

РЕАКЦІЯ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКА СЕРЕДНЬОРАННЬОЇ ГРУПИ СТИГЛОСТІ НА ДЕФІЦИТ ВОЛОГИ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

ТИЩЕНКО А.В. – доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник
orcid.org/0000-0003-1918-6223

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

СТЕПАНОВ С.С. – аспірант
orcid.org/0009-0001-8327-8870

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ТИЩЕНКО О.Д. – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
orcid.org/0000-0002-8095-9195

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

КОНОВАЛОВА В.М. – PhD (доктор філософії)
orcid.org/0000-0002-0655-9214

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ОЧКАЛА О.С. – PhD (Doctor of Philosophy)
orcid.org/0000-0002-1609-5679

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Соняшник (*Helianthus annuus*) – одна з найважливіших олійних культур у світі [12] та протягом останніх кількох десятиліть площі та виробництво соняшнику зросло через його нейтральність довжини дня, ширшу адаптивність та чутливість до додаткових ресурсів [15]. Виробництво та переробка насіння олійних культур в Україні є найбільш перспективним напрямом аграрно-продовольчого сектора. У структурі загальних посівних площ у 2021 р. соняшником було зайнято 6,51 млн га. Завдяки специфічній будові основних органів (корінь, стебло, листя, качан) соняшник успішно вирощується на маргінальних ґрунтах і в напівпосушливих умовах і є стійким до абіотичних стресів [26].

Незважаючи на те, що соняшник класифікується як культура, стійка до посухи [24], його виробництво суттєво страждає від впливу водного стресу. Обмежена кількість опадів або нестача води для поливу протягом вегетаційного періоду обмежує врожайність соняшнику зі значним скороченням [13].

В останні десятиліття спостерігаються зміни клімату, так зване «глобальне потепління», внаслідок якого відбувається підвищення температурного режиму, частішають посушливі періоди та збільшується їх тривалість [35, 36, 38], що призводить до значних коливань урожайності сільськогосподарських культур як у просторі, так і в часі [1, 16, 32]. Підвищення температури в сільськогосподарських регіонах світу значно впливає на кількість опадів і їх перерозподіл протягом вегетаційного періоду, що призводить до значного зниження врожайності сільськогосподарських культур [6, 28, 37, 39]. Посушливі умови є одним з основних абіотичних стрес-чинників, які спричиняють серйозні проблеми у всьому світі і призводять до значного зниження врожайності сільськогосподарських культур [4, 20, 34]. Однак, проблема, пов'я-

зана з дефіцитом води, не є непереборною. Фактично, негативні наслідки посухи можна подолати шляхом виявлення та використання стійких до посухи сортів та гібридів [40].

Тому, зусилля селекціонерів необхідно направити на створення не тільки високопродуктивних сортів і гібридів, а й тих, що забезпечують стійкість урожаю в різних агрокліматичних умовах [27, 42, 43]. На сьогодні вченими вже досліджено агрономічні та фізіологічні механізми, що відповідають за стабільність урожаю [23, 17, 41, 44]. Отже, різні сорти і гібриди можуть демонструвати контрастні реакції на умови довкілля внаслідок їхньої взаємодії [29, 33, 46].

Метою досліджень було вивчення і аналіз екологічної стійкості та адаптивності до нестачі вологи середньоранніх гібридів соняшника в умовах Півдня України.

Матеріали і методи досліджень. Реакцію гібридів соняшника на різні умови вирощування вивчали в ТОВ «Агропроект Юг» у с. Подовка, Херсонська область (46°39'25»N; 33°48'54»E; 39 м над рівнем моря) протягом 2020–2021 рр.

Вивчали 15 гібридів соняшника середньоранньої групи стиглості, що зазвичай вирощуються на півдні України та занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Гібриди були протестовані на ділянках площею 50 м² у трьох повтореннях методом рендомізованих повторень (блоків), норма висіву була скоригована до 55 тисяч життєздатного насіння на га. Дослідження проводилися за загальноприйнятою методикою, кількість хімічних обробок була скоригована відповідно до умов вирощування та наявності бур'янів та хвороб і шкідників. Досліджувані зразки були посіяні у другій декаді квітня, а збирання – кінець серпня – початок вересня.

Дослідження проводилися на двох ділянках на про-тязі 2020–2021 рр.: Ділянка 1 – ґрунт темно-каштановий, середньо-суглинковий, залишково-слабо-солонцюва-тий. В орному шарі міститься 2,5% гумусу, мінерального азоту 3,3 мг в 100 г ґрунту, рухомого фосфору – 4,8 та обмінного калію 51 мг у 100 г ґрунту, рН водної витяжки 6,9–7,3, рівноважна щільність складення – 1,38 г/см³, пористість – 49,5%, водопроникність – 1,26 мм/хв. Попередники кукурудза і соя, добрива N₄₀P₂₀. Ділянка 2 – ґрунт темно-каштановий, середньо-суглинко-вий, залишково-слабо-солонцюватий. В орному шарі міститься 1,9% гумусу, мінерального азоту 2,4 мг в 100 г ґрунту, рухомого фосфору –3,9 та обмінного калію 37 мг у 100 г ґрунту, рН водної витяжки 6,3–6,7, рівноважна щільність складення – 1,43 г/см³, пористість – 43,6%, водопроникність – 1,12 мм/хв. Попередники озимий ріпак і соняшник, без добрив.

Середні температури, сума опадів та відносна воло-гість повітря для всіх експериментальних сезонів наве-дені у таблиці 1 разом із середніми довгостроковими значеннями.

Статистичний аналіз. Аналіз стійкості гібри-дів соняшника до стресу проводили за допомогою індексів посухостійкості: *MP* – середньої врожайності [25], *D* – інтенсивності посухи [2], *SSI* – сприйнятливо-сті до посухи [10], *TOL* – толерантності до посухи [25], *YSI* – стабільності врожаю [3], *YI* – врожайності [11, 21], *STI* – толерантності до стресу [9], *GMP* – середньої геометричної (пропорційної) врожайності [9, 18], *RDI* – відносної стійкості до посухи [10], *DI* – посухостійкості [2, 19], *SSPI* – схильності до стресу [22], *MSTI*, *M₁STI*, *M₂STI* – модифікованих індексів толерантності до стресу [8], *ATI* – абіотичної толерантності [22], *HMP* – гармоні-чної середньої продуктивності [5, 14, 18], *ISR* – стійко-сті до стресу [33, 30, 45] та індексу умов зовнішнього середовища (екологічний індекс), отриманий як середнє значення всіх сортів у *j*-му середовищі мінус загальне середнє (*Ij*), коефіцієнту регресії сорту на середовище (*b*), дисперсії відхилення від лінії регресії (*s²_{ei}*) [7], показ-нику стійкості до стресу (*RS*), генетичної гнучкості (*Gf*) [25], загальної гомеостатичності (*Hom*), селекційної цінності (*Sc*), коефіцієнта адаптивності (*CA*), ефектів загальної адаптаційної здатності (*GAC*), специфічної адаптаційної здатності (*SAC*), варіанси взаємодії geno-типу та середовища ($\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$), варіанси специфічної

адаптаційної здатності (σ^2_{SACi}), відносної стабільності генотипу (*s_{gi}*), селекційного значення генотипу (*SVG_i*), коефіцієнта компенсації-дестабілізації генотипу (*K_{gi}*), коефіцієнта нелінійності реакції генотипу на навко-лишнє середовище (*I_{gi}*) [31].

Проведено кореляційний та кластерний аналізи між індексами врожайності насіння та посухостійкості і показниками адаптивності для визначення найкращих посухостійких гібридів, індексів та показників адаптив-ності. Аналіз головних компонентів (PCA) проводили на основі спостережень. Кореляційний, кластерний аналізи, так і PCA проводили за допомогою Microsoft © Excel 2016/XLSTAT © -Pro (Version 2016.02.28451, 2016, Addinsoft, Inc., Бруклін, Нью-Йорк, США), Statistica data analysis software system v.8. (Sta Stof Inc., North Melbourne, Australia) та SPSS 20.00 statistical software (SPSS/PC-20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Результати дослідження та їх обговорення.

