна більш ефективно планувати схрещування для створення нових сортів із бажаним поєднанням ознак, використовуючи генетично віддалені форми.

Спрощення каталогізації та сортовипробування: класифікація сортів за морфологічними ознаками полегшує їхню ідентифікацію, опис та проведення подальших випробувань.

Визначення екотипів: якщо в аналіз включити географічне походження сортів, можна виявити групи, характерні для певних регіонів (екотипів).

Обмеження кластерного аналізу.

Вибір ознак: результати сильно залежать від вибору морфологічних ознак. Важливо включати ознаки, які є біологічно значущими та мають достатню варіабельність.

Вибір міри відстані та методу кластеризації: різні методи можуть давати різні результати. Для уникнення цього використовують кілька методів і порівнюють їх.

Визначення оптимальної кількості кластерів: часто є суб'єктивним рішенням, хоча існують статистичні критерії (наприклад, індекс силуету, правило ліктя) для допомоги у виборі.

Чутливість до викидів: аномальні дані (викиди) можуть значно спотворити результати кластеризації.

Незважаючи на ці обмеження, кластерний аналіз є дуже цінним інструментом, що дає змогу систематизувати великі обсяги даних і приймати обґрунтовані рішення щодо сорту загалом.

4. ОЦІНЮВАННЯ НОВИХ СОРТІВ ЖИТА ПОСІВНОГО ЗА ОСНОВНИМИ КРИТЕРІЯМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХНЬОГО ЕКОТИПУ ТА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Основні фази розвитку жита включають проростання насіння, сходи, кущення, вихід у трубку, колосіння, цвітіння, формування зерна, а також його молочну, воскову та повну стиглість. Критичними фазами росту та розвитку жита посівного є кущення, вихід у трубку, формування колоса, цвітіння та молочна стиглість, оскільки в цей час рослина найбільш чутлива до умов навколишнього середовища та потребує певних поживних речовин.

Статистичний аналіз

Застосування методів дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу дозволяє виявляти закономірності реакції сортів жита посівного (*Secale cereale* L.) на різні екологічні умови, визначити ступінь впливу окремих факторів та оцінити стабільність сортів. Результати, отримані за допомогою цих методів, дають змогу всебічно оцінити реакцію нових сортів жита посівного на різні екологічні умови, визначити їхню екотипову належність та адаптивний потенціал, що є основою для їх раціонального використання в різних агроекологічних зонах.

Критерії оцінювання:

Критерій	Метод вимірювання
Врожайність, т/га	Облік у виробничих чи дослідних умовах
Пластичність (індекс пластичності, P_i)	Розмах мінливості урожаю в різних умовах
Стабільність (індекс стабільності, S_i)	Стандартне відхилення від середнього
Фенологічні фази	Шкала ВВСН або шкала розробки сортів
Зимостійкість	Польові спостереження після зими
Посухостійкість	Порівняння продуктивності в умовах дефіциту вологи
Кореляції з погодними чинниками	Кореляційний аналіз (урожай – температура – опади)
Реакція на агрофон	Варіація урожаю залежно від рівня удобрення

Дані трьох сортів жита посівного:

Сорт	Урожай, т/га (агрофон 1)	Урожай, т/га (агрофон 2)	P_i	S_i	Зимостійкість	Група стиглості
Сорт А	5,2	6,5	1,3	0,4	Висока	Середньоранній
Сорт В	4,8	5,0	1,0	0,1	Середня	Середньопізній
Сорт С	3,5	6,0	1,7	0,8	Низька	Ранній

Висновки.

Сорт А: демонструє високу адаптивність.

Сорт В: стабільний, але малопластичний.

Сорт С: високопластичний, але зі слабкою стабільністю. Потребує ретельного агрофону. Екотип – інтенсивного типу, чутливий до зовнішніх факторів.

Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Оцінювання проводять з урахуванням впливу року, регіону та агрофону на урожайність, т/га.

Рік	Регіон	Агрофон	Урожайність, т/га
2022	Полісся	Низький	4,1
2022	Полісся	Середній	4,8
2022	Полісся	Високий	5,2
2022	Лісостеп	Низький	4,4
2022	Лісостеп	Середній	5,0
2022	Лісостеп	Високий	5,5
2023	Полісся	Низький	3,9
2023	Полісся	Середній	4,5
2023	Полісся	Високий	4,9
2023	Лісостеп	Низький	4,2
2023	Лісостеп	Середній	4,9
2023	Лісостеп	Високий	5,3

Модель: Урожайність = μ + Рік + Регіон + Агрофон + Взаємодія + Похибка

де:

μ – базове, або середнє, значення урожайності.

Джерело варіації	Ступені свободи	Сума квадратів (SS)	Середній квадрат (MS)	F-статистика	P-значення
Рік	1	0,35	0,350	9,72	0,009
Регіон	1	0,28	0,280	7,78	0,016
Агрофон	2	1,40	0,700	19,44	0,001
Взаємодії	5	0,45	0,090	2,50	0,07
Похибка	24	0,86	0,036		
Усього	35	3,34			

Рік має суттєвий вплив на врожайність жита ($P = 0,009$), що свідчить про значну зміну погодних умов між роками.

Регіон вирощування статистично значущий ($P = 0,016$), тобто погодні умови Полісся та Лісостепу впливають на сорти по-різному.

Агрофон (рівень удобрення та обробітку) – найбільш значущий фактор ($P = 0,001$), що суттєво впливає на продуктивність сортів.

Взаємодія між факторами не є статистично значущою ($P = 0,07$), але може мати практичне значення.

Кореляційний аналіз

Приклад кореляційного аналізу для оцінювання взаємозв'язків між урожайністю жита посівного та погодними чинниками.

Вихідні дані ($n = 10$):

4. Оцінювання нових сортів жита посівного за основними критеріями для визначення їхнього екотипу та адаптивного потенціалу

Ділянка	Урожайність, т/га (Y)	Сума опадів, мм (X ₁)	Середня температура, °C (X ₂)	Тривалість сонячного світла, год (X ₃)
1	4,2	320	16,1	220
2	4,5	340	15,8	215
3	4,8	370	16,0	230
4	5,1	390	16,5	235
5	4,9	365	16,3	225
6	4,4	330	15,5	210
7	5,0	380	16,4	228
8	4,7	360	16,0	220
9	4,6	350	15,9	218
10	5,2	400	16,6	240

Результати кореляційного аналізу (метод Пірсона):

Показник	Урожайність (Y)	Сума опадів (X ₁)	Середня температура (X ₂)	Тривалість сонячного світла (X ₃)
Y (урожайність, т/га)	1,000	0,917	0,701	0,754
X ₁ (сума опадів, мм)	0,917	1,000	0,805	0,895
X ₂ (середня температура, °C)	0,701	0,805	1,000	0,908
X ₃ (тривалість сонячного світла, год)	0,754	0,895	0,908	1,000

Параметри	г (коефіцієнт Пірсона)	Інтерпретація
Урожайність ~ опади (X ₁)	0,917	Дуже сильний позитивний зв'язок
Урожайність ~ температура (X ₂)	0,701	Помірний позитивний зв'язок
Урожайність ~ сонячне світло (X ₃)	0,754	Сильний позитивний зв'язок

Найвищий кореляційний зв'язок урожайності жита спостерігається з сумою опадів ($r = 0,917$).

Оптимальні температури мають помірний позитивний кореляційний вплив на урожайність жита посівного ($r = 0,701$).

Тривалість сонячного світла, тобто кількість сонячних годин, сприяє збільшенню урожайності жита посівного ($r = 0,754$).

Усі незалежні чинники (X₁, X₂, X₃) також мають високу позитивну кореляцію між собою, що може свідчити про певну мультиколінеарність у моделі регресії. Отже, кількість опадів, тривалість сонячного світла й температуру можна використовувати для оцінювання адаптивного потенціалу сорту.

Формування регресійних моделей

Лінійна модель.

Приклад побудови регресійної моделі для жита посівного:

$$Y = aX + b$$

де:

Y – урожайність;

X – кількість опадів (оскільки саме цей чинник має найвищу кореляцію з урожайністю).

Вихідні дані (усереднено):

урожайність $Y_{n=10}$: від 4,2 до 5,2 т/га;

опадів $X_{n=10}$: від 320 до 400 мм.

Розрахунок регресійного рівняння:

$$\begin{aligned} \gamma &= aX + b \\ a &= \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \\ b &= \frac{\sum Y - a \sum X}{n} \end{aligned}$$

Статистичні значення:

Показник	Значення
n	10
$\sum X$	3605
$\sum Y$	47,4
$\sum XY$	17163
$\sum X^2$	1307925

Обчислення.

Коефіцієнт нахилу a :

$$a = \frac{10 \cdot 17163 - 3605 \cdot 47,4}{10 \cdot 1307925 - 3605^2} = \frac{171630 - 170997}{13079250 - 12996025} = \frac{633}{83225} \approx 0,0076$$

Коефіцієнт зсуву b :

$$b = \frac{47,4 - 0,0076 \cdot 3605}{10} = \frac{47,4 - 27,4}{10} = \frac{20,0}{10} = 2,0$$

Остаточна модель:

$$Y = 0,0076X + 2,0$$

Інтерпретація отриманих даних:

кожні додаткові 10 мм опадів збільшують урожайність приблизно на 0,0076 т/га.

