

Е.Р.ЕРМАНТРАУТ – завідувач лабораторії математичних методів досліджень, доктор сільськогосподарських наук,
І.Л.ШЕВЧЕНКО – молодший науковий співробітник,
П.Б.НЕНИЧ, О.Й.ФЕДИШИН – аспіранти

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Головне завдання науки – це передбачення подій, глибокий аналіз можливих наслідків, пошук нових напрямків та методів досліджень, створення сучасної теорії.

За наявності сучасної електронно-обчислювальної техніки математичні методи використовуються на всіх етапах наукових досліджень – від планування експерименту, контролю за його виконанням, аналізу та інтерпретації результатів до впровадження результатів у технологічні процеси.

З названих вище питань в цій статті розглядаються методи аналізу та інтерпретації результатів досліджень, які дозволяють: істотно зменшити обсяг вихідної інформації, визначити межі їх істотності та точності; показати структуру діючих факторів, їх взаємозв'язки, методи програмування дії факторів, створити та управляти базою даних.

Розглянемо цю низку питань.

Кількісна мінливість – характеризує об'єкти, що можна виміряти, зважити, поррахувати. Основними статистичними характеристиками кількісної мінливості є середня арифметична (\bar{x}), дисперсія (s^2), стандартне відхилення (s), помилка середньої арифметичної (Sx), коефіцієнт варіації (V), відносна помилка вибіркової середньої ($Sx\%$) і довірчий інтервал середньої арифметичної на певному рівні ймовірності або значущості.

Головними з них є середня арифметична (\bar{x}) та стандартне відхилення (s).

Для прикладу розглянемо дані про ступінь забур'яненості посівів цукрових буряків у варіантах без застосування гербіцидів та при їх внесенні. Інтерпретація результатів, що видає прикладна програма на персональному комп'ютері, подана в табл. 1.

Висновок: За рахунок внесення гербіцидів істотно знизилась забур'яненість посівів озимої пшениці (в середньому на 55,3 шт/м² або на 95%). Різниця між середніми істотна, бо $t_{\phi} > t_{05}$.

В обох випадках строкатість даних висока ($V > 20\%$), точність дослідження – задовільна ($S_{\text{пл}}$ в межах 5-8%), довірчий інтервал рівня забур'яненості посівів озимої пшениці на 5% рівні значущості на контролі і при внесенні гербіцидів коливається відповідно в межах: 49,8-66,8 і 2,5-3,5 шт/м².

Отже, за рахунок методу можна скоротити кількість показників з 10 (а якщо вибірка велика, то ще більше) до 1, при цьому зберігається повна інформативність про всю вибірку.

Якісна мінливість характеризує внутрішню структуру кількісної мінливості.

Основними статистичними характеристиками Π є частки якісних ознак ($p_1, p_2 \dots p_n$), стандартне відхилення (S), помилка частки (S_p), коефіцієнт варіації (V) і довірчий інтервал частки на певному рівні ймовірності або значущості.

Прикладом може бути аналіз ефективності дії препаратів Фурадану та Гаучо (відповідно 45 та 65 г/ посівну одиницю цукрових буряків) на строки захисту сходів цукрових буряків (табл. 2).

Висновок:

Між показниками, що характеризують час застосування пестицидів різниця була:

- істотною - у варіантах, де обліки проводили на 7 і 17 день – $t_{\phi} > t_{05}$,
- не істотною - у варіанті, де обліки проводили в перший день.

Таблиця 1. Статистичні показники кількісної мінливості

Назва показника	Формула	Варіант	
		без гербіцидів	з гербіцидами
1. Кількість показників у виборці	n	10	10
2. Критерій Стьюдента, t_{05}	$t_{05} = 1,97 + 4,17 \cdot (n-1)^{-0,2}$	2.18	2.18
3. Середня арифметична	$\bar{x} = \sum X / n$	58.3	3.0
4. Дисперсія	$s^2 = \sum (x - \bar{x})^2 / (n - 1)$	153.8	0.4
5. Стандартне відхилення	$s = \sqrt{s^2}$	12.4	0.7
6. Коефіцієнт варіації	$V = s \cdot 100 / \bar{x}$	21.3	22.2
7. Помилка середньої арифметичної	$S_x = s / \sqrt{n}$	3.9	0.2
8. Точність дослідження	$S_x \% = S_x \cdot 100 / \bar{x}$	6.7	7.0
9. Довірчий інтервал на 5% рівні значущості (нижча та вища межі)	$\bar{x} \pm t_{05} S_x$	49.8-66.8	2.5-3.5
10. Різниця між середніми	$d = x_1 - x_2$	55.3	
11. Помилка різниці	$s_d = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$	3.9	
12. Критерій істотності: t_d Порівняння t_d і t_{05}	$t_d = d / s_d$ $t_d > t_{05}$	14.1	