Отримані експериментальні дані за інтенсивності посухи 0,403 дозволили виділити гібриди соняшника, що істотно перевищують середньогібридну за урожай-ністю в стресових умовах: *Generalis*, *Isida* і *Hysun 158 IT* 1,912–2,052 т/га, а за умов достатнього зволоження гібрид *Fushia KC* з урожайністю 3,088 т/га (табл. 2).

За індексами середньої врожайності *MP* (2,352–2,396), толерантності до стресу *STI* (0,78–0,79) та модифікованим індексом толерантності до стресу *MSTI* (1,02–1,08) були виділені гібриди *Isida* і *Fushia KC*.

За індексами чутливості до посухи (*SSI*) зі зна-ченнями 0,35–0,45, толерантності до посухи (*TOL*) – 0,339–0,429, стабільності врожаю (*YSI*) – 0,82–0,86, від-носної посухостійкості (*RDI*) – 1,37–1,44, схильності до стресу (*SSPI*) –6,51–8,23 та абіотичної толерантності (*ATI*) – 0,45–0,54 були виділені гібриди *Generalis* і *Hysun 158 IT*.

За індексами урожайності *YI* (132,1), посухостійкості (*DI*) – 1,13 та стійкості до стресу (*ISR*) – 102,1 був виді-лений гібрид *Hysun 158 IT*.

За індексом середньої геометричної урожайності *GMP* (2,21–2,31) виділені гібриди *Boston*, *Isida*, *Hysun 158 IT* та *Fushia KC*.

За першим модифікованим індексом толерантності до стресу *M₁STI* (1,09) – *Fushia KC*, а за другим моди-фікованим індексом толерантності до стресу *M₂STI* (1,19–1,26) виділилися гібриди *Isida* і *Hysun 158 IT*.

Таблиця 1

Погодні умови проведення досліджень

	Середньобагаторічні			2020			2021		
	Т (°C)	Р (мм)	j	Т (°C)	Р (мм)	j	Т (°C)	Р (мм)	, %
квітень	9,6	28,0	73	9,5	7,5	54	8,9	41,4	71
травень	15,6	38,0	68	14,9	32,4	66	16,9	97,7	69
червень	20,0	46,0	64	22,2	49,3	64	20,7	89,2	77
липень	22,4	42,0	59	24,7	44,2	53	25,3	76,7	62
серпень	21,6	35,0	59	23,1	36,4	51	24,4	25,3	61
вересень	16,4	28,0	67	20,4	21,5	55	16,9	1,1	61
квітень – серпень	17,8	189,0	65	18,9	169,8	58	19,2	330,3	68
квітень – вересень	17,6	217,0	65	19,1	191,3	57	18,8	331,4	67

Таблиця 2

Урожайність насіння гібридів соняшника за різних умов зволоження та індекси посухостійкості (2020, 2021 рр.)

Гібрид	Позначення	Y_{opt}	Y_{lim}	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M_1STI	M_2STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Boston	G1	2,817	1,737	2,277	0,95	1,080	0,62	111,8	0,72	2,21	1,03	0,69	20,75	0,85	0,90	0,76	1,43	2,15	11,8
Electric	G2	2,801	1,439	2,120	1,21	1,362	0,51	92,6	0,59	2,01	0,86	0,48	26,17	0,69	0,51	0,35	1,63	1,90	6,1
Epic	G3	2,203	1,150	1,677	1,19	1,053	0,52	74,0	0,37	1,59	0,87	0,39	20,23	0,27	0,21	0,05	1,00	1,51	5,0
Generalis	G4	2,342	1,914	2,128	0,45	0,429	0,82	123,2	0,66	2,12	1,37	1,01	8,23	0,54	1,00	0,54	0,54	2,11	57,2
Isida	G5	2,793	1,912	2,352	0,78	0,881	0,68	123,1	0,79	2,31	1,15	0,84	16,93	0,91	1,19	1,08	1,21	2,27	19,2
Proxima	G6	2,219	1,303	1,761	1,02	0,917	0,59	83,9	0,43	1,70	0,98	0,49	17,61	0,31	0,30	0,09	0,93	1,64	7,6
Hysun 158 IT	G7	2,391	2,052	2,222	0,35	0,339	0,86	132,1	0,72	2,22	1,44	1,13	6,51	0,61	1,26	0,77	0,45	2,21	102,1
Hysun 162 IT	G8	2,645	1,402	2,024	1,17	1,243	0,53	90,3	0,55	1,93	0,89	0,48	23,88	0,57	0,45	0,25	1,43	1,83	6,3
Hysun 218	G9	2,711	1,570	2,140	1,04	1,141	0,58	101,0	0,63	2,06	0,97	0,59	21,92	0,68	0,64	0,44	1,40	1,99	8,9
P63LE10	G10	2,522	1,399	1,961	1,10	1,123	0,55	90,1	0,52	1,88	0,93	0,50	21,58	0,49	0,42	0,21	1,26	1,80	7,1
Chester	G11	2,807	1,594	2,200	1,07	1,214	0,57	102,6	0,66	2,11	0,95	0,58	23,32	0,77	0,70	0,53	1,53	2,03	8,5
Fushia KC	G12	3,088	1,704	2,396	1,11	1,385	0,55	109,7	0,78	2,29	0,92	0,60	26,60	1,09	0,93	1,02	1,90	2,20	8,5
Гольфстрим	G13	2,683	1,486	2,084	1,11	1,198	0,55	95,6	0,59	2,00	0,93	0,53	23,01	0,63	0,54	0,34	1,43	1,91	7,5
Драган	G14	2,599	1,534	2,066	1,02	1,065	0,59	98,8	0,59	2,00	0,99	0,58	20,45	0,59	0,57	0,34	1,27	1,93	9,1
Pimicol	G15	2,417	1,108	1,762	1,34	1,309	0,46	71,3	0,40	1,64	0,77	0,33	25,15	0,34	0,20	0,07	1,28	1,52	3,8
Середнє		2,603	1,554	2,078	0,99	1,049	0,60	100,0	0,60	2,00	1,00	0,61	20,16	0,62	0,66	0,46	1,25	1,93	17,9

Інтенсивність посухи, D

0,403

V, %	9,63	17,66	10,27	27,44	29,21	18,45	17,67	21,66	11,23	18,37	35,99	29,22	36,23	51,30	71,79	30,91	12,50	149,03
Sx _{абс.}	0,06	0,07	0,06	0,07	0,08	0,03	4,56	0,03	0,06	0,05	0,06	1,52	0,06	0,09	0,08	0,10	0,06	6,89
Sx _{віднос.}	2,49	4,56	2,65	7,09	7,54	4,76	4,56	5,59	2,90	4,74	9,29	7,54	9,36	13,24	18,53	7,98	3,23	38,48
HIP ₀₁	0,21	0,22	0,17	0,22	0,25	0,09	14,46	0,11	0,18	0,15	0,18	4,82	0,18	0,27	0,27	0,32	0,20	21,85
HIP ₀₅	0,15	0,16	0,13	0,16	0,18	0,07	10,45	0,08	0,13	0,11	0,13	3,48	0,13	0,20	0,19	0,23	0,14	15,79

За індексом гармонійної продуктивності HMP (2,20–2,21) були виділені гібриди Hysun 158 IT і Fushia KC.

Гібрид Hysun 158 IT був виділений, як найбільш посухостійкий, за тринадцятьма індексами.

Індекс стресового середовища становив -0,524, а при достатньому зволоженні 0,524. Найбільшою середньою врожайністю (Ymean) характеризувалися гібриди Isida – 2,353 т/га та Fushia KC – 2,396 (табл. 3).

Найбільшим рівнем стійкості досліджуваних гібридів до стресових умов (RS), а відповідно і найменшим значенням характеризувалися Generalis – 0,43 та Hysun 158 IT – 0,34. Гібриди Electric та Fushia KC зі значеннями 1,36–1,38 виявилися найбільш нестійкими до стресових умов.

За селекційною цінністю сорту (Sc) виділені гібриди Generalis – 1,74 та Hysun 158 IT – 1,91. За генетичною гнучкістю (Gf) виділені гібриди Isida – 2,35 та Fushia KC – 2,40.