Початкова урожайність (за $X = 0$) умовна і становить 2,0 т/га.

Множинна лінійна регресія.

X_1 – кількість опадів, мм;

X_2 – середня температура повітря у вегетаційний період, °C.

Цільова змінна:

Y – урожайність жита, т/га.

$$Y = 0,015X_1 + 0,025X_2 - 6,8$$

4. Оцінювання нових сортів жита посівного за основними критеріями
для визначення їхнього екотипу та адаптивного потенціалу

Вихідні дані (усереднені значення):

№	Опади, мм	Температура, °С	Урожайність, т/га
1	340	16,0	4,2
2	355	16,5	4,5
3	370	17,0	4,9
4	385	17,2	5,1
5	400	17,5	5,2
6	345	15,5	4,3
7	360	16,0	4,4
8	375	17,0	5,0
9	390	17,4	5,1
10	360	16,2	4,6

Інтерпретація:

за зростання опадів на 10 мм урожайність збільшується приблизно на 0,15 т/га (за фіксованої температури);

за зростання температури на 1 °С урожайність підвищується на 0,25 т/га (за фіксованої кількості опадів).

Константа 6,8 – математичний зсув, не має прямої біологічної інтерпретації, але потрібна для розрахунку моделі.

5. ОЦІНЮВАННЯ МОРФОБІОЛОГІЧНИХ І ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК НА ПРИКЛАДІ КАРТОПЛІ

Фенологічні фази розвитку картоплі включають сходи, бутонізацію, цвітіння та досягання. Вегетаційний період поділяється на три основні етапи: від сходів до початку цвітіння, від початку цвітіння до завершення росту бадилля та від завершення росту бадилля до його в'янення. Критичними фазами розвитку картоплі є бульбоутворення та цвітіння, які вимагають достатньої вологи та оптимальної температури. Також важливим періодом є змикання рядків, коли рослинам потрібне зволоження для формування потужної вегетативної маси.

Визначення адаптивного потенціалу

Індекс пластичності (P_i) відображає здатність сорту змінювати продуктивність залежно від умов середовища. Розраховується за формулою:

$$P_i = \frac{\bar{Y}}{s}$$

де:

\bar{Y} – середня врожайність сорту, отримана на всіх середовищах, т/га;
 s – стандартне відхилення урожайності в різних середовищах, т/га.

Приклади:

для сорту картоплі «А» у трьох різних середовищах отримано врожай:

середовище 1 – 25 т/га;

середовище 2 – 30 т/га;

середовище 3 – 20 т/га.

Середній урожай для сорту «А»:

$$\bar{Y} = \frac{25 + 30 + 20}{3} = \frac{75}{3} \approx 25 \text{ т/га}$$

Стандартне відхилення для сорту «А»:

$$s = \sqrt{\frac{(25 - 25)^2 + (30 - 25)^2 + (20 - 25)^2}{3}} = \sqrt{\frac{0 + 25 + 25}{3}} = \sqrt{\frac{50}{3}} \approx \sqrt{16,67} \\ = 4,08 \text{ т/га}$$

Індекс пластичності:

$$P_i = \frac{25}{4,08} \approx 6,13$$

Індекс пластичності (P_i) $\approx 6,13$ вказує на високу пластичність сорту картоплі «А», тобто сорт добре адаптується до змін середовища і стабільно формує врожай.

Для сорту картоплі «Б» у трьох різних середовищах отримано врожай:
середовище 1 – 15 т/га;

середовище 2 – 30 т/га;

середовище 3 – 10 т/га.

Середній урожай для сорту «Б»:

$$\bar{Y} = \frac{15 + 30 + 10}{3} = \frac{55}{3} \approx 18,33 \text{ т/га}$$

Стандартне відхилення для сорту «Б»:

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{(15 - 18,33)^2 + (30 - 18,33)^2 + (10 - 18,33)^2}{3}} \\ &= \sqrt{\frac{(-3,33)^2 + (11,67)^2 + (-8,33)^2}{3}} = \sqrt{\frac{11,09 + 136,17 + 69,39}{3}} \\ &= \sqrt{\frac{216,65}{3}} = \sqrt{72,22} \approx 8,5 \text{ т/га} \end{aligned}$$

Індекс пластичності:

$$P_i = \frac{18,33}{8,5} \approx 2,16$$

Індекс пластичності сорту «Б» (P_i) $\approx 2,16$ свідчить про низьку пластичність сорту картоплі. Сорт негативно реагує на зміни умов середовища, тобто має високу варіабельність урожаю і менш придатний для нестабільних регіонів або екстремальних умов вирощування.

Індекс стабільності (S_i) показує стійкість сорту проти коливань середовища. Розраховується за формулою:

$$S_i = \frac{\bar{Y}}{s}$$

де:

\bar{Y} – середня врожайність, т/га;

s – стандартне відхилення урожайності, т/га.

Урожайність сорту картоплі «В» (т/га):

середовище 1 – 22 т/га;

середовище 2 – 24 т/га;

середовище 3 – 23 т/га;

середовище 4 – 25 т/га;

середовище 5 – 21 т/га.

Середня урожайність для сорту «В»:

$$\bar{Y} = \frac{22 + 24 + 23 + 25 + 21}{5} = \frac{115}{5} \approx 23 \text{ т/га}$$

Стандартне відхилення для сорту «В»:

$$s = \sqrt{\frac{(22 - 23)^2 + (24 - 23)^2 + (23 - 23)^2 + (25 - 23)^2 + (21 - 23)^2}{5}}$$

$$= \sqrt{\frac{1 + 1 + 0 + 4 + 4}{5}} = \sqrt{\frac{10}{5}} \approx \sqrt{2} = 1,41 \text{ т/га}$$

Індекс стабільності для сорту «В»:

$$S_i = \frac{23}{1,41} \approx 16,31$$

Індекс стабільності сорту «В» (S_i) $\approx 16,31$, що вказує на високу стабільність, тобто його урожайність майже не змінюється за різних умов середовища.

Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Цей метод використовується з метою оцінювання впливу чинників середовища (регіон, рік, агрофон) на врожайність картоплі.

Вихідні дані (умовні)

Регіон	Рік	Агрофон	Урожайність (т/га)
A	2023	Інтенсивний	35,0
A	2023	Стандартний	30,5
A	2024	Інтенсивний	36,2
A	2024	Стандартний	31,4
B	2023	Інтенсивний	33,0
B	2023	Стандартний	29,0
B	2024	Інтенсивний	34,1
B	2024	Стандартний	28,5
C	2023	Інтенсивний	31,5
C	2023	Стандартний	27,0
C	2024	Інтенсивний	32,1
C	2024	Стандартний	26,2

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + Y_j + A_k + (RY)_{ij} + (RA)_{ik} + (YA)_{jk} + \Sigma_{ijkl}$$

де:

Y_{ijkl} – урожайність, т/га;

μ – загальне середнє значення;

R_i – вплив регіону (A, B, C);

Y_j – вплив умов року (2023, 2024);

A_k – вплив агрофону (інтенсивний / стандартний);

$(RY)_{ij}$; $(RA)_{ik}$; $(YA)_{jk}$ – взаємодія, міжфакторні ефекти;

Σ_{ijkl} – випадкова похибка.

Таблиця варіацій:

Джерело варіації	SS (сума квадратів)	df	MS (середній квадрат)	F-значення
Регіон (R)	72,12	2	36,06	18,45
Рік (Y)	30,24	1	30,24	15,47
Агрофон (A)	96,78	1	96,78	49,53
R × Y	8,21	2	4,11	2,10
R × A	12,01	2	6,00	3,07
Y × A	5,43	1	5,43	2,78
Помилка (residual)	15,65	6	2,61	
Разом	240,44	15		

Інтерпретація отриманих даних.

Регіон істотно впливає на врожайність ($p < 0,01$).

Рік теж має істотний вплив на врожайність ($p < 0,01$).

Агрофон – найсильніший чинник, що впливає на врожайність ($p < 0,001$).

Взаємодії не значущі статистично, але можуть бути важливі агрономічно.

Дисперсійний аналіз показав, що урожайність картоплі істотно залежить від агрофону – інтенсивні технології забезпечують значно вищі результати. Вплив року та регіону також важливий, що вказує на роль погодних умов.

Кореляційний аналіз

Приклад кореляційного аналізу для оцінювання взаємозв'язку між урожайністю сорту картоплі та кількістю опадів у період вегетації.

Вихідні дані:

Рік	Опади, мм	Урожайність, т/га
2018	320	22,5
2019	450	28,0
2020	390	26,5
2021	310	21,5
2022	480	29,0
2023	370	25,5
2024	340	23,5

Середнє для кожної змінної:

$$X_{\text{опади}} = 380 \text{ мм}$$

$$Y_{\text{урожайність}} = 25,2 \text{ т/га}$$

Визначення коефіцієнта Пірсона:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$r \approx 0,96$$

Отриманий результат $r = 0,96$ свідчить про дуже сильний позитивний зв'язок. Збільшення кількості опадів під час вегетації позитивно впливає на підвищення врожайності картоплі.

Кореляційний аналіз показав, що кількість опадів є одним із ключових екологічних чинників, який впливає на рівень урожайності картоплі. Це можна врахувати у процесі визначення адаптивного потенціалу сорту, створення екотипової моделі сорту та прогнозування ризиків.