На підставі отриманих даних якісної мінливості можна побудувати діаграму (рис. 1).

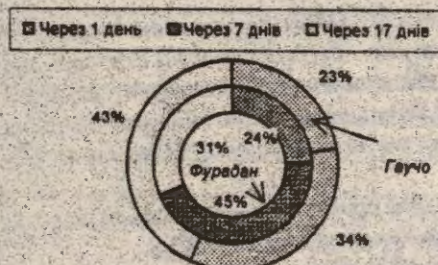


Рис. 1. Ефективність дії інсектицидів, %

Дисперсійний аналіз використовується для загальної оцінки дослідження і варіантів, що вивчаються, визначення частки впливу окремих факторів та їх взаємодії, точності дослідження, достовірності різниці між варіантами.

Таблиця 2. Ефективність дії інсектицидів на сірого бурякового довгоносика
(Дані лабораторії захисту цукрових буряків від шкідників і хвороб, 1997 рік)

Показник	Формула	Варіанти		Різниця до фурадану
		фурадан, 30 л/т	гаучо, 65 л/т	
Критерій Стьюдента	t_{01}	1,98	1,98	x
Фактичний критерій	t_{01}			-0,46
	t_{02}			-2,56
	t_{03}			926,87
Ефективність (у %) через:				
1 день	n_1	27,5	37,5	10,0
7 днів	n_2	50,0	56,9	6,9
17 днів	n_3	35,3	71,8	36,5
Всього	N	112,8	166,2	x
Частка першого показника	$p_1 = n_1/N$	0,24	0,23	-0,02
Частка другого показника	$p_2 = n_2/N$	0,44	0,34	-0,10
Частка третього показника	$p_3 = n_3/N$	0,31	0,43	0,12
Стандартне відхилення	$s = \sqrt{p_1 p_2 p_3}$	0,32	0,32	x
Коефіцієнт варіації	$Vp = S^2 \cdot 100 / \bar{m}$	0,98	0,98	x
Помилка частки	$s_p = s / \sqrt{N}$	0,03	0,02	
Довірчий інтервал	$p_1 \pm t_{01} s_p$	0,18	0,18	
	$p_2 \pm t_{02} s_p$	0,30	0,28	
	$p_3 \pm t_{03} s_p$	0,38	0,29	
	$p_3 \pm t_{03} s_p$	0,50	0,39	
		0,25	0,38	
		0,37	0,48	

Суть дисперсійного аналізу полягає у розкладанні загальної суми квадратів (S_y) та загального ступеня волі на складові, які відповідають структурі експерименту, визначенні середніх квадратів (дисперсій s^2) та відношення їх до дисперсії залишку (F_{01}), порівнянні фактичного та теоретичного відношення (F_{01} та F_{02}).

Достовірність різниці між варіантами оцінюється шляхом її порівняння з найменшою істотною різницею (НІР₀₅).

Перед проведенням дисперсійного аналізу врожайні дані розраховують на площу 1 га. Якщо вони наведені в показниках до 10, їх округлюють з точністю до відсотка (наприклад, збір цукру 4,45 т/га), від 10 до 100 - до десятків (урожайність гички - 22,4

m/ga) і понад 100 - до цілого (урожайність коренеплодів - 445 *ц/ga*).

Внаслідок дії неконтрольованих сил природи, або грубих помилок дослідника іноді з дослідів випадають певні ділянки. Бажано не допускати подібних випадків, але, якщо це сталося, то перед тим як проводити дисперсійний аналіз необхідно привести результати дослідів до порівнюваного вигляду, тобто "поновити" дані, що випали.