За коефіцієнтом регресії (b_i), що є критерієм оцінки рівня екологічної пластичності і вказує на реакцію генотипу на зміну умов середовища, виділені гібриди інтенсивного типу (b_i > 1) Electric – 1,30 і Fushia KC – 1,32, стабільного типу (b_i < 1) Generalis – 0,41 і Hysun 158 IT – 0,32. Якщо b_i = 1, то гібрид добре адаптований до різноманітних умов вирощування, таким є гібрид Epic – 1,00.

За коефіцієнтом адаптивності (CA) виділилися гібриди Isida – 113,2 і Fushia KC – 115,3. Найвищими значеннями гомеостатичності (Hom) характеризувалися гібриди Generalis – 51,3 та Hysun 158 IT – 70,5.

Найвищим ефектом загальної адаптивної здатності (GAC) відзначився гібрид Fushia KC – 0,32, найменшим значенням – Epic – -0,40 (табл. 4).

Стабільність реакції генотипу на зміни умов середовища за продуктивністю визначається величиною варіанси (σ^2_{CA3i}), встановлені найбільш стабільні гібриди Generalis – 0,007 та Hysun 158 IT – 0,004. Гібриди Electric – 0,066 та Fushia KC – 0,068 є нестабільними.

За показником відносної стабільності генотипу (s_{gi}), з найменшими його значеннями, були виділені гібриди Generalis – 3,8 та Hysun 158 IT – 2,9, а за селекційною цінністю генотипу (SVG_i) також виділилися гібриди Generalis – 1,71 та Hysun 158 IT – 1,89.

Гібриди Boston, Epic та Драган характеризувалися найменшими значеннями (0,00000–0,00003) варіанси взаємодії генотипу та середовища ($\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$), і володіли лінійною реакцією (l_{gi}) на зміну умов середовища (0,000–0,001). Проте у них переважав ефект дестабілізації характеризувалися K_{gi} > 1. Найнижчими значеннями коефіцієнту компенсації (K_{gi}) характеризувалися гібриди Generalis – 0,17 та Hysun 158 IT – 0,10, нато-

Таблиця 3

Гомеостатичність, екологічна пластичність і адаптивність гібридів соняшника за ознакою урожайності насіння (2020, 2021 рр.)

Гібрид	Позначення	Урожайність, т/га		Параметри адаптивності					
		$Y_{lim} - Y_{opt}$	Y_{mean}	RS	Sc	Gf	b_i	CA	Hom
Boston	G1	1,737–2,817	2,277	1,08	1,40	2,28	1,03	109,6	23,3
Electric	G2	1,439–2,801	2,120	1,36	1,09	2,12	1,30	102,0	16,0
Epic	G3	1,150–2,203	1,677	1,05	0,88	1,68	1,00	80,7	12,9
Generalis	G4	1,914–2,342	2,128	0,43	1,74	2,13	0,41	102,4	51,3
Isida	G5	1,912–2,793	2,352	0,88	1,61	2,35	0,84	113,2	30,4
Proxima	G6	1,303–2,219	1,761	0,92	1,03	1,76	0,87	84,7	16,4
Hysun 158 IT	G7	2,052–2,391	2,222	0,34	1,91	2,22	0,32	106,9	70,5
Hysun 162 IT	G8	1,402–2,645	2,024	1,24	1,07	2,02	1,19	97,4	16,0
Hysun 218	G9	1,570–2,711	2,140	1,14	1,24	2,14	1,09	103,0	19,5
P63LE10	G10	1,399–2,522	1,961	1,12	1,09	1,96	1,07	94,3	16,6
Chester	G11	1,594–2,807	2,200	1,21	1,25	2,20	1,16	105,9	19,3
Fushia KC	G12	1,704–3,088	2,396	1,38	1,32	2,40	1,32	115,3	20,1
Гольфстрим	G13	1,486–2,683	2,084	1,20	1,15	2,08	1,14	100,3	17,6
Драган	G14	1,534–2,599	2,066	1,07	1,22	2,07	1,02	99,4	19,4
Рімісол	G15	1,108–2,417	1,762	1,31	0,81	1,76	1,25	84,8	11,5
Середнє		1,554–2,603	2,078	1,05	1,25	2,08	1,00	100,0	24,0
V, %		9,63–17,66	10,27	29,12	24,36	10,29	29,30	10,28	66,56
Sx _{абс.}		0,06–0,07	0,06	0,08	0,08	0,05	0,08	2,65	4,13
Sx _{віднос.}		2,49–4,56	2,65	7,51	6,29	2,66	7,56	2,65	17,19
HIP ₀₁		0,21–0,22	0,17	0,25	0,25	0,17	0,24	8,41	13,10
HIP ₀₅		0,15–0,16	0,13	0,18	0,18	0,13	0,17	6,08	9,47

Таблиця 4

Параметри адаптивних властивостей гібридів соняшника за ознакою урожайності насіння (2020, 2021 рр.)

Гібрид	Позначення	Урожайність, т/га		Параметри адаптивності						
		$Y_{lim} - Y_{opt}$	Y_{mean}	GAC _i	$\sigma^2_{(G \times E)gi}$	σ^2_{SACi}	s _{gi}	SVG _i	K _{gi}	I _{gi}
Boston	G1	1,737–2,817	2,277	0,20	0,00003	0,042	9,0	1,22	1,06	0,001
Electric	G2	1,439–2,801	2,120	0,04	0,00350	0,066	12,1	0,79	1,69	0,053
Epic	G3	1,150–2,203	1,677	-0,40	0,00000	0,040	11,9	0,65	1,01	0,000
Generalis	G4	1,914–2,342	2,128	0,05	0,01377	0,007	3,8	1,71	0,17	2,106
Isida	G5	1,912–2,793	2,352	0,27	0,00100	0,028	7,1	1,49	0,71	0,036
Proxima	G6	1,303–2,219	1,761	-0,32	0,00063	0,030	9,8	0,87	0,76	0,021
Hysun 158 IT	G7	2,052–2,391	2,222	0,14	0,01800	0,004	2,9	1,89	0,10	4,390
Hysun 162 IT	G8	1,402–2,645	2,024	-0,05	0,00134	0,055	11,6	0,81	1,40	0,024
Hysun 218	G9	1,570–2,711	2,140	0,06	0,00030	0,046	10,1	1,03	1,18	0,006
P63LE10	G10	1,399–2,522	1,961	-0,12	0,00019	0,045	10,8	0,86	1,15	0,004
Chester	G11	1,594–2,807	2,200	0,12	0,00096	0,053	10,4	1,02	1,34	0,018
Fushia KC	G12	1,704–3,088	2,396	0,32	0,00401	0,068	10,9	1,04	1,74	0,059
Гольфстрим	G13	1,486–2,683	2,084	0,01	0,00078	0,051	10,9	0,91	1,30	0,015
Драган	G14	1,534–2,599	2,066	-0,01	0,00001	0,041	9,7	1,03	1,03	0,000
Рімісол	G15	1,108–2,417	1,762	-0,32	0,00241	0,061	14,0	0,48	1,56	0,039
Середнє		1,554–2,603	2,078	0,00	0,00313	0,042	9,7	1,05	1,08	0,452
V, %		9,63–17,66	10,27	32043	169,99	44,59	31,00	36,45	45,00	266,41
Sx _{абс.}		0,06–0,07	0,06	0,05	0,001	0,005	0,77	0,10	0,12	0,31
Sx _{віднос.}		2,49–4,56	2,65	8274	43,89	11,51	8,00	9,41	11,62	68,79
HIP ₀₁		0,21–0,22	0,17	0,17	0,004	0,015	2,45	0,31	0,40	0,98
HIP ₀₅		0,15–0,16	0,13	0,13	0,003	0,012	1,77	0,23	0,29	0,71

мість у гібридів *Electric* – 1,69 та *Fushia KC* – 1,74 – найвищі значення.