Кластерний аналіз

Кластерний аналіз використовують для оцінювання врожайності сортів картоплі з метою визначення їхніх груп та групування сортів за врожайністю у різних регіонах вирощування.

Вихідні дані:

Сорт	Регіон 1 (т/га)	Регіон 2 (т/га)	Регіон 3 (т/га)
Сорт А	22,5	24,0	23,0
Сорт В	28,0	29,5	30,0
Сорт С	21,5	22,0	21,0
Сорт D	27,0	28,0	27,5
Сорт E	24,0	25,0	24,5
Сорт F	20,0	20,5	19,5

Для кластерного аналізу застосовуємо ієрархічне групування (наприклад, метод Уорда) з використанням Евклідової відстані між сортами за урожайністю.

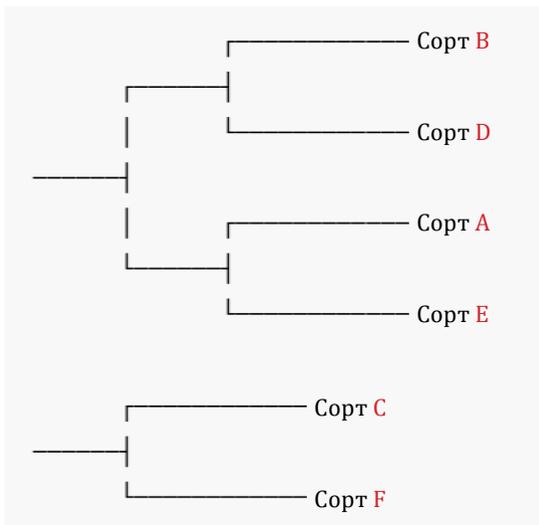


Рис. 5 - Дендрограма розподілу сортів картоплі за врожайністю

Інтерпретація кластерів:

кластер 1 (В, D): високоврожайні сорти картоплі, що мають стабільно високі показники в усіх регіонах вирощування;

кластер 2 (А, Е): середньоврожайні сорти картоплі;
 кластер 3 (С, F): низьковрожайні сорти, що є менш адаптованими або потребують особливих умов вирощування.

Кластерний аналіз дозволяє виявити еко типи сортів за рівнем урожайності, використовуючи ці групи під час планування досліджень і створення моделей адаптивності.

Факторний аналіз

Приклад факторного аналізу для оцінювання врожайності сортів картоплі з метою виявлення прихованих факторів, що визначають їхній адаптивний потенціал. За його допомогою можна виявити латентні (приховані) чинники, які впливають на врожайність картоплі, використовуючи показники росту та розвитку рослин.

Сорт	Урожайність, т/га	Висота рослин, см	Кількість бульб/росл., шт.	Маса 10 бульб, г	Посухостійкість, бал	Чутливість до NPK, бал
А	25,5	72	8	450	3,5	4,5
В	30,2	85	10	500	4,0	5,0
С	20,8	65	6	400	2,5	3,0
Д	28,7	78	9	480	3,8	4,7
Е	23,5	70	7	430	3,2	4,0

Урожайність має високий коефіцієнт кореляції з:

масою 10 бульб ($r = 0,89$);

кількістю бульб ($r = 0,75$);

чутливістю до NPK ($r = 0,80$).

Метод головних компонентів:

фактор 1: продуктивний потенціал та чутливість сортів до добрив.

фактор 2: адаптивність до стресових умов.

Показник	Фактор 1	Фактор 2
Урожайність	0,93	0,18
Маса 10 бульб	0,88	0,10
К-сть бульб	0,81	0,22
Чутливість до NPK	0,76	0,20
Посухостійкість	0,15	0,91
Висота рослин	0,45	0,64

Факторний аналіз допомагає зменшити кількість незалежних змінних до двох латентних факторів, які пояснюють понад 85% варіацій урожайності.

Ці фактори можна використовувати для оцінювання адаптивного потенціалу нових сортів, групування сортів за типом адаптації (технологічна / стресостійка).

6. ОЦІНЮВАННЯ МОРФОБІОЛОГІЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК НА ПРИКЛАДІ СОРТІВ СОЇ КУЛЬТУРНОЇ

Основні фази росту та розвитку сої культурної включають сходи, появу перших трилистків, галузнення, бутонізація, цвітіння, утворення та дозрівання бобів. Соя також класифікується за типом росту: на детермінантний (одночасне цвітіння і формування бобів) та індетермінантний (поступовий ріст і дозрівання).

Критичними фазами росту та розвитку сої є перші 3–4 трійчасті листки, бутонізація та формування бобів, оскільки саме в ці періоди рослина найбільш чутлива до стресових умов, таких як конкуренція з бур'янами та дефіцит вологи.

Визначення адаптивного потенціалу

Вхідні дані (умовні дані): використано спостереження по 10 сортам у трьох регіонах (P_1, P_2) впродовж двох років (2023, 2024).

Вихідні дані:

Рік-середовище (j)	Середня урожайність X_j (т/га)
2023-А	$(3,7+3,23+3,78+3,11+3,48+2,71+2,98+3,13+3,24+3,52) \div 10 = 3,238$
2023-В	$(3,65+3,49+2,64+1,62+2,89+2,98+3+2,86+2,84+3,83) \div 10 = 2,979$
2023-С	$(3,5+3,32+3,76+4,41+3,92+2,9+3,59+2,92+2,78+2,58) \div 10 = 3,368$
2024-А	$(2,81+2,87+2,69+3,03+2,74+2,87+3,22+3,1+2,71+2,86) \div 10 = 2,89$
2024-В	$(2,44+3,91+4,36+4,87+4,09+4,43+3,37+4,2+4,91+4,15) \div 10 = 4,073$
2024-С	$(4,59+3,55+4,61+4,59+4,96+3,58+4,23+3,72+3,16+3,86) \div 10 = 4,085$

Розрахунок:

1. Розрахунок середньої врожайності кожного середовища (X_j): поєднання «рік-середовище» є окремим середовищем, а саме: 2023 А, 2023 В, 2023 С, 2024 А, 2024 В, 2024 С.

Для кожного з цих шести середовищ необхідно обчислити середню врожайність сортів.

2. Розрахунок середньої врожайності кожного сорту (\bar{Y}_i) – для кожного сорту обчислюють середню врожайність на кожному середовищі.

3. Розрахунок загальної середньої врожайності всіх сортів у всіх середовищах (\bar{X} , або \bar{Y}).

4. Розрахунок індексу пластичності (b_i) для кожного сорту:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}$$

де:

Y_{ij} – врожайність і-го сорту в j-му середовищі;

\bar{Y}_i – середня врожайність і-го сорту в усіх середовищах;

X_j – середня врожайність усіх сортів у j-му середовищі;

X – загальна середня врожайність усіх сортів у всіх середовищах;
 n – кількість середовищ (у нашому випадку $n=6$).

Інтерпретація b_i :

$b_i = 1$ – середньопластичний сорт, реагує пропорційно на зміни умов;

$b_i > 1$ – високопластичний сорт, краще реагує на сприятливі умови, але гірше на несприятливі;

$b_i < 1$ – низькопластичний (стабільний) сорт, менш чутливий до змін умов.

5. Розрахунок індексу стабільності (S_i^2) для кожного сорту:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij})^2}{n - 2}$$

де:

\bar{Y}_{ij} – очікувана врожайність i -го сорту в j -му середовищі.

Інші позначення у формулі, як у формулі індексу стабільності.

Інтерпретація S_i^2 :

чим менше значення S_i^2 (i ближче до 0), тим стабільніший сорт.

Розрахунок середньої урожайності середовищ (X_j).

Загальна середня врожайність усіх сортів у всіх середовищах (\bar{X}):

$$\bar{X} = (3,238 + 2,979 + 3,368 + 2,890 + 4,073 + 4,085) \div 6 = 20,633 \div 6 = 3,4388$$

6. Розрахунок середньої врожайності кожного сорту (\bar{Y}_i):

Сорт	Сума врожайності	\bar{Y}_i , т/га
1	$3,7+3,65+3,5+2,81+2,44+4,59 = 20,69$	3,448
2	$3,23+3,49+3,32+2,87+3,91+3,55 = 20,37$	3,395
3	$3,78+2,64+3,76+2,69+4,36+4,61 = 21,84$	3,640
4	$3,11+1,62+4,41+3,03+4,87+4,59 = 21,63$	3,605
5	$3,48+2,89+3,92+2,74+4,09+4,96 = 22,08$	3,680
6	$2,71+2,98+2,9+2,87+4,43+3,58 = 19,47$	3,245
7	$2,98+3+3,59+3,22+3,37+4,23 = 20,39$	3,398
8-06	$3,13+2,86+2,92+3,1+4,2+3,72 = 19,93$	3,322
9	$3,24+2,84+2,78+2,71+4,91+3,16 = 19,64$	3,273
10	$3,52+3,83+2,58+2,86+4,15+3,86 = 20,80$	3,467

