

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ СТАТИСТИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ РЕЗУЛЬТАТІВ БАГАТОРІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З АГРОНОМІЇ

Ю.П. Манько, доктор сільськогосподарських наук, професор

Викладено аналіз сучасних методик статистичного оцінювання результатів багаторічних наукових досліджень в агрономії з визначенням їх диференційованого застосування в практиці дослідної справи.

Статистика, середня арифметична величина, середня квадратична величина, дисперсійний аналіз, факторний спосіб, коефіцієнт варіації, стабільність.

За тривалістю проведення агрономічні польові досліді поділені на розвідувальні (1–2 роки), короткострокові (3–10 років), багаторічні (11–50 років) і тривалі (понад 50 років) [2]. Найбільше наукове й практичне значення мають багаторічні дослідження, оскільки на їх результати суттєво впливають погодні умови, а частка варіювання досліджуваних в агрономії показників, обумовлена їх впливом, нерідко становить до 70–80 %. Тому якість та адекватність територіального адресування практичних рекомендацій виробництву, складених за результатами наукових досліджень, залежить від об'єктивного оцінювання їх варіювання під впливом дослідних факторів, строкатості родючості ґрунту, погодних умов та помилок.

Характерною особливістю статистичного аналізу багаторічних дослідів стає обумовленість залишкового варіювання (помилки) не тільки випадковими причинами, пов'язаними з екологічною й генетичною строкатістю об'єктів досліджень, а й взаємодією з умовами різних років. Тому зміст аналізу як стаціонарних, так і нестаціонарних дослідів повинен об'єднувати такі завдання:

- 1) агрономічне оцінювання й статистичний аналіз даних у межах кожного року;
- 2) агрономічне оцінювання багаторічних даних з групуванням їх за ознаками погодних умов;
- 3) статистична характеристика точності багаторічних середніх дослідів та оцінювання істотної різниці між ними за весь період і за окремі частини, схожі за погодними умовами;
- 4) статистичний аналіз взаємодії досліджених варіантів дослідів з погодними умовами.

Виконання перелічених завдань буде запорукою для конструктивних рекомендацій виробництва, які знайдуть достовірне відтворення в практиці.

Варто зауважити, що для аналізу однорічних даних методичний алгоритм достатньо опрацьований, а існуючий методичний ресурс для статистичної експертизи даних багаторічних і короткострокових агрономічних дослідів налічує ряд різних підходів, застосування яких вимагає диференціації та удосконалення.

Мета дослідження – проаналізувати існуючі методики статистичного аналізу даних багаторічних і короткострокових польових дослідів та вдосконалити їх застосування.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктами проведеного нами аналізу стали відомі методики статистичної експертизи даних багаторічних польових дослідів:

1. За методикою перетворення повторності в часі у фактор схеми дослідів, запропонованою І. П. Васильєвим і описаною А. С. Цигуткіним [7];
2. За методикою Б. О. Доспехова з використанням річних даних у якості повторень;
3. За середньою арифметичною величиною критерію найменшої істотної різниці точності;
4. За методикою, запропонованою В. І. Короневським [3];
5. За методикою описаною А. С. Станцявічюсом [6].

Дослідження виконане методом порівняльного аналізу за визначеною переліченими методиками величиною критерію найменшої істотної різниці $НІР_{05}$.

Окрім того, здійснена адаптація методик визначення стабільності досліджуваних ознак у польових дослідях різної тривалості.

Результати дослідження та їх аналіз. Серед названих методик визначення критерію найменшої істотної різниці між середніми багаторічними показниками досліджуваних ознак безперечною методичною спроможністю відрізняється методика перетворення повторності в часі у фактор схеми дослідів. За цієї методики в результаті дисперсійного аналізу загальне варіювання ознаки розкладають на всі можливі складові впливи на неї: дослідних варіантів, строкатості ґрунтової родючості (повторень), погодних умов у роки досліджень, взаємодії між факторами, помилок. Цю методику ми обрали за контрольну, з якою порівнюємо інші.