Між врожайністю за різних умов зволоження має місце середня позитивна кореляційна залежність $r = 0,321$. Урожайність гібридів соняшника за обох умов зволоження має високий позитивний кореляційний зв'язок ($r = 0,701-0,898$) з індексами MP (Y_{mean}), STI , Gf , CA та GAC_i . Урожайність за стресових умов характеризується високою позитивною залежністю з індексами YSI , YI , GMP , RDI , DI , M_2STI , $MSTI$, HMP та ISR ($r = 0,714-1,000$) та показниками адаптивності Sc , Hom і SVG_i ($r = 0,814-0,981$), а з індексом SSI та s_{gi} високу від'ємну $r = -0,856-0,869$, натомість з урожайністю при оптимальних умовах зволоження залежність або відсутня, або середня (YI , GMP , M_2STI , $MSTI$ та HMP). Урожайність за оптимальних умов мала високу кореляцію з показниками M_1STI і ATI , ($r = 0,805-0,918$), натомість з врожайністю при стресі – середня $r = 0,638$ (M_1STI) та низька від'ємна $r = -0,298$ (ATI). Індокси TOL і $SSPI$ та показники адаптивності b_i , RS , $\sigma^2_{SAC_i}$ і K_{gi} характеризувалися з врожайністю при стресі середньою від'ємною залежністю ($r = -0,584-0,634$), натомість з врожайністю за оптимальних умов середню позитивну ($r = 0,528-0,564$) (табл. 5, 6).

За результатами GGE біплот-аналізу гібриди соняшника *Generalis* (G4) і *Hysun 158 IT* (G7), що знаходиться в одній чверті з вектором урожайності при стресі (Y_{lim}) та наближені до його вершини, формують високу урожайність за стресових умов зволоження і їх можна віднести до стабільних по відношенню до вологості гібридів (рис. 1).

Гібрид соняшника *Fushia KC* (G12), що знаходиться в одній чверті з вектором урожайності за кращих умов

зволоження (Y_{opt}) та максимально наближений до його вершини характеризуються високою продуктивністю за достатнього вологозабезпечення і його можна характеризувати як гібрид інтенсивного типу по відношенню до вологості. Також до цього типу можна віднести і гібриди *Electric* (G2) і *Chester* (G11).

Гібрид соняшника *Boston* (G1), що знаходиться в одній чверті з вектором урожайності за оптимальних умов (Y_{opt}), але наближений до осі абсцис, тобто між векторами умов середовища, формує високу урожайність за обох умов зволоження. Цей гібрид можна віднести до пластичних, що добре пристосований до різних умов зволоження.

Гібрид соняшника *Epic* (G3), що знаходиться біля осі абсцис на межі III та IV чвертей, формує високу урожайність за обох умов зволоження та його можна віднести до пластичних, проте у нього продуктивність нижча ніж у гібрида *Boston* (G1).

За агломеративним ієрархічним кластерним аналізом середньоранні гібриди соняшника були поділені на три кластера по відношенню до посухи (рис. 2).

Найбільш посухостійкими виявилися гібриди G4 – *Generalis* і G7 – *Hysun 158 IT*, що утворили кластер 3. Гібриди G3 – *Epic*, G6 – *Proxima* і G15 – *Pimicol* з найменшою продуктивністю за обох умов утворили 2 кластер. Останні десять гібридів об'єдналися у 1 кластер.

Також був проведений кластерний аналіз гібридів соняшника методом k-середніх. До 1 кластера увійшли п'ять різних за толерантністю до посухи гібридів, порівняно з агломеративним ієрархічним кластерним аналізом, до пластичних G1 – *Boston* і G5 – *Isida* та гібрида інтенсивного типу G12 – *Fushia KC* добавилися гібриди

Таблиця 5

Матриця кореляційних зв'язків між урожайністю насіння гібридів соняшника за різних умов зволоження та індексами посухостійкості (2020, 2021 рр.)

	Y_{opt}	Y_{lim}	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	$SSPI$	M_1STI	M_2STI	$MSTI$	ATI	HMP	ISR
Y_{opt}	1,000	0,321	0,793	0,212	0,530	-0,218	0,321	0,701	0,697	-0,212	-0,012	0,530	0,918	0,381	0,643	0,805	0,610	-0,295
Y_{lim}	0,321	1,000	0,832	-0,856	-0,632	0,852	1,000	0,898	0,903	0,856	0,940	-0,633	0,638	0,985	0,853	-0,298	0,945	0,714
MP	0,793	0,832	1,000	-0,426	-0,096	0,420	0,831	0,988	0,989	0,426	0,597	-0,096	0,949	0,856	0,926	0,280	0,966	0,287
SSI	0,212	-0,856	-0,426	1,000	0,940	-1,000	-0,856	-0,541	-0,551	-1,000	-0,977	0,940	-0,156	-0,803	-0,519	0,744	-0,640	-0,909
TOL	0,530	-0,632	-0,096	0,940	1,000	-0,941	-0,633	-0,230	-0,238	-0,939	-0,851	1,000	0,179	-0,570	-0,238	0,926	-0,347	-0,881
YSI	-0,218	0,852	0,420	-1,000	-0,941	1,000	0,852	0,536	0,546	0,999	0,976	-0,941	0,150	0,799	0,513	-0,748	0,635	0,910
YI	0,321	1,000	0,831	-0,856	-0,633	0,852	1,000	0,897	0,903	0,856	0,940	-0,633	0,638	0,985	0,853	-0,299	0,945	0,714
STI	0,701	0,898	0,988	-0,541	-0,230	0,536	0,897	1,000	0,998	0,541	0,696	-0,230	0,910	0,920	0,956	0,148	0,991	0,386
GMP	0,697	0,903	0,989	-0,551	-0,238	0,546	0,903	0,998	1,000	0,551	0,704	-0,238	0,900	0,916	0,936	0,140	0,993	0,398
RDI	-0,212	0,856	0,426	-1,000	-0,939	0,999	0,856	0,541	0,551	1,000	0,978	-0,939	0,154	0,803	0,517	-0,745	0,640	0,911
DI	-0,012	0,940	0,597	-0,977	-0,851	0,976	0,940	0,696	0,704	0,978	1,000	-0,851	0,346	0,906	0,670	-0,601	0,776	0,886
$SSPI$	0,530	-0,633	-0,096	0,940	1,000	-0,941	-0,633	-0,230	-0,238	-0,939	-0,851	1,000	0,179	-0,570	-0,238	0,926	-0,347	-0,881
M_1STI	0,918	0,638	0,949	-0,156	0,179	0,150	0,638	0,910	0,900	0,154	0,346	0,179	1,000	0,696	0,887	0,532	0,850	0,019
M_2STI	0,381	0,985	0,856	-0,803	-0,570	0,799	0,985	0,920	0,916	0,803	0,906	-0,570	0,696	1,000	0,917	-0,233	0,950	0,679
$MSTI$	0,643	0,853	0,926	-0,519	-0,238	0,513	0,853	0,956	0,936	0,517	0,670	-0,238	0,887	0,917	1,000	0,118	0,933	0,374
ATI	0,805	-0,298	0,280	0,744	0,926	-0,748	-0,299	0,148	0,140	-0,745	-0,601	0,926	0,532	-0,233	0,118	1,000	0,029	-0,758
HMP	0,610	0,945	0,966	-0,640	-0,347	0,635	0,945	0,991	0,993	0,640	0,776	-0,347	0,850	0,950	0,933	0,029	1,000	0,476
ISR	-0,295	0,714	0,287	-0,909	-0,881	0,910	0,714	0,386	0,398	0,911	0,886	-0,881	0,019	0,679	0,374	-0,758	0,476	1,000

* – Confidence interval (%): 95

Таблиця 6

Матриця кореляційних зв'язків між максимальною і мінімальною урожайністю насіння гібридів соняшника та гомеостатичністю, екологічною пластичністю і параметрами адаптивності (2016–2020 рр.)

