

УДК 635.67:631.526.32

**Л.М. Пузік**, д-р с.-г. наук, професор,  
**Н.О. Дідух**, асистент

Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

## **ВИБІР КРАЩИХ СОРТІВ ТА ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЦУКРОВОЇ МЕТОДОМ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

Як відомо, сорт є однією з найбільш важливих складових технології вирощування будь-якого виду сільськогосподарських рослин, у тому числі і кукурудзи цукрової. Одним з основних показників ефективності технології вирощування є врожайність. Головні її складові такі є : кількість качанів на одній рослині, довжина та маса качана, кількість рядів зерен у качані та вихід зерна. Кожний з цих показників у подальшому визначає напрям використання продукції кукурудзи цукрової. Зокрема, відомо, що в консервній промисловості застосовують крупні циліндричні або слабokonічні качани з видовженою формою зерен та з досить високим відсотком виходу зерна (не нижче 60 %). Відмінності у цих показниках залежать, у першу чергу, від сортових особливостей, а також від ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування.

**Метою досліджень** було визначення кращого сорту і гібрида кукурудзи цукрової за біометричними показниками та елементами структури врожайності методом багатокритеріальної оптимізації.

**Методика досліджень.** Вибір кращого сорту і гібрида (альтернативні варіанти), які вивчали за біометричними показниками та елементами врожайності, можливий шляхом їх порівняльної оцінки. До цих показників відносяться площа листків, кількість листків, кількість качанів, довжина качана, маса качана, кількість рядів зерен, вихід зерна, врожайність і коефіцієнт стабільності. Вони визначають множину оціночних критеріїв. Аналіз таких критеріїв можливий під час застосування методу

багатокритеріальної оптимізації (геометрична перевірка критеріїв) [3, 4]. В основі методу лежить застосування механізму прийняття рішення за багатьма критеріями, які дозволяють виключити вплив одиниць вимірювання біометричних показників та елементів урожайності, а також величин інтервалів допустимих значень кожного показника на вибір сорту і гібрида (цільова функція).

Біометричними показниками та елементами врожайності (критеріями  $A_j$ ) качанів кукурудзи цукрової є:  $A_1$  – кількість листків;  $A_2$  – кількість качанів;  $A_3$  – довжина качана;  $A_4$  – маса качана;  $A_5$  – кількість рядів зерен;  $A_6$  – вихід зерна;  $A_7$  – площа листків;  $A_8$  – урожайність;  $A_9$  – коефіцієнт стабільності.

Для виключення впливу одиниць виміру біометричних показників та елементів урожайності різних сортів і гібридів кукурудзи цукрової за групами стиглості проводимо операцію нормування, яка дозволить перевести значення біометричних показників та елементів урожайності у безмірні величини ( $f_j \rightarrow f_j$ ).

Під час проведення операції нормування необхідно встановити: 1) максимальне ( $f_j^+$ ) та мінімальне ( $f_j^-$ ) значення  $j$ -го критерію досліджуваних сортів та гібридів ( $x_j$ ); 2) оптимальне значення ( $f_j^{\text{onm}}$ )  $j$ -го критерію за правилом:

— якщо оціночний критерій  $f_j$  прагне до мінімального значення ( $f_j^{\text{onm}} \rightarrow \min$ ), то  $f_j^{\text{onm}} = f_j^-$ ;

— якщо оціночний критерій  $f_j$  прагне до максимального значення ( $f_j^{\text{onm}} \rightarrow \max$ ), то  $f_j^{\text{onm}} = f_j^+$ .

Прагнення оптимального значення  $f_j$ -го критерію ( $f_j^{\text{onm}} \rightarrow \min$ ,  $f_j^{\text{onm}} \rightarrow \max$ ) вираховується під час вибору формул 1 та 2 для проведення операції нормування

$$f_j(x_j) = \frac{(f_j(x_j) - f_j^-)}{(f_j^+ - f_j^-)}, \text{ якщо } f_j^{\text{onm}} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$f_j(x_i) = \frac{(f_j^+ - f_j(x_i))}{(f_j^+ - f_j^-)}, \text{ якщо } f_j^{\text{onm}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$f_j(x_i)$  – значення  $f_j$ -го критерію нормування для  $i$ -го сорту і гібрида;

$f_j(x_i)$  – значення  $f_j$ -го критерію нормування для  $i$ -го сорту і гібрида у відповідних одиницях вимірювання;

$[f_j^+; f_j^-]$  – область допустимих значень  $j$ -го критерію сортів та гібридів, що порівнюють.