Відновлення даних, що випали.

Якщо з обліку випадає лише одна ділянка, то теоретично обчислений врожай визначають за формулою:

$$X' = \frac{lV + nP - \sum X}{(l-1)(n-1)}$$

де *l* - число варіантів; *n* - число повторень *V* - сума даних варіанта, де знаходиться спостереження, яке випало; *P* - сума даних того повторення, де знаходиться спостереження, яке випало; $\sum X$ - загальна сума всіх спостережень.

Наприклад: Урожайність коренеплодів цукрових буряків, *m/ga*

Варіанти (<i>l=2</i>)	Повторення (<i>n=4</i>)				$\sum V$
	I	II	III	IV	
1	29,4	30,4	X ^I	28,1	87,9
2	26,0	X ^{II}	26,7	27,1	79,8
$\sum P$		30,4	26,7		$\sum X=172,4$

$$X' = \frac{(2 \cdot 87,9) + (4 \cdot 26,7) - 172,4}{(2-1) \cdot (4-1)} = 38,3$$

$$X'' = \frac{(2 \cdot 79,8) + (4 \cdot 30,4) - 172,4}{(2-1) \cdot (4-1)} = 37,8$$

Дисперсійний аналіз експериментальних даних цукрових буряків проводять за врожайністю коренеплодів, вмістом цукру в них та збором цукру з гектару;

- в дослідях з штучним зараженням рослин хворобами *процент ураження* оцінюють шляхом перетворення відносного показника в "кут арксинус $\sqrt{\text{відсоток}}$ ";

- інші відносні показники (наприклад, подані в балах, з великим розмахом варіації, окремими нульовими значеннями) перетворюють шляхом логарифмування або добування кореня).

Треба пам'ятати, що дисперсійний аналіз ефективний тоді, коли показники мають:

- *випадкове, незалежне та нормальне розподілення компонентів помилки.* Якщо відхилення від нормального розподілення не дуже суттєво впливає на придатність дисперсійного аналізу, то незалежність і випадковість значення отриманих даних досягається застосуванням рандомізації.
- *однорідність дисперсій різних вибірок.* Якщо дисперсії в середині окремих варіантів були різними, то їх усереднення буде невиправданим. Наприклад, одна група варіантів має малу дисперсію, а інша – велику.
- *незалежність середніх і дисперсій.* Іноді експериментальні дані мають певну залежність між середніми та їх дисперсією. Так, позитивна кореляція спостерігається при великій різниці між вибірковими середніми.
- *адитивність – складання дії ефектів.* Наприклад, для дослідів, що закладено за схемою рандомізованих блоків, кожен показник експерименту (X) складається з ефектів загальної середньої (\bar{x}), варіантів (v), блоків (b) і помилки (z):

$$X = \bar{x} + v + b + z$$

Розроблені в лабораторії види прикладних програм дозволяють цілком врахувати ці особливості і застосувати саме ту програму, що найкраще відповідає структурі експерименту (скільки факторів, які градації варіантів, кількість повторень, метод розташування варіантів і повторень на площі, тощо) та поставленій меті досліджень (оцінка спадковості, сортовипробування, агротехнічний дослід, тощо).

Вихідні дані та результати дисперсійного аналізу зберігаються в польовому журналі дослідів, або наводяться як

приклад розрахунків в додатках дисертації. Щоб зрозумілими були наші міркування щодо оцінки дослідів, наведемо лише результати дисперсійного аналізу (в іноземних виданнях – джерела варіації, табл. 3).

За результатами дисперсійного аналізу можна зробити такі загальні висновки:

- дія всіх трьох факторів (А, В і С), а також їх парних взаємодій (АВ, АС, ВС) є істотною тому, що $F_{\phi} > F_{05}$;
- для повної взаємодії (АВС) - вона не істотна - $F_{\phi} < F_{05}$.