Для прикладу визначимо $НІР_{05}$ вказаними методиками за даними урожайності коренеплодів буряків цукрових у польовому досліді з вивчення основного обробітку в сівозміні. У таблиці 1 показане розміщення експериментальної інформації для використання методики перетворення повторень в часі у фактор.

1. Урожайність коренеплодів буряків цукрових у польовому досліді, середнє значення за 1990–1992 рр.

Варіанти дослідів		Урожайність у повтореннях, т/га				середньому за повторення
Фактор А, обробіток ґрунту в сівозміні	Фактор Б, роки	1	2	3	4	
Полицевий	1990	42,8	43,3	43,3	42,6	43
	1991	38,0	38,9	39,8	38,6	38,8
	1992	38,9	45,5	43,9	56,0	46,1
Плоскорізний	1990	42,1	41,4	42,6	41,4	41,9
	1991	37,3	35,4	36,3	34,3	35,8
	1992	42,7	40,9	45,0	46,0	43,6
Полицево-безполицевий	1990	43,7	44,2	44,6	44,7	44,3
	1991	41,0	39,1	42,6	41,7	41,1
	1992	39,2	48,0	51,8	41,0	45,0
Поверхневий	1990	39,5	39,1	38,6	38,9	39,0
	1991	34,9	33,1	34,5	33,8	34,1

Полицево-чизельний	1992	38,5	39,5	54,7	44,2	44,3
	1990	43,0	42,8	43,7	43,2	43,2
	1991	37,5	39,6	39,1	38,7	38,7
Диференційований	1992	51,7	56,5	48,4	52,2	52,2
	1990	41,9	41,2	41,4	41,5	41,5
	1991	37,7	38,4	37,3	37,8	37,8
Чизельний	1992	55,4	59,4	46,2	53,7	53,7
	1990	41,9	42,1	42,1	42,2	42,2
	1991	38,6	38,0	39,1	38,6	38,6
	1992	52,4	48,1	48,9	49,8	49,8

Після проведення дисперсійного аналізу даних двофакторного дослідження багаторічну величину $НІР_{05}$ для взаємодії факторів за цією методикою розрахуємо так:

$$НІР_{05} = t_{05} \cdot 1,41 \cdot S\bar{x} \%,$$

де t_{05} – критерій істотності Стюдента, знайдений у таблиці за числами ступенів свободи $n-1=4-1=3$ (n – число повторностей) $t_{05} = 3,18$;

1,41 – коефіцієнт, рівний $\sqrt{2}$, який свідчить про порівняння двох варіантів;

$S\bar{x} \%$ – точність проведених спостережень $= \sqrt{S_z^2/n} \cdot 100/\bar{x}$ (S_z^2 – середня дисперсія обумовлена помилками, визначена дисперсійним аналізом $= 3,76$);

$\bar{x}$ – середня урожайність усього дослідження $= 42,6$ т/га;

$S\bar{x} \%=2,3\%$.

$НІР_{05}=3,18 \cdot 1,41 \cdot 2,3=10,3\%$

2. Для розрахунку середньої багаторічної величини $НІР_{05}$ за методикою Б. О. Доспехова ту ж експериментальну інформацію подано в таблиці 2.

2. Урожайність коренеплодів буряків цукрових у польовому досліді, 1990–1992 рр.

Обробіток ґрунту в сівозміні	Урожайність коренеплодів у роки, т/га			У середньому за три роки, т/га
	1990	1991	1992	
Полицевий	43,0	38,8	46,1	42,6
Плоскорізний	41,9	35,8	43,6	40,4
Полицево-безполицевий	44,3	41,1	45,0	43,5
Поверхневий	39,0	34,1	44,3	39,1
Полицево-чизельний	43,2	38,7	52,2	44,7
Диференційований	41,5	37,8	53,7	44,3
Чизельний	42,2	38,6	49,8	43,5
У середньому за роками	42,1	37,8	47,8	42,6
$НІР_{05}, \%$	1,4	3,6	16,7	7,2
$S\bar{x} \%$	0,47	1,23	5,6	1,75