Після проведення операції нормування розраховують значення цільової функції ( $\varphi$ ) для кожного сорту і гібрида ( $x_i$ ) за формулою 3

$$\varphi(x_i) = \sum_{j=1}^n |f_j(x_i) - f_j(x^u)| \rightarrow \min, \text{ де } 0 \leq f_j(x_i) \leq 1; \quad (3)$$

$$f_j(x^u) = 1,$$

де  $\varphi(x_i)$  – значення цільової функції  $i$ -го сорту і гібрида;

$n$  – кількість критеріїв.

$f_j(x_i)$  – значення  $f_j$ -го критерію, нормованого для  $i$ -го сорту і гібрида;

$f_j(x^u)$  – значення  $f_j$ -го критерію, нормованого для ідеального сорту і гібрида;

$(x^u)$  – ідеальний сорт (з оптимальним значенням критеріїв).

Доведено, що  $f_j(x^u) = 1$ .

Якщо  $(f_j^{\text{onm}}) \rightarrow \max$ , то відповідно до формули 1

$$f_j(x^u) = \frac{(f_j(x^u) - f_j^-)}{(f_j^+ - f_j^-)}, \text{ оскільки } f_j(x^u) = f_j^{\text{onm}} = f_j^+, \text{ то}$$

$$f_j(x^u) = \frac{(f_j^+ - f_j^-)}{(f_j^+ - f_j^-)} = \frac{1}{1}.$$

Якщо  $f_j^{\text{onm}} \rightarrow \min$ , то відповідно до формули 2

$$f_j(x^u) = \frac{(f_j^+ - f_j(x^u))}{(f_j^+ - f_j^-)}, \text{ оскільки } f_j(x^u) = f_j^{\text{onm}} = f_j^-, \text{ то}$$

$$f_j(x^u) = \frac{(f_j^+ - f_j^-)}{(f_j^+ - f_j^-)} = \frac{1}{1}.$$

Вибір кращого сорту визначається з умов найбільшого наближення його цільової функції  $[f(x_i)]$  до цільової функції ідеального сорту  $[f(x^u)]$ , яка дорівнює нулю.

Доведемо, що  $f(x^u) = 0$ .

Відповідно до формули 3,

$$f(x^u) = \sum_{j=1}^n |f_j(x_j) - f_j(x^u)| = \sum_{j=1}^n |1 - 1| = 0.$$

Таким чином, чим менша величина цільової функції сорту  $f(x_i)$  у діапазоні значень критеріїв в досліджуваних сортах і гібридів, тим вища його якість. На цьому принципі основана побудова ранжирувального ряду і вибір у діапазоні значень показників порівнюваних сортів та гібридів комплексу біометричних показників та елементів урожайності кращого сорту і гібрида.

**Результати досліджень.** Вибір сорту та гібрида кукурудзи цукрової за біометричними показниками й елементами врожайності здійснений за показниками, представленими у табл. 1, 2 з двосторонньою альтернативно-критеріальною класифікацією. Тут наведено значення критеріїв  $f_j$ , які характеризують біометричні показники й елементи врожайності  $A_j$  – у безмірному вигляді.

Приклад розрахунку вибору оптимального ранньостиглого сорту чи гібрида кукурудзи цукрової методом багатокритеріальної оптимізації (геометричної перевірки критеріїв) запропоновано нижче.

I. Створення матриці значень біометричних показників та елементів урожайності качанів кукурудзи цукрової за сортом і гібридом.