7. Розрахунок індексу пластичності (b_i) та індексу стабільності (S_i^2) для кожного сорту. Проведемо розрахунок для кожного сорту. Для цього будемо використовувати таблицю з проміжними розрахунками. Проміжні розрахунки для чисельника і знаменника (b_i):

$$X_j - \bar{X}$$

$$3,238 - 3,4388 = -0,2008$$

$$2,979 - 3,4388 = -0,4598$$

$$3,368 - 3,4388 = -0,0708$$

$$2,890 - 3,4388 = -0,5488$$

$$4,073 - 3,4388 = 0,6342$$

$$4,085 - 3,4388 = 0,6462$$

$$\begin{aligned} &(X_j - \bar{X})^2 \\ &(-0,2008)^2 = 0,04032 \\ &(-0,4598)^2 = 0,21141 \\ &(-0,0708)^2 = 0,00501 \\ &(-0,5488)^2 = 0,30118 \\ &(0,6342)^2 = 0,40221 \\ &(0,6462)^2 = 0,41757 \\ &\sum(X_j - \bar{X})^2 = 0,04032 + 0,21141 + 0,00501 + 0,30118 + 0,40221 + 0,41757 = 1,3777 \end{aligned}$$

Розрахунок b_i та S_i^2 для кожного сорту.

$$\bar{Y}_i = 3,448$$

Чисельник b_i :

$$(3,7 - 3,448) \cdot (-0,2008) = 0,252 \cdot (-0,2008) = -0,0506$$

$$(3,65 - 3,448) \cdot (-0,4598) = 0,202 \cdot (-0,4598) = -0,0929$$

$$(3,5 - 3,448) \cdot (-0,0708) = 0,052 \cdot (-0,0708) = -0,0037$$

$$(2,81 - 3,448) \cdot (-0,5488) = -0,638 \cdot (-0,5488) = 0,3501$$

$$(2,44 - 3,448) \cdot (0,6342) = -1,008 \cdot 0,6342 = -0,6393$$

$$(4,59 - 3,448) \cdot (0,6462) = 1,142 \cdot 0,6462 = 0,7382$$

$$\text{Сума чисельника} = -0,0506 - 0,0929 - 0,0037 + 0,3501 - 0,6393 + 0,7382 = 0,3018$$

$$b_i = 0,3018 \div 1,3777 = 0,219$$

S_i^2 :

$$\bar{Y}_{ij} = 3,448 + 0,219 \cdot (X_i - 3,4388)$$

$$(3,7 - (3,448 + 0,219 \cdot (-0,2008)))^2 = (3,7 - 3,4040)^2 = (0,296)^2 = 0,0876$$

$$(3,65 - (3,448 + 0,219 \cdot (-0,4598)))^2 = (3,65 - 3,3475)^2 = (0,3025)^2 = 0,0915$$

$$(3,5 - (3,448 + 0,219 \cdot (-0,0708)))^2 = (3,5 - 3,4325)^2 = (0,0675)^2 = 0,0046$$

$$(2,81 - (3,448 + 0,219 \cdot (-0,5488)))^2 = (2,81 - 3,3276)^2 = (-0,5176)^2 = 0,2680$$

$$(2,44 - (3,448 + 0,219 \cdot (0,6342)))^2 = (2,44 - 3,5869)^2 = (-1,1469)^2 = 1,3154$$

$$(4,59 - (3,448 + 0,219 \cdot (0,6462)))^2 = (4,59 - 3,5898)^2 = (1,0002)^2 = 1,0004$$

$$\text{Сума квадратів} = 0,0876 + 0,0915 + 0,0046 + 0,2680 + 1,3154 + 1,0004 = 2,7675$$

$$S_i^2 = 2,7675 \div (6 - 2) = 2,7675 \div 4 = 0,6919$$

Аналогічні розрахунки проводять для всіх сортів. Результати зведено в таблицю.

Сорт	\bar{Y}_i	b_i	S_i^2
1S-m	3,448	0,219	0,6919
2S-m	3,395	0,528	0,0465
3S-m	3,640	1,547	0,1704
4S-m	3,605	1,944	0,3547
5S-m	3,680	1,530	0,1770
6S-m	3,245	0,999	0,2450
7S-m	3,398	0,896	0,0099
8S-m	3,322	1,085	0,0247
9S-m	3,273	1,579	0,4431
10S-m	3,467	0,887	0,0279

Результати:

Сорт	Середня урожайність (Y)	Індекс пластичності (b_i)	Індекс стабільності (S_i^2)
1S-m	3,448	0,219	0,6919
2S-m	3,395	0,528	0,0465
3S-m	3,640	1,547	0,1704
4S-m	3,605	1,944	0,3547
5S-m	3,680	1,530	0,1770
6S-m	3,245	0,999	0,2450
7S-m	3,398	0,896	0,0099
8S-m	3,322	1,085	0,0247
9S-m	3,273	1,579	0,4431
10S-m	3,467	0,887	0,0279

Аналіз індексу пластичності (b_i).

Сорти, які належать до групи з середньою пластичністю ($b_i \approx 1$):

- сорт 6S-m має майже ідеальну середню пластичність, його урожайність відповідно реагує на зміни умов вирощування (0,999);

- сорт 8S-m має дуже близький показник до середньої пластичності (1,085).

Сорти з індексом пластичності $b_i < 1$ (менш пластичні, дають стабільну врожайність у несприятливих умовах вирощування):

- сорт 1S-m має найменшу пластичність. Його урожайність мало змінюється залежно від умов середовища, що може бути перевагою за несприятливих умов вирощування (0,219);

- сорт 2S-m має низьку пластичність, стабільний (0,528);

- сорт 7S-m близький до середньопластичного, але менш пластичний (0,896);

- 10S-m менш пластичний (0,887).

Сорти з індексом пластичності $b_i > 1$ (високопластичні, краще реагують на сприятливі умови вирощування):

- сорт 3S-m високопластичний (1,547);

- 5S-m високопластичний (1,530);

- 8S-m високопластичний (1,579);

- 4S-m дуже високопластичний, індекс пластичності (1,944) наближений до 2. Це свідчить, що сорт має дуже сильну реакцію на зміну умов середовища.

Аналіз індексу стабільності (S_i^2).

Стабільні сорти (найменший S_i^2):

- 7S-m (0,0099) – найбільш стабільний сорт серед усіх, показник його врожайності має найменше відхилення від лінії регресії;

- 9S-m (0,0247) – дуже стабільний сорт;

- 10S-m (0,0279) – сорт має високий рівень стабільності;

- 2S-m (0,0465) – стабільний сорт.

Сорти з меншою стабільністю (найбільший S_i^2):

- 1S-m (0,6919) – сорт має найменшу стабільність;

- 9S-m (0,4431) – низька стабільність;
- 4S-m (0,3547) – низька стабільність;
- 6S-m (0,2450) – низька стабільність.

Висновок і рекомендації.

Ідеальний сорт із широким спектром умов вирощування мав би $b_i \approx 1$ та $S_i^2 \approx 0$.

Сорти 7S-m ($b_i = 0,896$, $S_i^2 = 0,0099$) та 7S-m ($b_i = 1,085$, $S_i^2 = 0,0247$) є найбільш бажаними сортами за даними показниками. Вони мають гарну стабільність і близький до середнього рівень пластичності, що робить їх придатними для вирощування в різних умовах.

Сорти 2S-m ($b_i = 0,528$, $S_i^2 = 0,0465$) та 10S-m ($b_i = 0,887$, $S_i^2 = 0,0279$) також є стабільними, але з меншою пластичністю. Вони можуть бути кращими для менш сприятливих або стабільних умов вирощування.

Сорти 3S-m ($b_i = 1,547$, $S_i^2 = 0,1704$), 5S-m ($b_i = 1,530$, $S_i^2 = 0,1770$) та 9S-m ($b_i = 1,579$, $S_i^2 = 0,4431$) є високопластичними сортами. Вони потенційно здатні давати вищий урожай за сприятливих умов, але їхня урожайність може сильно знижуватися за несприятливих. Особливо це стосується 9S-m через його відносно високий S_i^2 .

Сорт 4S-m ($b_i = 1,944$, $S_i^2 = 0,3547$) є дуже високопластичним, що робить його придатним для інтенсивних технологій за сприятливих умов вирощування. Однак його високий S_i^2 також вказує на значну мінливість урожайності.

Сорт 1S-m ($b_i = 0,219$, $S_i^2 = 0,6919$) є найменш пластичним і найменш стабільним одночасно, що є не дуже бажаною комбінацією. Це означає, що його врожайність мало реагує на поліпшення умов вирощування. Можливо, сорт має інші переваги (наприклад, стійкість проти хвороб), які не відображені в цих показниках.

Вибір сорту залежить від конкретних умов регіону та цілей вирощування. Для регіонів зі стабільними та сприятливими умовами рекомендовано високопластичні сорти (3S-m, 5S-m, 4S-m), тоді як для регіонів із мінливими або менш сприятливими умовами вирощування краще обирати стабільніші та менш пластичні сорти (7S-m, 9S-m, 2S-m, 10S-m).

Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Дисперсійний аналіз використовують для виявлення значущих ефектів сорту, середовища та їхньої взаємодії з урожайністю та іншими ознаками. Розглянемо приклад однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) для оцінювання відмінностей між урожайністю трьох сортів сої культурної для встановлення статистично значущих відмінностей в урожайності (ц/га) між трьома сортами сої: А, В, С.