Середню багаторічну величину $НІР_{05}$ за цією методикою розраховують після дисперсійного аналізу однофакторного дослідження, користуючись тією ж моделлю, що й у попередній методиці. Так, $t_{05} = 4,3$ за числа ступенів свободи $n - 1=3-1=2$ (n – кількість років, які перетворені в повторення), а

$$S\bar{x} \%= \sqrt{\frac{S_z^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,66}{3}} \cdot \frac{100}{42,6} = 1,75\%$$

Таким чином,

$$HIP_{05}=4.3 \cdot 1.41 \cdot 1.28 = 10.6 \%$$

Порівняно з контрольним варіантом методики, визначення середньої багаторічної величини HIP_{05} за методикою Б. О. Доспехова відрізняється збільшеним модулем у зв'язку з тим, що вплив строкатості ґрунтових умов за її застосування не виділяють і цей вплив переходить до помилки, збільшуючи її дисперсію. Ця методика може бути методично коректною під час проведення дослідів на вирівняній за родючістю ґрунту площі.

3. Очевидно, що за гіпотетичних умов абсолютної адекватності погоди в роки проведення дослідів і такої ж відповідності модулів досліджуваних показників за роками, методично спроможною була б методика розрахунку середньобагаторічного критерію HIP_{05} за середньою арифметичною величиною річних HIP_{05} .

$$HIP_{05 \text{ середньобагаторічне}} = \frac{HIP_{05}^1 + HIP_{05}^2 + \dots HIP_{05}^n}{n},$$

де $HIP_{05}^1 + HIP_{05}^2 + \dots HIP_{05}^n$ – річні показники.

Варіювання (V) погодних умов за роками часто має величину $\geq 30 \%$, тоді середня арифметична величина багаторічної HIP_{05} буває істотно заниженою, як трапилось у нашому випадку, $HIP_{05} = 7,2 \%$ (табл. 2)

4. Методика розрахунку середньої багаторічної величини критерію HIP_{05} , запропонована В. І. Короневським, орієнтує на визначення середньої квадратичної за моделлю:

$$HIP_{05 \text{ багаторічна}} = \sqrt{\frac{\sum^n HIP_{05}^2}{n}},$$

де $\sum^n HIP_{05}^2$ – сума квадратів річних величин критерію;
n – кількість років.

$$\text{У нашому випадку } HIP_{05 \text{ багаторічна}} = \sqrt{\frac{1,4^2 + 3,6^2 + 16,7^2}{3}} = 9,9 \%.$$

Наближення величини критерію HIP_{05} за цієї методики до контролю вказує на її методичну придатність, особливо за строкатих погодних умов і великого варіювання експериментальних даних за роки досліджень.

5. Істотне зменшення середньої багаторічної величини HIP_{05} , порівняно з контрольною методикою, спостерігаємо за використання для його розрахунку моделі запропонованої А. С. Станцявічусом. Спочатку визначають середню багаторічну точність спостережень (табл. 2)

$$S\bar{x} \% = \sqrt{\frac{\sum_1^n S\bar{x} \%^2}{n(l-1)}} = \sqrt{\frac{0,47^2 + 1,23^2 + 5,6^2}{4(3-1)}} = 2,03\%.$$

Потім визначають: $HIP_{05 \text{ багаторічна}} = t_{05} \cdot 1,41 \cdot S\bar{x} \% = 2,0 \cdot 1,41 \cdot 2,03 = 5,7 \%$.

Число ступенів свободи для віднайдення t_{05} розраховують так:

$$m \cdot n \cdot l - m - n - l + 2.$$

У цій моделі n – число повторень; l – число років; m – число варіантів.

Важливим статистичним показником господарської придатності опрацьованих у багаторічних агрономічних дослідах технологій є критерій стабільності величини дослідженої ознаки в часі, зокрема урожайності.