	Y_{opt}	Y_{lim}	Y_{mean}	b_i	RS	Sc	Gf	CA	Hom	GAC_i	$\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$	$\sigma^2_{SAC_i}$	s_{gi}	SVG _i	K_{gi}	I_{gi}
Y_{opt}	1,000	0,321	0,793	0,533	0,528	0,136	0,793	0,794	-0,203	0,796	-0,260	0,564	0,185	0,026	0,564	-0,338
Y_{lim}	0,321	1,000	0,832	-0,630	-0,634	0,981	0,831	0,831	0,814	0,829	0,630	-0,585	-0,869	0,955	-0,584	0,629
Y_{mean}	0,793	0,832	1,000	-0,093	-0,098	0,711	1,000	1,000	0,405	1,000	0,253	-0,046	-0,450	0,629	-0,044	0,207
b_i	0,533	-0,630	-0,093	1,000	1,000	-0,765	-0,093	-0,092	-0,894	-0,089	-0,776	0,985	0,928	-0,832	0,984	-0,839
RS	0,528	-0,634	-0,098	1,000	1,000	-0,768	-0,098	-0,097	-0,896	-0,094	-0,778	0,985	0,930	-0,835	0,984	-0,841
Sc	0,136	0,981	0,711	-0,765	-0,768	1,000	0,710	0,710	0,906	0,707	0,737	-0,717	-0,943	0,992	-0,715	0,747
Gf	0,793	0,831	1,000	-0,093	-0,098	0,710	1,000	1,000	0,404	1,000	0,252	-0,045	-0,450	0,629	-0,044	0,205
CA	0,794	0,831	1,000	-0,092	-0,097	0,710	1,000	1,000	0,404	1,000	0,252	-0,045	-0,449	0,629	-0,044	0,206
Hom	-0,203	0,814	0,405	-0,894	-0,896	0,906	0,404	0,404	1,000	0,401	0,924	-0,820	-0,941	0,922	-0,816	0,954
GAC_i	0,796	0,829	1,000	-0,089	-0,094	0,707	1,000	1,000	0,401	1,000	0,250	-0,042	-0,447	0,626	-0,040	0,203
$\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$	-0,260	0,630	0,253	-0,776	-0,778	0,737	0,252	0,252	0,924	0,250	1,000	-0,658	-0,782	0,745	-0,653	0,955
$\sigma^2_{SAC_i}$	0,564	-0,585	-0,046	0,985	0,985	-0,717	-0,045	-0,045	-0,820	-0,042	-0,658	1,000	0,899	-0,795	1,000	-0,746
s_{gi}	0,185	-0,869	-0,450	0,928	0,930	-0,943	-0,450	-0,449	-0,941	-0,447	-0,782	0,899	1,000	-0,976	0,898	-0,818
SVG _i	0,026	0,955	0,629	-0,832	-0,835	0,992	0,629	0,629	0,922	0,626	0,745	-0,795	-0,976	1,000	-0,794	0,769
K_{gi}	0,564	-0,584	-0,044	0,984	0,984	-0,715	-0,044	-0,044	-0,816	-0,040	-0,653	1,000	0,898	-0,794	1,000	-0,742
I_{gi}	-0,338	0,629	0,207	-0,839	-0,841	0,747	0,205	0,206	0,954	0,203	0,955	-0,746	-0,818	0,769	-0,742	1,000

* – Confidence interval (%): 95

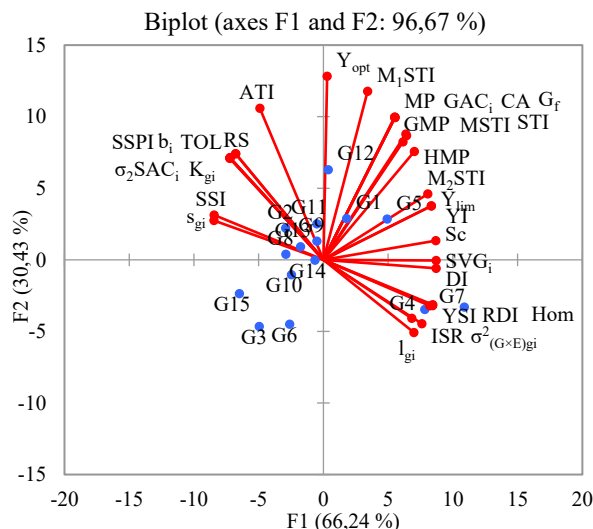
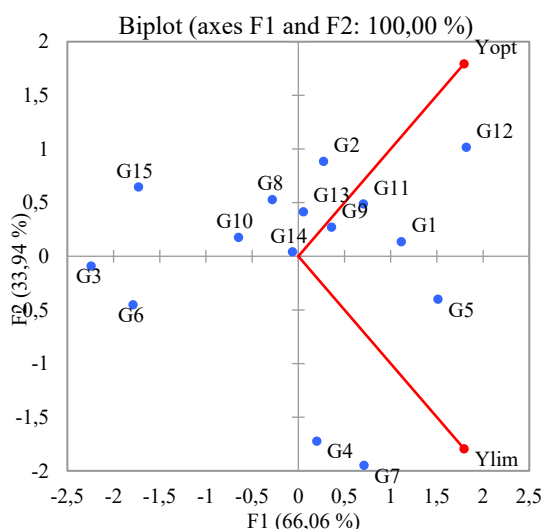


Рис. 1. Генотип-середовищна взаємодія гібридів соняшника і середовищ (метод біplot-аналіз). Лініями показані власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● – умови зволоження; ● – гібриди

стабільного типу G4 – *Generalis* і G7 – *Hysun 158 IT*, що перейшли з третього кластера. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у гібрида G5 – *Isida* на рівні 0,117, натомість найбільша 0,432 у гібрида G12 – *Fushia KC* (табл. 7).

До 2 кластера увійшли сім гібридів, а до 3 кластера три гібриди з різною резистентністю до посухи.

Висновки. Виділені індекси SSI, YSI, YI, GMP, RDI, DI, M₂STI, MSTI, HMP, ISR та показниками адаптивності Sc, Hom, s_{gi} і SVG_i, що найбільш повно характеризують

стійкість гібридів соняшника до посухи. Індекси TOL і SSPI та показники адаптивності b_i, σ²_{SACi} і K_{gi} розділяють гібриди на інтенсивні, пластичні та стабільні за їх реакцією на стрес дефіциту вологи.

За індексами посухостійкості, показниками адаптивності до посухи та біplot-аналізом, як найбільш посухостійкими виділені гібриди *Generalis* і *Hysun 158 IT*, гібриди *Boston*, *Isida* і *Epic* виділені як пластичні, а гібриди *Fushia KC* і *Electric* як найбільш нестійкий до посухи, або гібриди інтенсивного типу.

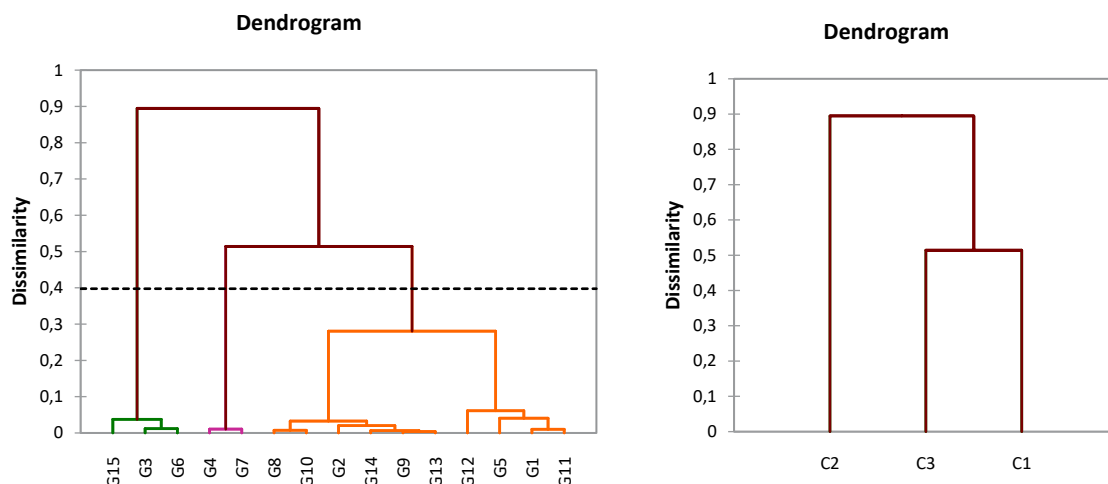


Рис. 2. Дендрограма кластеризації десяти гібридів соняшника за посухостійкістю

Таблиця 7

Кластеризація п'ятнадцяти гібридів соняшника за посухостійкістю методом k-середніх і агломеративного ієрархічного кластерного аналізу