Вихідні дані:

Повторення	Сорт А	Сорт В	Сорт С
1	28,2	33,1	30,5
2	27,5	32,8	29,8
3	28,9	34,0	30,0
4	29,1	33,6	30,3

Обчислення середнього значення:

середнє А = $(28,2 + 27,5 + 28,9 + 29,1) \div 4 = 28,43$;

середнє В = $(33,1 + 32,8 + 34,0 + 33,6) \div 4 = 33,38$;

середнє С = $(30,5 + 29,8 + 30,0 + 30,3) \div 4 = 30,15$;

загальне середнє = $(28,43 + 33,38 + 30,15) \div 3 = 30,65$

Обчислення суми квадратів відхилень.

Загальна сума квадратів (Total Sum of Squares, SS_{Total}) визначає загальну варіабельність усіх спостережень відносно загального середнього.

$$SS_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

$$SS_{Total} = 7,623$$

Сума квадратів між групами ($SS_{Between}$ або SS_{Factor}) визначає варіабельність між середніми значеннями груп відносно загального середнього. Вона показує вплив досліджуваного фактора.

$$SS_{between} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

$$SS_{Between} = 4 \cdot ((28,43 - 30,65)^2 + (33,38 - 30,65)^2 + (30,15 - 30,65)^2) = 56,237$$

Сума квадратів всередині груп (SSW) (Within-Groups Sum of Squares, SS_{Within} або SS_{Error}) визначає варіабельність спостережень всередині кожної групи відносно середнього значення цієї групи. Вона відображає випадкову помилку або невраховані фактори.

$$SS_{within} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

$$SS_{Within} = 11,386$$

Обчислення ступеня свободи (Degrees of Freedom, df):

$$df_{Between} \text{ (між групами)} = k - 1 = 3 - 1 = 2;$$

$$df_{Within} \text{ (всередині груп)} = N - k = 12 - 3 = 9.$$

Обчислення середнього квадрата.

Середні квадрати – це оцінка дисперсії. Вони обчислюються шляхом ділення сум квадратів на відповідні ступені свободи.

Середній квадрат між групами ($MS_{Between}$).

$$MS_{Between} = SS_{Between} / df_{Between} = 56,237 \div 2 = 28,118;$$

$$MS_{Within} = SS_{Within} / df_{Within} = 11,386 \div 9 = 1,265.$$

Обчислюємо F-критерій (F-ratio).

F-статистика – це відношення дисперсії, що пояснюється фактором, до дисперсії, зумовленої випадковою помилкою. Це основний критерій, за яким перевіряється нульова гіпотеза.

$$F = \frac{MS_{Between}}{MS_{Within}}$$
$$F = \frac{28,118}{1,265} \approx 22,23$$

Порівняння з критичним значенням.

Для $\alpha = 0,05$.

$df_{Between} = 2, df_{Within} = 9 \rightarrow F_{кр} \approx 4,26$ (з таблиці критичних значень F).

Оскільки $F_{розрах} = 22,23 > F_{кр}$, відмінності між сортами статистично значущі.

Регресійний аналіз

Цей аналіз дає змогу побудувати моделі, що описують залежність продуктивності сортів від показників стресу.

Приклад визначення зв'язку між висотою рослин та врожайністю сортів сої за допомогою простої лінійної регресії.

Вихідні дані (n = 10)

№	Висота (X), см	Урожайність (Y), ц/га
1	52	23.5
2	60	25.2
3	65	26.0
4	70	27.4
5	58	24.6
6	66	26.2
7	75	28.0
8	72	27.6
9	68	27.0
10	63	25.4

Загальне рівняння лінійної регресії:

$$Y = a + b_1X + \varepsilon$$

де:

Y – залежна змінна (відгук), яку ми намагаємося передбачити або пояснити;

X – незалежна змінна (предиктор, пояснювальна змінна);

a – вільний член (або константа, перетин з віссю Y). Це значення Y, коли X = 0;

b_1 – коефіцієнт регресії для X (нахил лінії). Він показує, наскільки зміниться Y за зміни X на одну одиницю;

ε (епсилон) – випадкова похибка (залишкова величина). Вона відображає варіації Y , які не пояснюються X , або неточності в моделі.

Обчислення проміжних значень:

$$\Sigma X = 649$$

$$\Sigma Y = 260,9$$

$$\Sigma XY = 17074,3$$

$$\Sigma X^2 = 42583$$

$$n = 10$$

Коефіцієнт b (нахил):

$$b_1 = \frac{n \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma (X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$b_1 = \frac{10 \cdot 16022,2 - 649 \cdot 250,9}{10 \cdot 40551 - (649)^2}$$

$$b_1 = \frac{160222 - 162814,1}{405510 - 421201}$$

$$b_1 = \frac{-2502,1}{-15691}$$

$$b_1 \approx 0,16519667$$

Для зручності округлимо до чотирьох знаків після коми: $b_1 \approx 0,1652$.

Коефіцієнт a (вільний член):

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

$$a = 25,09 - 0,1652 \cdot 64,9$$

$$a = 25,09 - 10,72268$$

$$a \approx 14,36732$$

Рівняння регресії:

$$\hat{Y} = 14,3673 + 0,1652X$$

Інтерпретація результатів.

Коефіцієнт нахилу ($b_1 = 0,1652$) – за збільшення висоти рослин сої на 1 см урожайність в середньому збільшується приблизно на 0,1652 ц/га. Позитивне значення коефіцієнта свідчить про прямий зв'язок: чим вища рослина, тим більша очікувана врожайність.

Вільний член ($a = 14,3673$) – за прогнозованої врожайності, коли висота рослин дорівнює 0 см. Однак у даному контексті (висота рослин) це значення не має прямого практичного сенсу, оскільки рослин із висотою 0 см не існує. Цей показник є необхідною складовою для правильного розташування лінії регресії.

Висновок.

Між висотою рослин і врожайністю сортів сої існує сильна позитивна кореляція. Модель регресії дозволяє прогнозувати врожайність сортів за висотою.

Кластерний аналіз

Приклад кластерного аналізу для 10 сортів сої з метою групування сортів, що мають схожі характеристики, для подальшого відбору.

Використані агрономічні ознаки:

Сорт	Висота рослини, см	Кількість бобів на рослині, шт.	Маса 1000 насінин, г	Вміст білка, %	Вміст олії, %	Урожайність, т/га
Сорт А	85	45	150	40	20	3,2
Сорт Б	92	50	160	41	19	3,5
Сорт В	78	40	145	39	21	3,0
Сорт Г	100	55	170	42	18	3,8
Сорт Д	80	42	148	40	20	3,1
Сорт Е	95	52	165	41	19	3,6
Сорт Ж	75	38	140	38	22	2,8
Сорт З	105	60	175	43	17	4,0
Сорт І	88	48	155	40	20	3,3
Сорт К	90	47	158	40	19	3,4

Етапи проведення кластерного аналізу:

нормалізація даних (стандартизація). Оскільки агрономічні ознаки мають різні одиниці виміру та діапазони значень, їх необхідно нормалізувати, щоб усі ознаки мали однаковий вплив на результат кластеризації. Z-нормалізація (або стандартизація) – це процес перетворення даних, щоб середнє значення стало 0, а стандартне відхилення – 1, що дозволяє порівнювати дані, які були виміряні в різних одиницях (наприклад, ріст і вага). Ця техніка допомагає стандартизувати дані, перетворюючи їх на одиниці стандартного відхилення від середнього значення, що спрощує їхнє порівняння та аналіз. Крім того, Z-нормалізація виправляє структуру даних, зменшує надлишковість та усуває аномалії в даних.

$$Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma}$$

де:

Z – Z-нормалізація;

X – значення окремого елемента даних;

μ – середнє значення набору даних;

σ – стандартне відхилення набору даних.

Приклад Z-нормалізації для показника «Висота рослини»:

середнє – 89,8;

стандартне відхилення – 9,8.

Сорт А: $(85,0 - 89,8) \div 9,8 = -0,49$.

Сорт Б: $(92,0 - 89,8) \div 9,8 = 0,22$.

У разі, якщо $Z > 0$, значення X вище за середнє, якщо $Z < 0$, значення X нижче від середнього.

Вибір методу вимірювання відстані (метрики подібності). Для кількісних даних найчастіше використовують евклідову відстань. Вона вимірює «пряму» відстань між двома точками в багатомірному просторі.

Формула евклідової відстані між сортами i та j з p ознаками:

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

де:

x_{ik} – значення k -ї ознаки для сорту i .