Стабільністю називають здатність системи зберігати в часі постійну величину певної ознаки. Класичним критерієм стабільності явища (ознаки) є коефіцієнт стабільності (Ст), який розраховують за різницею

$$Ст = 100 - V\%,$$

де V – коефіцієнт варіації, визначений варіаційним аналізом.

Методично спроможним є визначення величини V , а разом і стабільності, якщо варіаційний ряд даних об'єднує ≥ 30 років. Шкалою для оцінювання стабільності явища слугує ряд його модулів: $<80\%$ – низька стабільність; $80-90$ – середня; $>90\%$ – висока стабільність.

У методичному арсеналі визначення стабільності існують її варіанти, зокрема В. В. Кульбідом і Л. Т. Шевчуком [4] запропонований такий варіант алгоритму її розрахунку:

$$C_t = \bar{x} - \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n(n-1)}},$$

де C_t – стабільність;

$\bar{x}$ – середній показник за роки досліджень;

x – річні показники;

n – кількість років.

Коефіцієнт стабільності виражають у відсотках до середнього показника

$$K_{ct} = \frac{C_t \cdot 100}{\bar{x}}.$$

Важко цього алгоритму є необґрунтоване уявлення про стабільну частину ознаки явища як різницю між її середньою багаторічною величиною й однією величиною помилки. Таке уявлення призводить до віднесення всіх дослідних даних до високостабільних.

Методично обґрунтованим і разом з тим простим розрахунком стабільності може бути виявлення кількості років, у які досліджувана ознака істотно не відрізняється від середньої багаторічної її величини.

Для цього виявлення застосовують критерій достовірності Фішера [8] і середню багаторічну величину $НІР_{05}$, визначену за методикою дисперсійного аналізу з перетворенням років у фактор. Стабільністю в цьому разі слугує відносна частка років досліду, у які величина дослідної ознаки істотно не відрізняється від її середньої багаторічної величини. У нашому польовому досліді (табл. 2) з величиною середньої урожайності за 3 роки $42,6 \text{ т/га}$ і $НІР_{05} = 10,6\%$ середня річна урожайність коренеплодів в 1991 та 1992 роках істотно відрізнялась від середньої багаторічної, що свідчить про низьку її стабільність $C_t = 1 \cdot 100 / 3 = 33\%$.

Варіант полицево-безполицевого обробітку ґрунту виявив стабільність урожайності коренеплодів на 100% , бо всі 3 роки істотно не відрізнялись за врожайністю від середньої багаторічної величини ($C_t = 3 \cdot 100 / 3 = 100\%$). Така методика придатна й для статистичної експертизи стабільності ознак у короткострокових дослідях.

Для застосування в короткострокових дослідях придатні також методики розрахунку стабільності за Д. Левісом [5] і М. Мірошніченком [5].

Коефіцієнт стабільності Левіса (SF) є відношенням максимальної величини показника досліджуваної ознаки до мінімальної за роки проведених спостережень. Приймаючи істотним відхиленням від середнього показника за ці роки 10% , до високо стабільного відносять варіант досліду з величиною $SF = x_{\max} / x_{\min} = 1 - 1,1$, середньо стабільною – $>1,1 \div 1,2$ і низько стабільною – $> 1,2$. Урожайність коренеплодів буряків у досліді виявилась низько стабільною: $SF = 47,8 / 37,8 = 1,26$ (табл. 2), – а у варіанті полицево-безполицевого обробітку – середньою: $SF = 45,0 / 44,3 = 1,01$.

Для розрахунку коефіцієнта стабільності (еластичності) за М. Мірошніченком (Re) спочатку потрібно визначити відносні величини розмаху варіювання аргументу й функції за роки досліджень:

$$\Delta x = x_{\max} - x_{\min} / \bar{x};$$

$$\Delta y = y_{\max} - y_{\min} / \bar{y}.$$

Потім вирахувати критерій стабільності: $Re = \Delta x / \Delta y$.