Таблиця 3. Результати дисперсійного аналізу

Дисперсія	Сума квадратів	Степень волі	Середній квадрат	Відношення	
				F_{ϕ}	F_{05}
Загальна	Sy 173981,0	53			
Повторень	Sp 1049,1	2			
Варіантів	Sv 165859,6	17			
Факторів	ГібридівА	Ca 6137,5	2	3068,7	14,8 3,34
	СтроківВ	Cb 145704,2	1	145704,2	700,5 4,31
	ГустотиС	Cc 6342,5	2	3171,2	15,2 3,34
Взаємодії	АВ	Cab 1459,1	2	729,6	3,5 3,34
	АС	Cac 3788,2	4	947,0	4,8 2,69
	ВС	Cbc 2100,8	2	1050,4	5,0 3,34
	АВС	Cabc 327,4	4	81,9	0,4 2,69
Помилки	Cz 7072,2	34	208,0		

В самій же роботі наводять тільки показники найменшої істотної різниці ($НІР_{05}$, іноді також межі точності дослідів (табл. 4).

Для визначення істотності різниць між середніми всіх градацій факторів, що вначалися, розраховані відповідні $НІР_{05}$, які в таблицях розміщують поряд з різницями між середніми цих факторів. Для оцінки різниць між суміжними факторами застосовують $НІР_{05}$ загальну.

Таблиця 4. Вплив ширини міжрядь при густоті рослин 100 тис. /га (фактор А) та строків збирання (фактор С) на врожайність сортів та гібридів цукрових буряків (фактор В) (дані лабораторії математичних методів досліджень)

Фактор А міжряддя	Фактор В сорт, гібрид	Фактор С строк збирання	Серед- не за фак- тором С	Різ- ниця	Серед- не за фак- тором В	Різ- ниця	Серед- не за фак- тором А
45 см	Ялтушківський	15 вересня	212				277
	однонасінний 64	15 жовтня	231	19	221		
	Ялтушківський	15 вересня	270				
	ЧС 72, диплоїд	15 жовтня	330	60	300	79	
	Ярина, ЧС гіб- рид, триплоїд	15 вересня	277				
		15 жовтня	342	65	310	88	
30 см	Ялтушківський	15 вересня	235				300
	однонасінний 64	15 жовтня	239	4	237		
	Ялтушківський	15 вересня	354				
	ЧС 72, диплоїд	15 жовтня	381	7	357	120	
	Ярина, ЧС гіб- рид, триплоїд	15 вересня	290				
		15 жовтня	318	28	304	67	
tos	Середнє з дослідю		288			Різні	23
2,07	Точність дослідю, %	1,3	НІР ₀₅ - фактору А, С				5
	НІР ₀₅ - загальна	11	НІР ₀₅ - фактору В				6

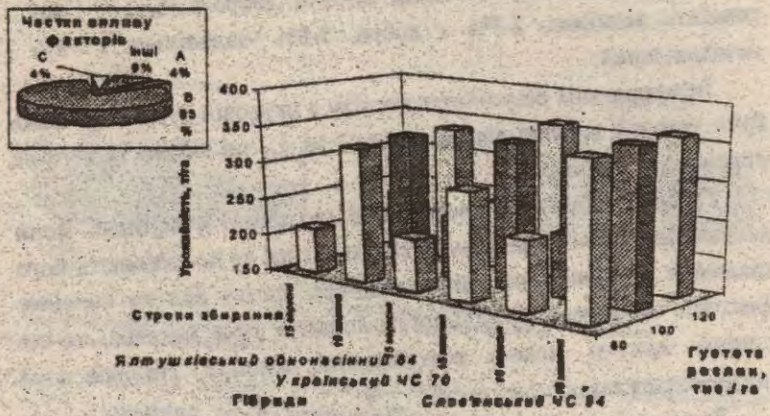


Рис. 3. Вплив строків збирання та густоти рослин на врожайність гібридів цукрових буряків