Гібрид	Позначення	Кластеризація k-середніх		Агломеративна ієрархічна кластеризація
		Кластер	Відстань до центру кластера	Кластер
<i>Boston</i>	G1	1	0,182	1
<i>Electric</i>	G2	2	0,130	1
<i>Epic</i>	G3	3	0,085	2
<i>Generalis</i>	G4	1	0,348	3
<i>Isida</i>	G5	1	0,117	1
<i>Proxima</i>	G6	3	0,131	2
<i>Hysun 158 IT</i>	G7	1	0,350	3
<i>Hysun 162 IT</i>	G8	2	0,094	1
<i>Hysun 218</i>	G9	2	0,086	1
<i>P63LE10</i>	G10	2	0,183	1
<i>Chester</i>	G11	2	0,164	1
<i>Fushia KC</i>	G12	1	0,432	1
<i>Гольфстрим</i>	G13	2	0,004	1
<i>Драган</i>	G14	2	0,094	1
<i>Рімісол</i>	G15	3	0,158	2

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Anderson W.K., Brennan R.F., Jayasena K.W., Micic S., Moore J.H., Nordblom T. Tactical crop management for improved productivity in winter-dominant rainfall regions: a review. *Crop & Pasture Science*. 2020, Vol. 71, P. 621–644. <https://doi.org/10.1071/CP19315>
- Blum A. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 1988
- Bousslama M., Schapaugh W.T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984, Vol. 24, № 5. P. 933–937. doi:10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
- Ceglar A., Toretì A., Lecerf R., Van der Velde M., Dentener F. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agric. For. Meteorol.* 2016, Vol. 216, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.10.004>
- Chakherchaman S.A., Mostafaei H., Imanparast L. and Eivazian M.R. Evaluation of drought tolerance in lentil advanced genotypes in Ardabil region. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2009. Vol. 7. P. 283-288
- Chawade A., Armoniené R., Berg G., Brazauskas G., Frostgård G., Geleta M., Gorash A., Henriksson T., Himanen K., Ingver A. A transnational and holistic breeding approach is needed for sustainable wheat production in the Baltic Sea region. *Physiol. Plant*. 2018, Vol. 164, 442–451. <https://doi.org/10.1111/ppl.12726>
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.* 1966. Vol. 6. № 1. P. 36–40.

8. Farshadfar E., Sutka J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun.* 2002. Vol. 31. P. 33-40. <https://www.jstor.org/stable/23787201>
9. Fernandez C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Aug. 13–16. Shanhu, Taiwan, 1992. P. 257–270.
10. Fisher R.A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research.* 1978. Vol. 29, № 5. P. 897–912. doi.org/10.1071/AR9780897
11. Gavuzzi P., Rizza F., Palumbo M. et al. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journals of Plant Science.* 1997. Vol. 77, № 4. P. 523–531.
12. González-Alonso A., Ramírez-Tortosa C., Varela-López A., Roche E., Arribas M. et al. Sunflower Oil but Not Fish Oil Resembles Positive Effects of Virgin Olive Oil on Aged Pancreas after Life-Long Coenzyme Q Addition. *Int. J. Mol. Sci.* 2015. Vol. 16. P. 23425–23445
13. Iqbal N., Ashraf M., Ashraf M.Y. and Azam F. Effect of exogenous application of glycinebetaine on capitulum size and achene number of sunflower under water stress. *International Journal of Biology and Biotechnology.* 2005. Vol. 2, Issue 3. P. 765-771.
14. Jafari A., Paknejad F., Jami Al-Ahmadi M. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Inter J Plant Prod.* 2009. Vol. 3, Issue 4. P. 33-38.
15. Khatun M., Hossain T.M., Miah M.M., Khandoker S., Rashid M.A. Profitability of sunflower cultivation in some selected sites of Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 2016. Vol. 41. P. 599–623.
16. Konovalova V.M., Tyshchenko A.V., Bazalii H.G., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D. et al. Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (Part 2 – drought years). *Аграрні інновації.* 2023. № 20. С. 82–92. <https://doi.org/10.32848/аграр.іnnov.2023.20.13>
17. Konovalova V.M., Tyshchenko A.V., Bazalii H.H., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D., et al. Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Аграрні інновації.* 2023. № 19. С. 140–150. <https://doi.org/10.32848/аграр.іnnov.2023.19.22>
18. Kristin A.S., Serna R.R., Perez F.I., Enriquez B.C., Gallegos J.A.A., et al. Improving common bean performance under drought stress. *CropSci.* 1997. Vol. 37. P. 43-50.
19. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica.* 1998. Vol. 7. P. 85–87.
20. Lavrynenko Y., Tyshchenko A., Bazalii H., Konovalova V., Zhupyna A., et al. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of Southern Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXVI, No. 2, 2023. P. 294–301. ISSN 2285-5785
21. Lin C.S., Binns M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. PlantSci.* 1988. Vol. 68. P. 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
22. Moosavi S.S., Yazdi-Samadi B., Naghavi M.R., Zali A.A., Dashti H., Pourshahbazi A. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert.* 2008. Vol. 12, Issue 2. P. 165-178.
23. Ojha A. & Ojha B.R. Assessment of Morpho-Physiological, Yield and Yield Attributing Traits Related to Post Anthesis Drought in Wheat Genotypes Under Rainfed Condition in Rampur, Chitwan. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.* 2020, Vol. 8, Issue 3, P. 323-335. DOI: 10.3126/ijasbt.v8i3.31609
24. Rauf S. Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance, *Commun. Biom. Crop Sci.*, 2008, Vol. 3, P. 29-44
25. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science.* 1981. Vol. 21, № 6. P. 943–946. [doi:10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x](https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x)
26. Škorić D. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia.* 2009. Vol.32(50). P. 1-16.
27. Subira J., Álvaro F., del Moral L.F.G., & Royo C. Breeding effects on the cultivar × environment interaction of durum wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 2015, Vol. 68, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.009>
28. Team B.A. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. In *Regional Climate Studies*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015, Vol. 6, pp. 131–144.
29. Tyshchenko A.V., Konovalova V.M., Bazalii H.H., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D. et al. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Аграрні інновації.* 2023. № 19. С. 190–200. <https://doi.org/10.32848/аграр.іnnov.2023.19.29>
30. Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Fundirat K.S., Piliarska O.O. Methods of determining the drought resistance of plants. *Scientific Collection «InterConf+»*, 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» (May 19-20, 2023; Vancouver, Canada) by the SPC «InterConf». A.T. International, 2023. P. 343-361. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>
31. Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Fundirat K.S., Piliarska O.O. Methods of determining the adaptability and ecological stability of plants. *Scientific Collection «InterConf+»*, 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» (May 19-20, 2023; Vancouver, Canada) by the SPC «InterConf». A.T. International, 2023. P. 324-342. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.029>
32. Tyshchenko O., Tyshchenko A., Piliarska O., Kuts H., Lykhovyd P. Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes in the conditions of osmotic stress. *AgroLife Scientific Journal.* 2020. Vol. 9, No. 2, P. 353-358. ISSN 2285-5718
33. Vozhehova R., Tyshchenko A., Tyshchenko O., Dymov O., Piliarska O., Lykhovyd P. Evaluation of breeding indices for drought tolerance in alfalfa (*Medicago*) genotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy.* 2021. Vol. LXIV, No. 2. P. 435-444.