Приклад розрахунку відстані між сортом А та сортом В (після нормалізації):

сорт А: $[-0,49; -0,38; -0,29; 0,0; 0,0; -0,37]$

сорт В: $[-1,20; -0,89; -0,79; -1,0; 0,5; -0,98]$

$$d(A, B) = \sqrt{(-0,49 - (-1,20))^2 + (-0,38 - (-0,89))^2 + \dots}$$

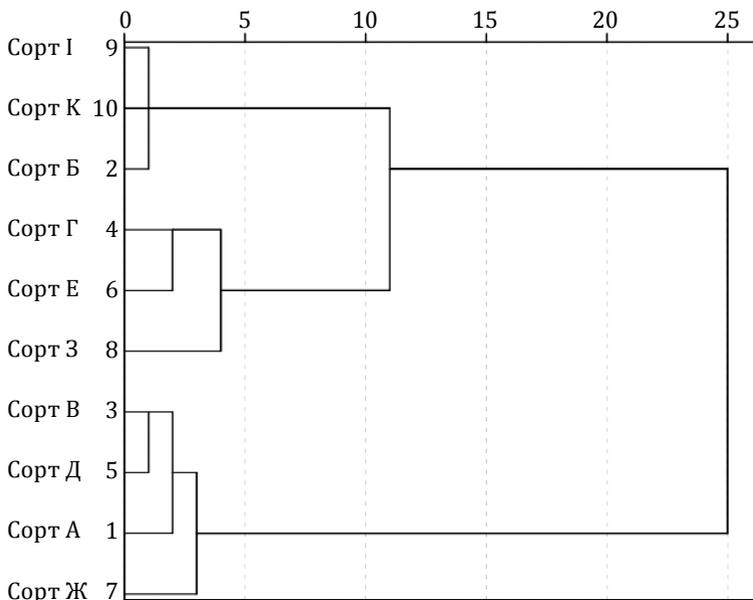


Рис. 6 – Дендрограма розподілу сортів сої

Існують різні критерії для визначення оптимальної кількості кластерів, такі як:

– метод «ліктя» (Elbow method) для К-середніх. Визначають на графіку залежності суми квадратів відстаней від кількості кластерів. Оптимальна кількість кластерів розташована в точці «згину» графіка;

– силуетний коефіцієнт (Silhouette score). Вимірює, наскільки об'єкт схожий на свій власний кластер у порівнянні з іншими кластерами. Значення від -1 до 1, де вищі значення вказують на краще визначені кластери.

Кластер 1 («Високопродуктивні сорти»): сорт Г, сорт Б, сорт К мають високу урожайність, значну масу 1000 насінин і високий уміст білка. Окрім того, зазначені сорти є високорослими, мають велику кількість бобів, можливо, трохи менший уміст олії.

Кластер 2 («Середньопроодуктивні сорти з балансом якостей»): сорт Г, сорт Е, сорт З мають середні показники за більшістю ознак, збалансований уміст білка та олії.

Кластер 3 («Ранньостиглі»): сорт В, сорт Д, сорт А, сорт Ж мають меншу висоту рослин, меншу кількість бобів, меншу масу 1000 насінин, нижчу врожайність, можливо, вищий уміст олії.

Висновок.

На основі цього кластерного аналізу ми можемо ідентифікувати групи сортів сої зі схожими агрономічними характеристиками. Це дозволяє:

для сортів кожного кластера розробити специфічні агротехнічні заходи, що найкраще підходять їхнім характеристикам;

вибирати для схрещування сорти з різних кластерів для створення нових сортів із бажаними комбінаціями ознак.

Цей приклад демонструє, що кластерний аналіз може бути потужним інструментом для розуміння та управління генетичним різноманіттям сої на основі агрономічних даних. Звичайно, в реальному дослідженні використовується значно більший обсяг даних та більш складні статистичні програмні пакети.

Факторний аналіз

Факторний аналіз – це статистичний метод, який дає змогу зменшити розмірність даних, виявивши приховані, латентні фактори, що пояснюють кореляції між спостережуваними змінними. В контексті сої культурної факторний аналіз може допомогти виявити основні комплекси ознак (фактори), які характеризують екотип та адаптивний потенціал сортів.

Приклад. Вимірюємо шість показників для 10 сортів сої:

1) урожайність, ц/га;

2) маса 1000 насінин, г;

3) висота рослин, см;

4) стійкість проти вилягання (бал, 1 – низька стійкість...9 – висока стійкість);

5) стійкість проти посухи (бал, 1 – низька стійкість...9 – висока стійкість);

6) тривалість вегетаційного періоду, діб.

Вихідні дані:

Сорт	Урожайність, ц/га	Маса 1000 насінин, г	Висота рослин, см	Стійкість проти вилягання, бал	Стійкість проти посухи, бал	Тривалість вегетації, діб
1	35	160	85	8	7	120
2	32	155	90	7	6	125
3	40	170	80	9	8	115
4	30	150	95	6	5	130
5	38	165	78	9	7	118
6	33	158	88	7	6	122
7	36	162	82	8	7	119
8	31	152	92	6	5	128
9	39	168	79	9	8	116
10	34	156	87	7	6	123

Для проведення факторного аналізу зазвичай використовують спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, Statistica, SPSS, R, Python з бібліотеками Scikit-learn, SciPy).

Результати факторного аналізу:

Показники	Фактор 1	Фактор 2	Унікальність
Урожайність, ц/га	0,85	0,15	0,25
Маса 1000 насінин, г	0,80	0,10	0,35
Висота рослини, см	-0,20	0,75	0,38
Стійкість проти вилягання, бал	0,70	0,30	0,49
Стійкість проти посухи, бал	0,78	0,25	0,33
Тривалість вегетації, діб	0,10	-0,88	0,22

Фактор 1 – 45% від загальної дисперсії;

Фактор 2 – 30% від загальної дисперсії;

Дисперсія – 75%.

Інтерпретація результатів.

Фактор 1 («Продуктивність та адаптивність») – урожайність (0,85), маса 1000 насінин (0,80), стійкість проти вилягання (0,70), стійкість проти посухи (0,78). Цей фактор об'єднує показники, що характеризують загальну продуктивність сорту та його стійкість проти несприятливих умов. Сорти з високими значеннями за цим фактором будуть високопродуктивними та добре адаптованими до умов навколишнього середовища.

Фактор 2 («Морфологічний розвиток та скоростиглість») – висота рослини (0,75), тривалість вегетаційного періоду (-0,88). Цей фактор відображає морфологічні особливості рослини та її скоростиглість. Сорти з високими позитивними значеннями за цим фактором зазвичай вищі, але мають коротший вегетаційний період (оскільки негативна кореляція з тривалістю вегетації означає, що вищі значення фактора від-

повідують меншій тривалості). Це може бути пов'язано з інтенсивним ростом та прискореним дозріванням.

Два виявлені фактори спільно пояснюють 75% загальної варіації даних, що є досить високим значенням і свідчить про хорошу здатність факторів аналізувати вихідні показники.

Унікальність – показник (також відомий як унікальна дисперсія) показує частку дисперсії змінної, яка не пояснюється виділеними факторами. Наприклад, для врожайності унікальність становить 0,25. Це означає, що 75% варіабельності врожайності пояснюються двома факторами, а 25% – специфічними факторами, які не були виявлені або є помилкою вимірювання.

Факторний аналіз дозволяє зменшити кількість змінних. Замість шести окремих показників можна працювати з двома основними факторами, що значно спрощує подальший аналіз та інтерпретацію. Окрім того, фактори «Продуктивність та адаптивність» і «Морфологічний розвиток та скоростиглість» є прихованими вимірами, які краще відображають екотипові особливості сортів, ніж окремі показники. Знаючи факторні оцінки для кожного сорту, ми можемо позиціонувати їх у факторному просторі. Наприклад, сорти з високими оцінками за Фактором 1 є найбільш адаптованими та продуктивними, тоді як сорти з високими оцінками за Фактором 2 є скоростиглими з певними морфологічними характеристиками. Якщо метою селекційних досліджень є створення продуктивних та посухостійких сортів, селекціонер може орієнтуватися на збільшення значень ознак, що сильно навантажують Фактор 1.

Отже, факторний аналіз є потужним інструментом для розуміння складної взаємодії ознак і виявлення ключових параметрів, що визначають екотип та адаптивний потенціал сортів, зокрема сої культурної.

7. ОЦІНЮВАННЯ МОРФОБІОЛОГІЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК НА ПРИКЛАДІ СОРТІВ КУКУРУДЗИ ЗВИЧАЙНОЇ

Протягом вегетаційного періоду проводяться регулярні обліки та спостереження за ростом і розвитком рослин, що дозволяє оцінити їхню реакцію на конкретні екологічні умови:

- фенологічні спостереження: сходи, 3–5 листків, викидання волоті, цвітіння, молочна, воскова, повна стиглість – дає змогу оцінити тривалість вегетаційного періоду та його залежність від умов середовища;

- морфометричні вимірювання: визначення висоти рослин, кількості листків, розміру листової пластинки, діаметра стебла, висоти прикріплення качана та інших морфологічних показників на різних етапах розвитку;

- оцінювання стійкості проти стресових факторів: візуальна оцінка та бальна шкала для визначення рівня ураження рослин основними хворобами та шкідниками, а також стійкості проти посухи, високих температур, вилягання тощо;

- визначення елементів структури врожаю: облік густоти стояння рослин перед збиранням, кількості качанів на рослині, довжини та діаметра качана, кількості рядів зерен у качані, кількості зерен у ряду, маси 1000 зерен.

Критичними фазами розвитку кукурудзи є: перша (2–3 і 3–5 листків), коли закладається потенціал врожайності (кількість качанів і зерен), і друга (7–8 листків), коли відбувається інтенсивний ріст і формування качанів та зерна. Також важливими є стадія сходів, коли проростки чутливі до низьких температур, та репродуктивні фази, коли відбувається формування генеративних органів і налив зерна.

Описова статистика

Для кожного показника (урожайність, елементи структури врожаю, якість зерна, морфометричні ознаки) в кожному дослідному варіанті (сорт у конкретному екологічному середовищі) розраховують середнє значення (\bar{X}), стандартне відхилення (s), коефіцієнт варіації (CV), мінімальне та максимальне значення. Це дозволяє отримати первинне уявлення про розподіл даних та мінливість ознак.