1. Установлення допустимих інтервалів значень  $(f_j^+; f_j^-)$  критеріїв ( $A_j$ ) групи сортів та гібридів  $(x_i)$ , які вивчали, і визначення прагнення оптимального значення  $(f_j^{opt})$   $j$ -го критерію.

Допустимі інтервали значень кожного критерію встановлюються у межах максимальних і мінімальних його величин (у відповідних одиницях вимірювання) з урахуванням індивідуальних допусків.

**1. Результати значень цільових функцій  $\varphi(x_j)$ ...  $\varphi(x_7)$  при виборі оптимального ранньостиглого сорту і гібрида кукурудзи цукрової**

Сорт, гібрид	Критерій, $A_j$																		Значення цільової функції	Ранг	
	кількість листіків, шт.		кількість качанів, шт.		довжина качана, г		маса качана, г		кількість рядів зерен, шт.		вихід зерна, %		площа листків, тис.м <sup>2</sup> /га		урожайність, т/га		коефіцієнт стабільності				
	$f_1$	$f_1$	$f_2$	$f_2$	$f_3$	$f_3$	$f_4$	$f_4$	$f_5$	$f_5$	$f_6$	$f_6$	$f_7$	$f_7$	$f_8$	$f_8$	$f_9$	$f_9$			$\varphi(x_i)$
Брусниця	7,9	0,47	1,3	0,33	17,6	0,55	139	0,08	11,3	0,31	57	0,58	13,8	0,56	3,4	0,17	1,5	0,33	5,60	7	
Сквирка (Рок- солана) F <sub>1</sub>	7,8	0,42	1,3	0,33	17,8	0,65	148	0,30	11,9	0,50	59	0,92	14,0	0,60	4,3	0,47	1,2	0,67	4,42	2	
Куликовсь- кий F <sub>1</sub>	8,4	0,74	1,4	0,44	18,0	0,75	139	0,09	11,6	0,41	55	0,25	15,7	0,91	3,8	0,30	1,7	0,11	5,01	6	
Ароматна	8,1	0,58	1,5	0,56	17,9	0,70	136	0,01	11,9	0,50	56	0,42	15,2	0,82	4,3	0,47	1,6	0,22	4,73	5	
Дмитрик F <sub>1</sub>	8,2	0,63	1,6	0,67	17,1	0,30	162	0,63	10,8	0,16	56	0,48	14,6	0,71	3,9	0,33	1,4	0,44	4,71	4	
Спірит F <sub>1</sub>	7,5	0,26	1,5	0,56	17,0	0,25	159	0,56	12,3	0,63	59	0,98	11,2	0,09	5,4	0,83	1,6	0,22	4,69	3	
Бостон F <sub>1</sub>	8,4	0,74	1,3	0,33	18,0	0,75	177	0,99	13,0	0,84	54	0,08	13,5	0,51	4,7	0,60	1,7	0,11	4,05	1	
$f_j^-$	7,0		1,0		16,5		136		10,3		54		10,7		2,9		1,1				
$f_j^+$	8,9		1,9		18,5		178		13,5		60		16,2		5,9		1,8				
$f_j(x^u)$		1		1		1		1		1		1		1		1		1			
$f_j^{opt}$	8,9 мах		1,9 мах		18,5 мах		176 мах		13,5 мах		60 мах		16,2 мах		5,9 мах		1,1 міп				

**2. Результати значень цільових функцій  $\varphi(x_j) \dots \varphi(x_5)$  при виборі оптимального середньостиглого сорту і гібрида кукурудзи цукрової**