34. Yuyi Zhou, Rui He, Yuling Guo, Keke Liu, Guanmin Huang et al. A novel ABA functional analogue B2 enhances drought tolerance in wheat. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 2887. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39013-8>
35. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Димов О.М., Люта Ю.О. Особливості прояву адаптивних ознак у селекційних популяцій люцерни при вирощуванні на насіння. *Вісник СумНАУ. Серія «Агрономія і біологія»*. 2021. Випуск 2(44), С. 3–11. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1>
36. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Димов О.М., Пілярська О.О. Оцінювання посухостійкості селекційного матеріалу люцерни за показниками водного режиму в умовах Півдня України. *Plant Varieties Studying and protection*. 2021, Vol. 17, No 1. С. 21–29. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.1.2021.228204>
37. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Гальченко Н.М. Оцінка посухостійкості популяцій люцерни кормового використання в рік сівби за математичними індексами. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 190–198. DOI <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2022.13.28>
38. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Насіннева продуктивність популяцій люцерни другого року життя та особливості прояву у них адаптивних ознак. *Аграрні інновації*. 2022. № 16. С. 94–103. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2022.16.15>
39. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Особливості прояву адаптивних ознак у популяції люцерни за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 135–144. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2022.14.20>
40. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Визначення посухостійкості популяцій люцерни насінневого використання за математичними індексами. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 1(838). С. 40–48. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-05>
41. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Посухостійкість популяцій люцерни другого року за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 25–36. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2023.17.4>
42. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Формування стійкості рослин насінневої люцерни в умовах різного екологічного градієнта. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 3(840). С. 53–62. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08>
43. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Гальченко Н.М. Оцінка посухостійкості популяцій люцерни за насінневого використання в рік сівби. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 89–96. DOI <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2022.15.14>
44. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Фундират К.С., Коновалова В.М. Адаптивні ознаки та їх прояв у популяції люцерни другого року за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 143–155. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2023.18.20>
45. Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Люта Ю.О. Оцінка генотипів люцерни за насінневою продуктивністю на посухостійкість. *Таврійський науковий вісник*. Херсон: ВД «Гельветика», 2021. № 120. С. 155–168. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>
46. Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Люта Ю.О., Пілярська О.О. Адаптивна здатність – важлива ознака в селекції рослин. *Зрошуване землеробство*. 2021. № 75, С. 101–109. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19>

REFERENCES:

- Anderson, W.K., Brennan, R.F., Jayasena, K.W., Micic, S., Moore, J.H. & Nordblom, T. (2020). Tactical crop management for improved productivity in winter-dominant rainfall regions: a review. *Crop & Pasture Science*, 71, 621–644. <https://doi.org/10.1071/CP19315>
- Blum, A. (1988). Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. ISBN 9781351075718.
- Bouslama, M. & Schapaugh, W.T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), 933–937. doi:10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
- Ceglar, A. et al. (2016). Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agric. For. Meteorol.*, 216, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.10.004>
- Chakherchaman, S.A., Mostafaei H., Imanparast L., & Eivazian, M.R. (2009). Evaluation of drought tolerance in lentil advanced genotypes in Ardabil region. *Journal of food, agriculture & environment (JFAE)*, 7, 283–288.
- Chawade, A. et al. (2018). A transnational and holistic breeding approach is needed for sustainable wheat production in the Baltic Sea region. *Physiol. Plant*, 164, 442–451. <https://doi.org/10.1111/ppl.12726>
- Eberhart, S.A & Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.*, 6(1), 36–40.
- Farshadfar, E., & Sutka, J. (2002). Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun.*, 31, 33–40. <https://www.jstor.org/stable/23787201>
- Fernandez, C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Aug. 13–16. Shanhua, Taiwan, P. 257–270.
- Fisher, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research.*, 29(5), 897–912. doi.org/10.1071/AR9780897
- Gavuzzi, P. et al. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journals of Plant Science*, 77(4), 523–531.
- González-Alonso, A., Ramírez-Tortosa, C., Varela-López, A., Roche, E., Arribas, M. et al. (2015). Sunflower Oil but Not Fish Oil Resembles Positive Effects of Virgin Olive Oil on Aged Pancreas after Life-Long Coenzyme Q Addition. *Int. J. Mol. Sci.*, 16, 23425–23445

13. Iqbal, N., Ashraf, M., Ashraf, M.Y. & Azam, F. (2005). Effect of exogenous application of glycinebetaine on capitulum size and achene number of sunflower under water stress. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 2(3), 765-771.
14. Jafari, A., Farzad, P., & Jami Al-Ahmadi, M. (2009). Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production*, 3(4), 33–38.
15. Khatun, M., Hossain, T.M., Miah, M.M., Khandoker, S. & Rashid M.A. (2016). Profitability of sunflower cultivation in some selected sites of Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.*, 41, 599–623.
16. Konovalova, V.M., Tyshchenko, A.V., Bazalii, H.G., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023). Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (Part 2 – drought years). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 20, 82–92. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.13>
17. Konovalova, V.M., Tyshchenko, A.V., Bazalii, H.H., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023) Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 19, 140–150. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.22>
18. Kristin, A.S. et al. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *CropSci.*, 37, 43-50.
19. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7, 85–87.
20. Lavrynenko, Y., Tyshchenko, A., Bazalii, H., Konovalova, V., Zhupyna, A. et al. (2023). Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of Southern Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LXVI(2), 294–301. ISSN 2285-5785
21. Lin, C.S. & Binns, M.R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. PlantSci.*, 68, 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
22. Moosavi, S.S. et al. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert.*, 12(2), 165–178.
23. Ojha, A. & Ojha, B.R. (2020). Assessment of Morpho-Physiological, Yield and Yield Attributing Traits Related to Post Anthesis Drought in Wheat Genotypes Under Rainfed Condition in Rampur, Chitwan. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.*, 8(3), 323-335. doi.org/10.3126/ijasbt.v8i3.31609
24. Rauf, S. (2008). Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance, *Commun. Biom. Crop Sci.*, 3, 29-44
25. Rosielle, A.A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21(6), 943–946. [doi:10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x](https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x)
26. Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 32(50), 1-16.
27. Subira, J., Álvaro, F., del Moral, L.F.G. & Royo, C. (2015). Breeding effects on the cultivar × environment interaction of durum wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 68, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.009>
28. Team, B.A. (2015). Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. In *Regional Climate Studies*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 6, 131–144.
29. Tyshchenko, A.V., Konovalova, V.M., Bazalii, H.H., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023). Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 19, 190–200. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.29>
30. Tyshchenko A.V. et al. (2023). Methods of determining the drought resistance of plants. *Scientific Collection «InterConf+», 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» by the SPC «InterConf».* (pp. 343-361) A.T. International. Vancouver, Canada. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030> ISSN 2709-4685
31. Tyshchenko A.V. et al. (2023). Methods of determining the adaptability and ecological stability of plants. *Scientific Collection «InterConf+», 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» by the SPC «InterConf».* (pp. 324-342) A.T. International. Vancouver, Canada. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.029> ISSN 2709-4685
32. Tyshchenko, O. et al. (2020). Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes in the conditions of osmotic stress. *AgroLife Scientific Journal*, 9(2), 353–358. ISSN 2285-5718
33. Vozhehova, R. et al. (2021). Evaluation of breeding indices for drought tolerance in alfalfa (*Medicago*) genotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LXIV(2), 435-444.
34. Yuyi, Z. et al. (2019). A novel ABA functional analogue B2 enhances drought tolerance in wheat. *Scientific Reports*. 9:2887. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39013-8>
35. Vozhehova, R. A. et al. (2021). Osoblyvosti proiavu adaptivnykh oznak u selektsiinykh populatsii liutserny pry vyroshchuvanni na nasinnia. [Features of manifestation of adaptive traits in breeding populations of alfalfa when grown from seed]. *Visnyk SumNAU. Seriya «Ahronomiia i biolohiia» – Bulletin of SumNAU. Agronomy and Biology Series*. 2(44). 3-11. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1> [in Ukrainian].
36. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Otsiniuvannia posukhostiikosti selektsiinoho materialu liutserny za pokaznykamy vodnoho rezhymu v umovakh Pivdnia Ukrainy [Evaluation of drought tolerance of alfalfa breeding material based on water regime indicators in Southern Ukraine.]. *Plant Varieties Studying and protection*, 17(1), 21–29. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.1.2021.228204>. [in Ukrainian].
37. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Otsinka posukhostiikosti populatsii liutserny kormovoho vykorystannia v rik sivby za matematychnymy indeksamy [Assessment of drought resistance of fodder alfalfa populations in the year of sowing by mathematical indices]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 13, 190–198. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.28>. [in Ukrainian].
38. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Nasinnieva produktivnist populatsii liutserny druhoho roku zhyttia ta