Середнє значення:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

де:

\bar{X} – середнє значення;

$\sum X$ – сума всіх значень;

n – кількість значень.

Стандартне відхилення:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

де:

s – вибіркове стандартне відхилення;

x_i – значення елементів вибірки;

\bar{x} – середнє арифметичне значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці.

Коефіцієнт варіації:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

де:

CV – коефіцієнт варіації, виражений у відсотках;

s – стандартне відхилення;

\bar{x} – середнє арифметичне значення вибірки.

Визначення адаптивного потенціалу

Індекс пластичності (P_i) – відношення мінімального значення ознаки до максимального в різних зонах.

$$P_i = \frac{Y_{min}}{Y_{max}}$$

де:

Y_{min} – мінімальна врожайність сорту за зонами, т/га;

Y_{max} – максимальна врожайність за зонами, т/га.

Вихідні дані:

Сорт	Зона 1	Зона 2	Зона 3	Y_{min}	Y_{max}	P_i
A	9,0	12,0	10,5	9,0	12,0	0,75
B	7,5	13,0	12,5	7,5	13,0	0,58
C	10,0	10,2	10,1	10,0	10,2	0,98

Інтерпретація результатів.

Сорт С має найвищу пластичність (0,98) у всіх зонах вирощування, здатний забезпечити стабільно високу продуктивність.

Сорти А і В менш пластичні (0,75 і 0,58 відповідно), що свідчить про значний вплив умов зони вирощування на їхню продуктивність.

Індекс стабільності (S_i) – варіація врожайності у різних умовах.

$$S_i = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

де:

σ – стандартне відхилення;

\bar{X} – середнє значення врожайності за зонами.

Приклади визначення індексу стабільності для сортів А і С.

Урожайність для сорту А: Степ – 9,0 т/га; Лісостеп – 12,0 т/га; Полісся – 10,5 т/га.

$$\bar{X} = \frac{9,0 + 12,0 + 10,5}{3} = 10,5$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(9,0 - 10,5)^2 + (12,0 - 10,5)^2 + (10,5 - 10,5)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2,25 + 2,25 + 0}{3}} \\ = \sqrt{1,5} \approx 1,225$$

$$S_i = \frac{1,225}{10,5} \cdot 100\% \approx 11,7\%$$

Урожайність для сорту С: Степ – 10,0 т/га; Лісостеп – 10,2 т/га; Полісся – 10,1 т/га.

$$\bar{X} = \frac{10,0 + 10,2 + 10,1}{3} = 10,1$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(10,0 - 10,1)^2 + (10,2 - 10,1)^2 + (10,1 - 10,1)^2}{3}} \approx 0,0816$$

$$S_i = \frac{0,0816}{10,1} \cdot 100\% \approx 0,81\%$$

Інтерпретація результатів.

Чим менший показник S_p , тим стабільніший сорт. За отриманими розрахунками, сорт С – дуже стабільний ($S_i \approx 0,81\%$), а сорт А – помірно стабільний ($S_i \approx 11,7\%$).

Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Багатофакторний дисперсійний аналіз. Застосовується для оцінювання впливу декількох факторів (наприклад, сорт, рік, місце дослідження) та їхньої взаємодії на досліджувані показники.

Однофакторний дисперсійний аналіз. Застосовується для порівняння середніх значень одного показника між різними групами (наприклад, між різними сортами в межах одного дослідного року та місця).

Визначення статистичної значущості відмінностей. За результатами ANOVA визначається F-критерій і відповідне р-значення. Якщо р-значення менше від обраного рівня значущості (зазвичай $\alpha = 0,05$), то відмінності між середніми значеннями вважаються статистично значущими.

Приклад дисперсійного аналізу (ANOVA) для оцінювання впливу сорту кукурудзи на врожайність, проведеного у трьох повтореннях для трьох сортів.

Вихідні дані: урожайність, т/га

Сорт	Повторення 1	Повторення 2	Повторення 3	Середнє
Кукурудза А	9,0	9,2	9,1	9,1
Кукурудза В	8,5	8,3	8,4	8,4
Кукурудза С	9,6	9,7	9,8	9,7

Загальне середнє:

$$\bar{X}_{\text{зар}} = \frac{9,0 + 9,2 + 9,1 + 8,5 + 8,3 + 8,4 + 9,6 + 9,7 + 9,8}{9} = \frac{81,6}{9} = 9,07 \text{ т/га}$$

Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Сума квадратів між групами (SSB):

$$SSB = n \cdot \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X}_{\text{зар}})^2$$

де:

n – кількість повторень;

\bar{X}_i – середнє по сорту.

$$SSB = 3 \cdot [(9,1 - 9,07)^2 + (8,4 - 9,07)^2 + (9,7 - 9,07)^2] = 3 \cdot [0,001 + 0,4489 + 3969] = 3 \cdot 0,8468 = 2,5404$$

Сума квадратів усередині груп (SSE):

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

Для сорту А: $(9,0-9,1)^2+(9,2-9,1)^2+(9,1-9,1)^2=0,01+0,01+0=0,02$

Для сорту В: $(8,5-8,4)^2+(8,3-8,4)^2+(8,4-8,4)^2=0,01+0,01+0=0,02$

Для сорту С: $(9,6-9,7)^2+(9,7-9,7)^2+(9,8-9,7)^2=0,01+0,0+0,1=0,02$

$$SSE = 0,02+0,02+0,02=0,06$$

Загальна сума квадратів (SST):

$$SST = SSB + SSE = 2,5404 + 0,06 = 2,6004$$

Результати дисперсійного аналізу ANOVA:

Джерело варіації	SS	df	MS	F
Між сортами	2,5404	2	1,2702	63,51
Усередині груп	0,06	6	0,01	—
Загальна	2,6004	8	—	—

Висновок.

Критичне значення F використовується в дисперсійному аналізі (ANOVA), щоб визначити, чи є різниця між середніми значеннями груп

статистично значущою або випадковою. Якщо розрахункове значення F більше, ніж критичне, тоді нульова гіпотеза відкидається.

$df_1 = 2$ – ступінь свободи чисельника;

$df_2 = 6$ – ступінь свободи знаменника;

$\alpha = 0,05$ – рівень значущості.

Критичне значення $F \approx 5,14$

$F = 63,51 > 5,14 \rightarrow$ відмінності між сортами статистично значущі.

Тобто сорт має вплив на урожайність кукурудзи.

Кореляційний аналіз

Кореляційний аналіз використовують для оцінювання ступеня та сили лінійного зв'язку між досліджуваними показниками (наприклад, між врожайністю та сумою активних температур, між вмістом білка та кількістю опадів).

Приклад кореляційного аналізу для оцінювання взаємозв'язку між урожайністю сортів кукурудзи та агрокліматичними факторами (кількістю опадів і середньою температурою повітря під час вегетації) для шести сортів.

Вихідні дані:

Сорт	Урожайність (Y), т/га	Опади (X_1), мм	Температура (X_2), °C
A	10,5	350	21,0
B	12,0	420	20,0
C	9,5	310	22,5
D	11,0	380	21,5
E	13,0	450	20,0
F	8,5	290	23,0

Розрахунок парних коефіцієнтів кореляції (r).

Кореляційний зв'язок між Y (урожайність) та X_1 (опади):

$r(Y, X_1) = 0,96$ – дуже сильний позитивний зв'язок.

Кореляційний зв'язок між Y (урожайність) та X_2 (температура):

$r(Y, X_2) = -0,94$ – сильний зворотний зв'язок.

Опади позитивно впливають на врожайність – чим більше опадів, тим вища врожайність.

Вплив температури має зворотний зв'язок – за підвищення температури врожайність знижується (можливо, через перегрівання повітря, ґрунту або дефіцит вологи).

Регресійний аналіз

Регресійний аналіз використовують для встановлення математичної функції, яка описує залежність однієї змінної (залежної) від однієї або кількох інших змінних (незалежних, екологічних факторів).

Приклад реляційного аналізу для оцінювання сортів кукурудзи, з урахуванням показників урожайності, опадів і температури.

Вихідні дані:

Сорт	Урожайність (Y), т/га	Опади (X ₁), мм	Температура (X ₂), °C
A	10,2	320	21,0
B	11,5	400	20,0
C	9,0	280	23,0
D	12,0	420	19,5
E	8,5	260	24,0

Встановлення кореляції між змінними.

Використовується формула Пірсона:

$$r_{XY} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Обчислені результати.

Між урожайністю та опадами (Y, X₁):

$r(Y, X_1) = 0,987$ – дуже сильний позитивний зв'язок.

Між урожайністю та температурою (Y, X₂):

$r(Y, X_2) = -0,983$ – дуже сильний позитивний зв'язок.

Реляційний (кореляційний) аналіз показав, що опади – ключовий позитивний чинник адаптивності сорту, тоді як температура за перевищення 22–23 °C – негативний.

Кластерний аналіз

Кластеризація дозволяє виявити подібні за характеристиками сорти та згрупувати їх.

Приклад оцінювання шести сортів кукурудзи за двома основними показниками: врожайністю та вологовіддачею зерна під час дозрівання.