Сорт, гібрид	Критерій, $A_j$																		Значення цільової функції $\varphi(x_i)$	Ранг	
	кількість листків, шт.		кількість качанів, шт.		довжина качана, г		маса качана, г		кількість рядів зерен, шт.		вихід зерна, %		площа листків, тис. м <sup>2</sup> /га		урожайність, т/га		коефіцієнт стабільності				
	$f_1$	$f_1$	$f_2$	$f_2$	$f_3$	$f_3$	$f_4$	$f_4$	$f_5$	$f_5$	$f_6$	$f_6$	$f_7$	$f_7$	$f_8$	$f_8$	$f_9$	$f_9$			
Дракон	8,8	0,14	1,4	0,43	17,6	0,22	136	0,01	11,6	0,10	57	0,05	15,7	0,04	3,9	0,30	1,4	0,73	6,99	5	
Русалка	9,2	0,32	1,5	0,57	17,6	0,22	141	0,13	13,7	0,53	62	0,50	17,8	0,21	3,5	0,18	2,0	0,18	6,16	4	
Болд F <sub>1</sub>	9,8	0,59	1,7	0,85	17,8	0,30	178	0,99	14,4	0,67	59	0,23	22,1	0,56	5,7	0,85	1,5	0,64	3,33	2	
БонусF <sub>1</sub>	10,1	0,73	1,5	0,57	17,9	0,35	155	0,45	15,5	0,90	67	0,96	19,6	0,36	4,8	0,58	1,3	0,82	3,30	1	
Оверленд F <sub>1</sub>	10,2	0,77	1,2	0,14	18,9	0,73	174	0,90	14,5	0,69	61	0,41	27,0	0,96	3,4	0,15	1,5	0,64	3,57	3	
$f_j^-$	8,5		1,1		17,1		136		11,1		56,5		15,2		2,9		1,1				
$f_j^+$	10,7		1,8		19,4		179		16,0		67,5		27,5		6,2		2,2				
$f_j(x^u)$		1		1		1		1		1		1		1		1		1			
$f_j^{opt}$	10,7 мах		1,8 мах		19,4 мах		179 мах		16,0 мах		67,5 мах		27,5 мах		6,2 мах		2,2 мін				

$A_1$  – кількість листків, шт.:

$$f_1^- = f_1(x_6) = 7,5 - 0,5 = 7,0; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_1^+ = f_1(x_7) = 8,4 + 0,5 = 8,9. \quad f^{onm} \rightarrow 8,9$$

$A_2$  – кількість качанів, шт.:

$$f_2^- = f_2(x_7; x_1) = 1,3 - 0,3 = 1,0; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_2^+ = f_2(x_5) = 1,6 + 0,3 = 1,9. \quad f^{onm} \rightarrow 1,9$$

$A_3$  – довжина качана, см:

$$f_3^- = f_3(x_5) = 17,0 - 0,5 = 16,5; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_3^+ = f_3(x_3; x_7) = 18,0 + 0,5 = 18,5. \quad f^{onm} \rightarrow 18,5$$

$A_4$  – маса качана, г:

$$f_4^- = f_4(x_4) = 136 - 0,5 = 135,5; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_4^+ = f_4(x_7) = 177 + 0,5 = 177,5. \quad f^{onm} \rightarrow 177,5$$

$A_5$  – кількість рядів зерен у качані, шт.:

$$f_5^- = f_5(x_5) = 10,8 - 0,5 = 10,3; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_5^+ = f_5(x_7) = 13,0 + 0,5 = 13,5. \quad f^{onm} \rightarrow 13,5$$

$A_6$  – вихід зерна, %:

$$f_6^- = f_6(x_7) = 54 - 0,5 = 53,5; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_6^+ = f_6(x_2; x_6) = 59 + 0,5 = 59,5. \quad f^{onm} \rightarrow 59,5$$

$A_7$  – площа листків, тис. м<sup>2</sup>/га:

$$f_7^- = f_7(x_6) = 11,2 - 0,5 = 10,7; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_7^+ = f_7(x_3) = 15,7 + 0,5 = 16,2. \quad f^{onm} \rightarrow 16,2$$

$A_8$  – врожайність, т/га:

$$f_8^- = f_8(x_1) = 3,4 - 0,5 = 2,9; \quad f^{onm} \rightarrow \max$$

$$f_8^+ = f_8(x_6) = 5,4 + 0,5 = 5,9. \quad f^{onm} \rightarrow 5,9$$

$A_9$  – коефіцієнт стабільності:

$$f_9^- = f_9(x_1) = 1,2 - 0,1 = 1,1; \quad f^{onm} \rightarrow \min$$

$$f_9^+ = f_9(x_6) = 1,7 + 0,1 = 1,8. \quad f^{onm} \rightarrow 1,1$$

II. Операція нормування – переведення несумірних за значенням критеріїв ( $A_j$ ) у безмірні величини ( $f_j$ ) за формулами 1 та 2.