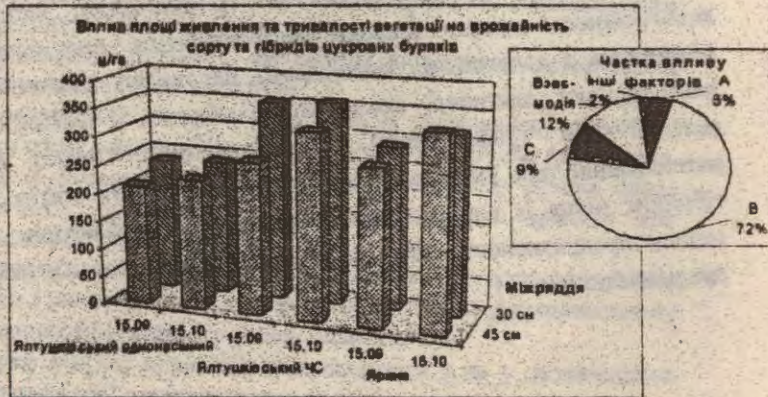


Рис. 4. Вплив строків збирання та ширини міжрядь на врожайність гібридів цукрових буряків

Точність досліду в межах 2,9% є доброю ($S_{\text{тх}} = 1-2\%$ - точність відмінна, 2-5% - добра, 5-8% - задовільна і >8% - незадовільна).

Інтерпретація результатів досліду в науковій публікації може бути також у вигляді діаграм (рис. 3 та 4), які можна подати як окремо, так і разом.

Графіки добре доповнюють дані, що подані в таблицях. Вони яскраво ілюструють загальний задум автора та доповнюють його цікавими уточненнями, наприклад, про частку впливу окремих факторів на рівень врожайності. Якщо є така потреба, то на одному аркуші можна розташувати декілька графіків, які поєднуються загальною ідеєю.

За такими графіками можна отримати уяву про різниці між факторами та їх градаціями, відносну частку впливу факторів на кінцевий результат.

Модифікації двофакторних та трифакторних методів дисперсійного аналізу широко застосовуються для аналізу генетичних і селекційних досліджень, наприклад, для оцінки комбінаційної здатності компонентів гібридів. В лабораторії селекції ЦДБ трифакторний дисперсійний аналіз був застосований для визначення частки впливу компонентів ЧС гібридів, місця їх вирощування та взаємодії цих факторів для оцінки продуктивності гібридів за врожайністю коренів та їх цукристістю (рис. 5).



Умовні позначення:
 1 - запліднювач, 2 - ЧС-компонент, 3 - місце вирощування, 4 - запліднювач x ЧС-компонент,
 5 - запліднювач x місце вирощування, 6 - ЧС-компонент x місце вирощування, 7 - запліднювач x
 ЧС-компонент x місце вирощування, 8 - інші

Рис. 5. Частка впливу компонентів ЧС гібридів, місця вирощування та їх взаємодії.

Навіть швидкого погляду на графіки досить, щоб помітити різницю щодо впливу компонентів ЧС гібридів і місця вирощування на окремі показники продуктивності цукрових буряків. Більш ретельне розкладання компонентів за видами гібридів, окремими зонами та умовами дозволяє селекціонерам краще впливати на селекційний процес.

Кореляція і регресія - це методи визначення залежностей між ознаками, що досліджуються.

Кореляційною є залежність, коли із збільшенням середньої величини однієї ознаки збільшується середня величина другої, або, навпаки, із збільшенням середньої величини однієї ознаки друга зменшується. В першому випадку кореляція є прямою або додатною, в другому - оберненою або від'ємною.

Кореляція є парна, якщо досліджується зв'язок між двома ознаками і множинною, коли на величину однієї результативної ознаки впливають декілька факторіальних.

Парна лінійна кореляція між ознаками x та y позначається коефіцієнтом (r) і розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} = \frac{\sum xy - \sum x \sum y / n}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Значення коефіцієнта кореляції лежить в межах від +1 до -1. Вважають, що при $r < 0,3$ кореляційна залежність між ознаками слабка, $r = 0,3-0,7$ - середня і $r > 0,7$ - сильна.

Квадрат коефіцієнта кореляції (r^2) називається коефіцієнтом детермінації і позначається d_{xy} . Він показує частку або відсоток тих вимірювань, які в даному явищі залежать від фактору, що вивчається.

Критерій істотності коефіцієнта кореляції розраховують за формулою:

$$t_r = r/Sr.$$

Якщо $t_r > t_{\alpha}$, то кореляційний зв'язок істотний, а коли $t_r < t_{\alpha}$ - неістотний. Теоретичне значення критерію t знаходять по таблицям при ступені волі $n - 2$.