- osoblyvosti proiavu u nykh adaptyvnykh oznak [Seed productivity of alfalfa populations in the second year of life and the peculiarities of the manifestation of adaptive traits in them]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 16, 94–103. <https://doi.org/10.32848/ahgrar.innov.2022.16.15> [in Ukrainian].
39. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Osoblyvosti proiavu adaptyvnykh oznak u populatsii liutserny za kormovoho vykorystannia [Peculiarities of the manifestation of adaptive traits in alfalfa populations under fodder use]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 14, 135–144. <https://doi.org/10.32848/ahgrar.innov.2022.14.20>. [in Ukrainian].
40. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Vyznachennia posukhostiikosti populatsii liutserny nasinnievoho vykorystannia za matematychnymy indeksamy [Determination of drought resistance of alfalfa populations for seed use by mathematical indices]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 1(838), 40–48. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-05>. [in Ukrainian].
41. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Posukhostiikist populatsii liutserny druhoho roku za kormovoho vykorystannia [Drought resistance of second-year alfalfa populations for fodder use]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 17, 25–36. <https://doi.org/10.32848/ahgrar.innov.2023.17.4> [in Ukrainian].
42. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Formuvannia stiikosti roslin nasinnievoi liutserny v umovakh riznoho ekolohichnoho hradiienta [Formation of resistance of seed alfalfa plants in conditions of different environmental gradients]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 3(840), 53–62. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08> [in Ukrainian].
43. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Otsinka posukhostiikosti populatsii liutserny za nasinnievoho vykorystannia v rik sivby [Assessment of drought resistance of alfalfa populations for seed use in the year of sowing]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 15, 89–96. <https://doi.org/10.32848/ahgrar.innov.2022.15.14>. [in Ukrainian].
44. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Adaptivni oznaky ta yikh proiav u populatsii liutserny druhoho roku za kormovoho vykorystannia [Adaptive traits and their manifestation in alfalfa populations of the second year for fodder use]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 18, 143–155. <https://doi.org/10.32848/ahgrar.innov.2023.18.20> [in Ukrainian].
45. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O. D. & Lyuta, Yu. O. (2021). Otsinka henotypiv liutserny za nasinnievou produktyvnistiu na posukhostiikist. [Evaluation of alfalfa genotypes by seed productivity for drought resistance]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Kherson: VD «Helvetyka» – Taurian Scientific Bulletin. Kherson: Helvetica*. 120. 155–168. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>. [in Ukrainian].
46. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Liuta, Yu.O. & Piliarska, O.O. (2021). Adaptivna zdattnist – vazhlyva oznaka v selektsii roslin [Adaptability is an important feature in plant selection]. *Zroshuvane zemlerobstvo – Irrigated farming*, 75, 101–109. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19>. [in Ukrainian].
- Тищенко А.В., Степанов С.С., Тищенко О.Д., Коновалова В.М., Очкала О.С. Реакція гібридів соняшника середньоранньої групи стиглості на дефіцит вологи в умовах Півдня України**
- Метою** досліджень було вивчення і аналіз екологічної стійкості та адаптивності до нестачі вологи середньоранніх гібридів соняшника в умовах Півдня України. **Матеріали і методи досліджень.** Реакцію десяти гібридів соняшника середньоранньої групи стиглості на різні умови вирощування вивчали в ТОВ «Агропроект Юг» Херсонської області протягом 2020–2021 рр. Дослідження проводилися на двох різних за показниками ґрунту ділянках. Аналіз стійкості гібридів соняшника до дефіциту вологи проводили за допомогою різних математичних індексів посухостійкості та показників адаптивності і екологічної стійкості. **Результати дослідження та їх обговорення.** Отримані експериментальні дані за інтенсивності посухи 0,403 дозволили виділити гібриди соняшника, що істотно перевищують середньогібридну за урожайністю в стресових умовах: Generalis, Isida і Hysun 158 IT 1,912–2,052 т/га, а за умов достатнього зволоження гібрид Fushia KC з урожайністю 3,088 т/га. За індексами MP, STI, MSTI були виділені гібриди Isida і Fushia KC. За індексами SSI, TOL, YSI, RDI, SSPI, ATI – гібриди Generalis і Hysun 158 IT, а за YI, DI, ISR – гібрид Hysun 158 IT. За коефіцієнтом регресії (b_i) виділені гібриди інтенсивного типу Electric – 1,30 і Fushia KC – 1,32, стабільного типу Generalis – 0,41 і Hysun 158 IT – 0,32 та гібрид пластичного типу Epic – 1,00. За результатами GGE біplot-аналізу гібриди соняшника по відношенню до вологи були розділені: на стабільні – Generalis і Hysun 158 IT, інтенсивні – Fushia KC, Electric і Chester та пластичні – Boston і Epic. **Висновки.** Виділені індекси та показниками адаптивності, що найбільш повно характеризують стійкість гібридів соняшника до посухи, а також індекси та показники адаптивності, що розділяють гібриди на інтенсивні, пластичні та стабільні за їх реакцією на стрес дефіциту вологи. За індексами посухостійкості, показниками адаптивності до посухи та біplot-аналізом, як найбільш посухостійкими виділені гібриди Generalis і Hysun 158 IT, гібриди Boston, Isida і Epic виділені як пластичні, а гібриди Fushia KC і Electric як найбільш нестійкий до посухи, або гібриди інтенсивного типу.
- Ключові слова:** соняшник, гібрид, урожайність, посухостійкість, індекси посухостійкості, адаптивність, екологічна стійкість.
- Tyshchenko A.V., Stepanov S.S., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Ochkala O.S. The reaction of sunflower hybrids of the mid-early maturity group to moisture deficit in the conditions of Southern Ukraine**
- The purpose** of the research was to study and analyze the ecological stability and adaptability to the lack of moisture of mid-early sunflower hybrids in the conditions of Southern Ukraine. **Research materials and methods.** The reaction of ten sunflower hybrids of the mid-early ripeness group to different growing conditions was studied at Agroproekt Yug LLC of the Kherson region during 2020–2021. The research was conducted on two sites with different soil parameters. Analysis of the resistance of sunflower hybrids to moisture deficit was carried out with the help of various mathematical

indices of drought resistance and indicators of adaptability and environmental stability. **Research results and their discussion.** The obtained experimental data at a drought intensity of 0.403 made it possible to identify sunflower hybrids that significantly exceed the average hybrid yield in stressful conditions: Generalis, Isida and Hysun 158 IT 1.912–2.052 t/ha, and under conditions of sufficient moisture, the Fushia KC hybrid with a yield of 3.088 t/ha. Isida and Fushia KC hybrids were selected according to MP, STI, and MSTI indices. According to the indices SSI, TOL, YSI, RDI, SSPI, ATI – hybrids Generalis and Hysun 158 IT, and according to YI, DI, ISR – hybrid Hysun 158 IT. According to the regression coefficient (b_i), the hybrids of the intensive type Electric – 1.30 and Fushia KC – 1.32, the stable type Generalis – 0.41 and Hysun 158 IT – 0.32 and the hybrid of the plastic type Epic – 1.00 were selected. Based on the results of the GGE biplot analysis, sunflower hybrids were

divided into: stable – Generalis and Hysun 158 IT, intensive – Fushia KC, Electric and Chester, and plastic – Boston and Epic. **Conclusions.** Adaptability indices and indicators that most fully characterize the resistance of sunflower hybrids to drought, as well as adaptability indices and indicators that divide hybrids into intensive, plastic and stable ones according to their reaction to moisture deficit stress, are highlighted. According to drought resistance indices, drought adaptability indicators and biplot analysis, the Generalis and Hysun 158 IT hybrids are selected as the most drought-resistant, the Boston, Isida and Epic hybrids are selected as plastic, and the Fushia KC and Electric hybrids are selected as the most drought-resistant, or intensive type hybrids.

Key words: sunflower, hybrid, productivity, drought resistance, drought resistance indices, adaptability, environmental sustainability.