1. Кількість листків  $A_1$ :

$$f_1(x_7) = \frac{(8,4-7,0)}{(8,9-7,0)} = 0,737,$$

$$f_1(x_1) = 0,474, \quad f_1(x_2) = 0,421, \quad f_1(x_3) = 0,737, \quad f_1(x_4) = 0,579, \quad f_1(x_5) = 0,632, \\ f_1(x_6) = 0,263.$$

2. Кількість качанів  $A_2$ :

$$f_2(x_5) = \frac{(1,6-1,0)}{(1,9-1,0)} = 0,666;$$

$$f_2(x_1) = 0,333, \quad f_2(x_2) = 0,333, \quad f_2(x_3) = 0,444, \quad f_2(x_4) = 0,555, \quad f_2(x_7) = 0,333, \\ f_2(x_6) = 0,555.$$

3. Довжина качана  $A_3$ :

$$f_3(x_3; x_7) = \frac{(18,0-16,5)}{(18,5-16,5)} = 0,750;$$

$$f_3(x_1) = 0,550, \quad f_3(x_2) = 0,650, \quad f_3(x_4) = 0,700, \quad f_3(x_5) = 0,300, \quad f_3(x_6) = 0,250.$$

4. Маса качана  $A_4$ :

$$f_4(x_1) = 0,083, \quad f_4(x_2) = 0,298, \quad f_4(x_3) = 0,083, \quad f_4(x_4) = 0,012, \quad f_4(x_5) = 0,631, \\ f_4(x_6) = 0,559, \quad f_4(x_7) = 0,988.$$

5. Кількість рядів зерен у качані  $A_5$ :

$$f_5(x_1) = 0,313, \quad f_5(x_2) = 0,500, \quad f_5(x_3) = 0,750, \quad f_5(x_4) = 0,700, \quad f_5(x_5) = 0,300, \\ f_5(x_6) = 0,250, \quad f_5(x_7) = 0,750.$$

6. Вихід зерна  $A_6$ :

$$f_6(x_1) = 0,583, \quad f_6(x_2) = 0,917, \quad f_6(x_3) = 0,250, \quad f_6(x_4) = 0,417, \quad f_6(x_5) = 0,417, \\ f_6(x_6) = 0,917, \quad f_6(x_7) = 0,083.$$

7. Площа листя  $A_7$ :

$$f_7(x_1) = 0,564, \quad f_7(x_2) = 0,600, \quad f_7(x_3) = 0,909, \quad f_7(x_4) = 0,818, \quad f_7(x_5) = 0,709, \\ f_7(x_6) = 0,091, \quad f_7(x_7) = 0,509.$$

8. Урожайність  $A_8$ :

$$f_8(x_1) = 0,167, \quad f_8(x_2) = 0,467, \quad f_8(x_3) = 0,300, \quad f_8(x_4) = 0,467, \quad f_8(x_5) = 0,333, \\ f_8(x_6) = 0,833, \quad f_8(x_7) = 0,600.$$

9. Коефіцієнт стабільності  $A_9$ :



$$f_9(x_1) = \frac{(1,8-1,5)}{(1,8-1,1)} = 0,333;$$

$$f_9(x_2) = 0,667, \quad f_9(x_3) = 0,111, \quad f_9(x_4) = 0,222, \quad f_9(x_5) = 0,444, \quad f_9(x_6) = 0,222, \\ f_9(x_7) = 0,111.$$