Регресія показує зміну результативної (залежної) ознаки (функції Y) за певних значень факторіальної ознаки (аргументу X). Вона теж є простою, якщо функція досліджується в залежності від одного аргументу ($y = f(x)$), і множинною - від двох чи більше аргументів ($y = f(k, z, v)$).

Залежність функції від аргументу при лінійній регресії виражається коефіцієнтом регресії (b_{yx} або b_{xy}), який показує, в якому напрямі і на яку величину змінюється одна ознака при зміні іншої.

$$b_{yx} = r\sigma_y/\sigma_x \text{ або } b_{xy} = r\sigma_x/\sigma_y$$

Коефіцієнт регресії має знак коефіцієнта кореляції. Добуток коефіцієнтів регресії дорівнює квадрату коефіцієнтів кореляції (коефіцієнту детермінації):

$$b_{yx} b_{xy} = r^2$$

Кореляція може бути зображена графічно у вигляді лінії регресії. Для побудови графіка по осі абсцис відкладають значення ознаки x , а по осі ординат - значення ознаки y ; кожне

спостереження над двома змінними відмічають точкою з координатами (x, y) .

Коефіцієнт прямолінійної кореляції та рівняння регресії, що показують тісну зворотну залежність між вмістом цукру (y) і розміром коренеплоду цукрових буряків (x) в наукових працях подають рядком:

$$r = -0,79; \quad y = 18,99 - 0,006x,$$

або графіком (рис. 6).

Інтерполяція або екстраполяція проводиться тоді, коли при визченні явища встановлено, що існує певна функціональна залежність між величинами y і x . Функція $y = \varphi(x)$ при цьому залишається нам невідомою, але на підставі експерименту або попереднього аналізу встановлені значення цієї функції $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ при деяких значеннях аргументу $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$.

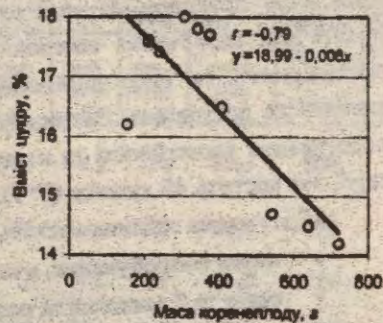


Рис. 6. Залежність вмісту цукру від маси коренеплоду

Якщо інтерполяція це шлях визначення функції в межах отриманих даних (як за рівнянням регресії), то екстраполяція дозволяє зробити більш віддалене припущення.

Так, лабораторія економіки вирощування цукрових буряків на підставі аналізу динаміки посівних площ культури на Україні за 1991-1997 роки, коли площа посіву зменшилась з 1557,93 до 1004,70 тис. га, визначила рівняння темпів зниження їх за рік:

$$y(t) = 1651,9 - 71,68t.$$

Згідно цього рівняння (якщо умови в країні не зміняться до кращого) площа під цукровими буряками ще знизиться: у 1999 році – до 1006,78 і у 2000 році – до 935,1 тис. га.

Оцінку врожайності нових сортів і гібридів прийнято вести з урахуванням густоти рослин. Якщо густота рослин істотно впливає на рівень врожайності коренеплодів (тобто, за результатами дисперсійного аналізу регресії $F_{\phi} > F_{0\phi}$) то до неї вносяться відповідні поправки. Це робиться з використанням *коваріаційного аналізу*. В лабораторії розроблена відповідна прикладна програма, за якої спочатку робиться коваріаційний аналіз для визначення залежності врожайності від густоти, її достовірності та пропорційності (коефіцієнт коваріації), якщо залежність достовірна. Застосовуючи цей коефіцієнт, проводять корегування врожайності та наступну її оцінку в цілому по всій серії, яка містить 49 ділянок (7*7), табл. 5.

Підсумкова таблиця містить такі дані:

- назва випробування, місце та час проведення,
- серія та її складові за розмірами,
- показники, що характеризують точність досліду та найменшу істотну різницю між варіантами,
- за даними $HP_{0\phi}$ відібрані кращі ЧС гібриди як за рівнем врожайності, так і цукристості.