Вихідні дані:

Сорт	Урожайність (т/га)	Вологовіддача зерна (%)
A	11,2	21,0
B	12,5	20,5
C	7,5	15,0
D	7,8	15,5
E	10,0	19,0
F	8,0	16,0

Обробку даних проведено за методом К-середніх або агломеративної кластеризації, які передбачають нормалізацію даних, обчислення відстаней між сортами (евклідова відстань) і групування сортів.

Кластер 1 – сорти з високою урожайністю та середньою вологовіддачею:

A (урожайність – 11,2 т/га; вологовіддача – 21%);

B (урожайність – 12,5 т/га; вологовіддача – 20,5%);

E (урожайність – 10,0 т/га; вологовіддача – 19,0%).

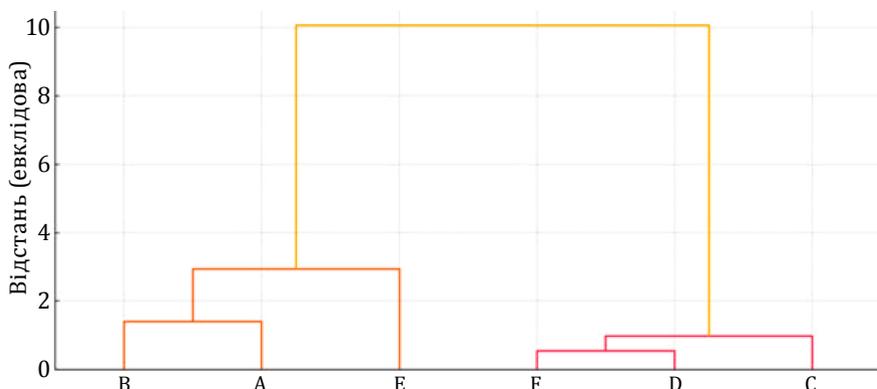


Рис. 7 – Дендрограма розподілу сортів кукурудзи звичайної за врожайністю та вологовіддачею

Кластер 2 – сорти з низькою урожайністю та низькою вологовіддачею:
C (урожайність – 7,5 т/га; вологовіддача – 15,0%);
D (урожайність – 7,8 т/га; вологовіддача – 15,5%);
F (урожайність – 8,0 т/га; вологовіддача – 16,0%).

Інтерпретація.

Кластер 1 – потенційно продуктивні сорти для інтенсивного вирощування в регіонах із достатнім зволоженням або на зрошенні.

Кластер 2 – сорти з нижчим потенціалом, але, можливо, стійкіші проти стресових умов, придатні для зон з обмеженим ресурсом вологи.

Бібліографія

1. Андронакі А. Б. Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності вики. Умань. 2019. С. 7–8.
2. Андронакі А. Б. Агрокліматичні особливості формування врожайності вики ярої в умовах змін клімату. Одеса. 2019. С. 33–34.
3. Адаптивні технології вирощування круп'яних культур. / за ред. С. П. Полторецького, В. Я. Білоножка. Умань: Сочінський М. М., 2018. Ч. 1. Гречка. 174 с.
4. Біологічне рослинництво: Навч. посібник /О. І. Зінченка, О. С. Алексеєва, П. М. Приходько та ін., за ред. О. І. Зінченка. – К.: Вища шк., 1996. – 239 с.
5. Голодна А. В., Яблонська В. В. Урожайність та якість зерна люпину вузьколистого за вирощування в зоні західного Полісся. Землеробство. 2014. Вип. 1/2. С. 88–91.
6. Демидась Г. І., Коваленко В. П. Динаміка наростання листкової поверхні на фотосинтетичний потенціал післяукісних посівів. Корми і кормовиробництво. 2013. Вип. 51. С. 189–192.
7. Димитров В. Г. Формування продуктивності сої залежно від біологічних особливостей та оптимізації елементів технології вирощування в умовах Лісостепу України. 2018. 61 с.
8. Ільчук Р. В. Основні закономірності продуктивності і якості сортів картоплі різних груп стиглості. Картоплярство України. 2011. № 1/2 (22/23). С. 38–48
9. Каленська С. М., Кнап Н. В. Стан та перспективи виробництва картоплі в світі та в Україні. Зб. наук. праць Вінницького нац. аграрного ун-ту. 2012. Вип. 4 (63). С. 41–48.
10. Кух М. В., Яланський О. В. Перспективи вирощування сорго зернового в умовах південно-західної частини Лісостепу України. Зб. наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету. 2011. Вип. 19. С. 112–116.
11. Маренич М. М., Веревська О. В., Шкурко В. С. Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур. Полтава: СІМОН. 2011. 120 с.
12. Мазур В. А., Панцирева Г. В., Дідур І. М., Прокопчук В. М. Люпин білий. Генетичний потенціал та його реалізація у сільськогосподарське виробництво. Вінниця. 2018. 231 с.
13. Рослинництво: Підручник / За ред. О.І. Зінченка. – К.: Аграрна освіта, 2001. 59 с.
14. Рослинництво з основами програмування врожаю /О. Г. Жатов, Л. Т. Глушенко, Г. О. Жатова та ін.; За ред. О. Г. Жатова. – К.: Урожай, 1995. 256 с.
15. Харченко О. В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур: Навчальний посібник /За ред. В. О. Ушкаренка. – 2-е вид., перероб. і доп. Суми: ВТД “Університетська книга”, 2003. – 296 с.
16. Харченко О. В., Прасол В. І., Кравченко С. М. Агроекономічні і екологічні основи програмування та програмування урожайності сільськогосподарських культур. Суми : Університетська книга. 2013. 237 с.
17. Щербачов В. Я. Збірник агрономічних задач з рослинництва: (умови і розв'язання). К.: Урожай. 1999. 176 с.
18. Яценко А. О., Полторецький С. П., Полторецька Н. М. Методичні вказівки для виконання практичних, самостійних робіт і розрахункового розділу з курсового проекту з «Рослинництва» Основи програмування врожайності польових культур / Уманський НУС: Редакційно-видавничий відділ, 2019. 58 с.
19. Poltoretskyi S. P. Agrobiological basis of high-quality millet seed formation. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 124 p.

20. Tarariko O., Iliencko T., Kuchma T., Novakovska I. Satellite agroecological monitoring within the system of sustainable environmental management. *Agricultural Science and Practice*. 2019. Vol. 6, № 1. P. 18–27. <https://doi.org/10.15407/agrisp6.01.018>
21. Gu Y., Brown J. F., Verdin J. P., Wardlow B. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. Iss. 6. L06407. <https://doi.org/10.1029/2006GL029127>
22. Amalo L. F., Ma'rufah U., Permatasari P. A. Monitoring 2015 drought in West Java using Normalized Difference Water Index (NDWI). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 149, № 1. 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012007>
23. Antognelli S. NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use. 2018. URL: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>
24. Inmon WH. Building the data warehouse [M]. 4th ed. [S.l.], New York: Wiley, 2005.
25. Kimball Ralph, Ross Margy 1996, The Data Warehouse Toolkit : the complete guide to dimensional modeling, New York: John Wiley & Sons, Inc. 449 p.
26. Kimball R., Reeves L., Ross M., and Thornthwaite W.. The Data Warehouse Lifecycle Toolkit: Expert Methods for Designing, Developing and Deploying Data Warehouses. (John Wiley & Sons, Chichester, 1998). 564 p.
27. Морозов В. В., Лисогоров К. С., Шапоринська Н. М. Геоінформаційні системи в агросфері: Навч. Посібник. Херсон. Вид-во ХДУ. 2007. 223 с.
28. Zakharchenko E., Datsko O., Mishchenko Y., Melnyk A., Kriuchko L., Riezniak S., Hotvianska A. Efficiency of biofertilizers when growing corn for grain. *Modern Phytomorphology*. 2023. Vol. 17 (2). P. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2023-17-200117>
29. Ратушний Б. В. Досвід США у застосуванні технологій точного землеробства в аграрному секторі. Актуальні проблеми розвитку економіки регіону. 2025. Вип. 21. Т. 2. С. 23–37. DOI: <https://doi.org/10.15330/apred.2.21.23-37>
30. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
31. Increasing Ukraine's vulnerability to climate change. <https://www.chathamhouse.org/2023/09/consequences-russias-war-ukraine-climate-action-foodsupply-and-energy-security/02> (Дата звернення 22.04.2024)

Наукове видання

**Методичні рекомендації щодо застосування метеорологічних даних
під час оцінювання результатів кваліфікаційної експертизи**

Методичні рекомендації схвалено та рекомендовано до опублікування
в електронному форматі Вченою радою
Українського інституту експертизи сортів рослин
(*протокол № 15 від 23.12.2025 року*)

Рецензенти:

Лозінський М. В., доктор с.-г. наук, професор,
Білоцерківський національний аграрний університет;
Клименко Н. А., доцент, канд. екон. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Електронне видання

Технічний редактор: *І. В. Коховська*
Комп'ютерне верстання *Н. О. Бойко*
Формат: PDF. Гарнітура *OfficinaSans*.

Видавець і виготовлювач

Український інститут експертизи сортів рослин
03041, м. Київ, вул. Горіхуватський шлях, 15
Тел.: (044) 290-40-45; e-mail: sops@i.ua
<https://www.sops.gov.ua>
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5616 від 25.09.2017