III. Визначення значень цільової функції для кожного сорту  $\varphi(x_i)$  за формулою 3.

$$\varphi(x_1) = |0,474 - 1| + |0,333 - 1| + |0,555 - 1| + |0,083 - 1| + |0,313 - 1| + \\ + |0,583 - 1| + |0,564 - 1| + |0,167 - 1| + |0,333 - 1| = 5,595$$

$$\varphi(x_2) = 4,147; \quad \varphi(x_3) = 5,010; \quad \varphi(x_4) = 4,730; \quad \varphi(x_5) = 4,712; \quad \varphi(x_6) = 4,685; \\ \varphi(x_7) = 4,045.$$

Вибір кращого сорту визначається з умов найбільшого наближення  $\varphi(x_i) \rightarrow \varphi(x'') = 0$ .

$$\varphi(x_7) = 4,045 \text{ гібрид Бостон } F_1 \text{ (1 ранг);}$$

$$\varphi(x_2) = 4,147 \text{ – Сквирка (Роксолана) } F_1 \text{ (2 ранг);}$$

$$\varphi(x_6) = 4,685 \text{ – Спірит } F_1 \text{ (3 ранг);}$$

$$\varphi(x_5) = 4,712 \text{ – Дмитрик } F_1 \text{ (4 ранг);}$$

$$\varphi(x_4) = 4,730 \text{ – Ароматна (5 ранг);}$$

$$\varphi(x_3) = 5,010 \text{ – Куликовський } F_1 \text{ (6 ранг);}$$

$$\varphi(x_1) = 5,595 \text{ – Брусниця (7 ранг).}$$

Отже, показники гібрида Бостон  $F_1$  мають оптимальні критерії, і є кращими у групі ранньостиглих сортів та гібридів. Аналогічні розрахунки проведені для вибору оптимального середньостиглого сорту та гібрида кукурудзи цукрової методом багатокритеріальної оптимізації (табл. 2).

**Висновки.** Таким чином, під час проведення порівняльного оцінювання результатів досліджень встановлено ранжирувальний ряд

ранньостиглих і середньостиглих сортів та гібридів кукурудзи цукрової, який характеризує високі товарні властивості качанів. Так, серед ранньостиглих сортів і гібридів перший ранг має гібрид Бостон  $F_1 \varphi(x_7)=4,045$ , який має: листків – 8,4 шт., качанів – 1,3 шт., довжину качана – 18,0 см, масу качана – 177 г, кількість рядів зерен у качані – 13 шт., вихід зерна становить 54 %, урожайність – 4,7 т/га, при цьому коефіцієнт стабільності дорівнює 1,7. Другий – Сквирка (Роксолана)  $F_1 \varphi(x_2)=4,147$ , третій – Спірит  $F_1 \varphi(x_6)=4,685$ , четвертий – Дмитрик  $F_1 \varphi(x_5)=4,712$ , п'ятий – Ароматна  $\varphi(x_4)=4,730$ , шостий – Куликовський  $F_1 \varphi(x_3)=5,010$ , сьомий – Брусниця  $\varphi(x_1)=5,595$ . Серед середньостиглих сортів та гібридів кукурудзи цукрової перший ранг має Бонус  $F_1 \varphi(x_4)=3,296$ , другий – Болд  $F_1 \varphi(x_3)=3,325$ , третій – Оверленд  $F_1 \varphi(x_5)=3,556$ , четвертий – Русалка  $\varphi(x_2)=6,160$ , п'ятий – Дракон  $\varphi(x_1)=6,989$ .

**Бібліографічний список:** 1. Недбал А. Кукуруза сахарная / А. Недбал // Овощеводство. – 2007. – № 6. – С. 24–26. 2. Пузік Л.М. Вибір кращого сорту гарбузових плодів методом багатокритеріальної оптимізації /Л.М. Пузік // Вісн. Сум. НАУ. Сер. “Агрономія і біологія”. – Вип. 10(22). – 2011. – С. 27–33. 3. Сыровата В.И. Применение ЭВМ при оптимизации технологических линий в животноводстве / В.И. Сыровата, М.Г. Теплицкий, С.Г. Карташов. – М.: Агропромиздат, 1988. – С. 27–30. 4. Теплицкий М.Г. Многокритериальный выбор комплексов технических средств для животноводства / М.Г. Теплицкий // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 6. – С. 25.