До групового стандарту були включені сорти і гібриди різних напрямів добору – врожайного і цукристого. А тому високий рівень продуктивності ялтушківських ЧС гібридів можна вважати результатом цілеспрямованої, методично обгрунтованої роботи з компонентами, а також формування гібридних комбінацій з врахуванням специфічних генних взаємодій, що є основою оптимального вираження гетерозису.

Таблиця 5. Результати основного випробування гібридів цукрових буряків (Ялтушківська дослідно-селекційна станція ІЦБ, 1997 рік)

Серія Ял_97-6а з 49 ділянок (7х7)						Площа облікової ділянки 13,5 м ² : 1,35 x 10 м		
Результати коверсіційного аналізу								
Точність дослідю		1,8%		Коефіцієнт регресії 1,517		Критерій Фіше ра	F ₀	F ₀₅
НІР ₀₅		20	5%	1,4	10%		285,2	1,21
№ в серії	Позначення гібриду	Урожайність, ц/га	% до групового ст	Цукристість, %	% до групового ст	Збір цукру, ц/га	% до групового ст	Примітка
	<i>Груповий стандарт</i>	412	100	14,2	100	58,4	100	
203	F1 94-4620(25)-9-28-3 МС x Я /Рой (В-96)	434	105	14,1	100	61,2	105	
204	F1 94-4620(25)-5-16-10 МС x Я /Рой (В-96)	472	115	14,0	99	66,3	114	
235	St Слов'янський МС 94	436	106	14,2	100	61,9	106	
241	F1 94-4629-31-17-2-9 МС x Я /Рой (В-96)	439	107	14,3	101	62,7	106	
242	F1 94-4629-31-17-23-8 МС x Я /Рой (В-96)	439	107	14,9	105	65,5	112	

Зважаючи на те, що при репродукуванні компонентів і відновленні кращих гібридних комбінацій основні кількісні ознаки (врожайність, цукристість, збір цукру) зазнають регресії, подальшу роботу слід вести з такими матеріалами, які в гібриді мають високий рівень продуктивності (понад 105%). Серед досліджуваних гібридів 70% мали показники збору цукру в межах 105-115% до групового стандарту, а 16% гібридів перевищили 115% відмітку. Такі показники свідчать про цінний генофонд ЧС ліній і багатонасінних запилювачів, що є в колекції станції.

За виходом цукру до групового стандарту найбільш перспективними були гібриди, що наведені на діаграмі (див. рис. 7).

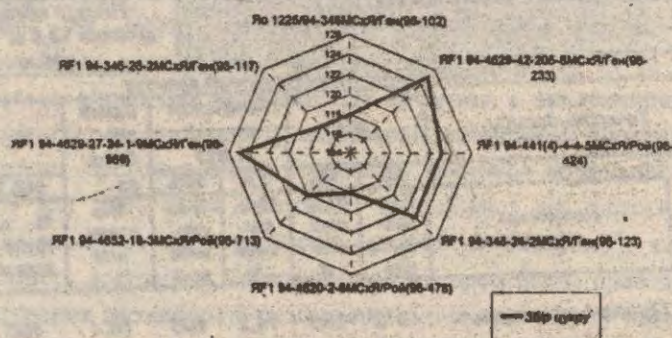


Рис. 7. Продуктивність краших ЧС гібридів основного сортовипробування, % до групового стандарту (Ялтушківська ДСС, 1997 рік)

Висновок. Завдяки застосуванню математичних методів для інтерпретації наукових даних можна істотно скоротити обсяг інформації, більш в повному обсязі розкрити її суть, показати межі дії факторів, їх достовірність та точність, розкрити ті ознаки, які іншими методами практично не можна виявити.

Список використаної літератури

1. David, O. and Kempton, R.A. (1996) Design for interferences. *Biometrics*, 52, 224-233.
2. Fisher, R.A. (1935) The Design of Experiments, Oliver and Boyd, Edinburgh.
3. Mead R. Design of plant breeding trials (1998) Statistical methods for plant variety evaluation, Chapman and Hall, 4, 40-67.
4. Patterson, H.D. and Williams, E.R. (1976) A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrics*, 63, 83-90.
5. Kempton R.A., Fox P.N. (1997) Statistical methods for plant variety evaluation, Chapman & Hall, London • New York • Tokyo • Melbourne • Madras