Оцінювання стабільності явища з допомогою цього критерію слід провести за такою шкалою: $Re < 1$ – низька; $Re = 1$ – середня стабільність, система еластична, адекватно реагує на зміни аргументу; $Re > 1$ висока стабільність, система стійка до змін аргументу.

Наприклад, сума опадів за вегетаційний сезон (IV–IX) в умовах дослідної станції за 2002–2009 рр. коливалась від 444 мм ($x_{\max}$) до 198 мм ($x_{\min}$) за багаторічної норми 316,6 мм, $\Delta x = 0,78$. Продуктивність ріллі в польовому досліді змінювалась у ці роки від 10,7 т/га кормових одиниць ($y_{\max}$) до 5,9 т/га ($y_{\min}$) за середньої величини 8 т/га, $\Delta y = 0,6$. Отже, стабільність урожайності (еластичність) становить $Re = \Delta x / \Delta y = 0,78 / 0,6 = 1,3$, тобто висока.

Висновки. Сучасне методичне забезпечення статистичної експертизи результатів короткострокових і багаторічних польових досліджень з агрономії має достатню кількість методик, придатних для конкретних умов і особливостей їх проведення.

Для визначення середнього багаторічного критерію найменшої істотної різниці між дослідними варіантами пріоритетною виявилась методика дисперсійного аналізу з перетворенням років у додатковий фактор схеми досліді. В умовах значної строкатості погодних умов та експериментальних даних методична придатність властива й для методики розрахунку середнього квадратичного показника багаторічного критерію істотності різниць за В. І. Короневським.

За вирівняної родючості ґрунту й строкатих погодних умов можливе застосування методики Б. О. Доспехова, яка регламентує використання річних даних у якості повторень.

Визначення критерію стабільності показників досліджуваної ознаки у багаторічних дослідженнях слід проводити за методикою варіаційного аналізу. У короткострокових дослідіх критерій стабільності можна розрахувати за методиками дисперсійного аналізу Ебергарба і Рассела, а також за алгоритмами Д. Левіса та М. М. Мірошніченка.

Список літератури

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / А. Б. Доспехов. – М. : Колос. – 1965. – 422 с.
2. Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. В. Костириза. – К.: Дія, 2005 – 288 с.
3. Короневский В. И. К методике статистической обработки данных многолетних полевых опытов / В. И. Короневский // Земледелие. – 1985. – № 11. – С. 56–57
4. Кульбіда В. В. Методика визначення стабільності сільськогосподарського виробництва / В. В. Кульбіда, Л. Г. Шевчук // Сучасні методи досліджень в агрономії : тези доповідей міжнародної конференції 8–10 червня 1993 р. – Умань : Уманський сільськогосподарський інститут. – 1993. – С. 149–150.
5. Сич З. Д. Властивості коефіцієнтів стабільності ознак в динамічних рядах різної тривалості / З. Д. Сич // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2005. – № 2. – С. 5–20.
6. Станцявичус А. С. О методике статистической обработки данных многолетних полевых исследований в агрономии / А. С. Станцявичус // Тезисы научной конференции. – Барнаул : Алтайский СХИ, 1990. – С. 24.

7. Цыгуткин А. С. О возможности трансформации повторения во времени в дополнительный фактор схемы опыта / А. С. Цыгуткин // Агрохимия. – 2002. – № 2. – С. 77–85.

8. Eberhart S. A. Stability parameters for comaring varietiles / S. A. Eberhart, W. A. Russel // Crop. Sci. – 1966. – Vol. 6. – № 1. – P. 36–40.

Изложено анализ современных методик статистической оценки результатов многолетних научных исследований в агрономии с определением их дифференцированного применения в практике.

Статистика, средняя арифметическая величина, средняя квадратическая величина, дисперсионный анализ, факторный способ, коэффициент вариации, стабильность.

Outlined analysis of modern methods of statistical evaluation of the results of long-term research in agronomy from the definition of their differentiated application in practice of research affairs.

Statistics, the arithmetic mean value, the mean square value, analysis of variance, factor method, the coefficient of variation, stability.