

РЕАКЦІЯ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКА РАННЬОЇ ГРУПИ СТИГЛОСТІ НА МІНЕРАЛЬНЕ ЖИВЛЕННЯ ТА ҐРУНТОВІ УМОВИ НА ПІВДНІ 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, с.н.с.
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 (доктор філософії)
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 [13] та протягом останніх кількох десятиліть площі та виробництво соняшнику зросло через його нейтральність довжини дня, ширшу адаптивність та чутливість до додаткових ресурсів [17]. Виробництво та переробка насіння олійних культур в Україні є найбільш перспективним напрямом аграрно-продовольчого сектору. 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 [30].

В останні десятиліття спостерігаються зміни клімату, так зване «глобальне потепління», внаслідок якого відбувається підвищення температурного режиму, частішають посушливі періоди та збільшується їх тривалість [39, 40, 42], що призводить до значних коливань урожайності сільськогосподарських культур як у просторі, так і в часі [1, 18, 35]. 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 [7, 32, 41, 43]. Посушливі умови є одним з основних абіотичних стрес-чинників, які спричиняють серйозні проблеми у всьому світі і призводять до значного зниження врожайності сільськогосподарських культур [5, 22, 38]. Але також зазначено значну роль ґрунтових умов у зміні врожайності соняшника. Іон та ін. [15] дійшли висновку, що ґрунтово-кліматичні умови є одними з екологічних факторів, які мають найбільший вплив на врожайність соняшника. Серед властивостей ґрунту

першорядне значення мають гранулометрична структура ґрунту і що в умовах України соняшник досить чутливий до едафічних та кліматичних факторів, чим пояснюються коливання параметрів динаміки врожайності культури [14]. Проте слід зазначити, що соняшник пристосований до різноманітних ґрунтів і навіть успішно вирощується на піщаних, проте найкращі результати культура дає на добре окультурених ґрунтах [28].

Добрива є одним із основних ресурсів сільськогосподарства, і їх своєчасна доступність має вирішальне значення для сільськогосподарського виробництва [2, 26]. Але останнім часом при впровадженні високоврожайних сортів і зменшенні внесення добрив зафіксовано швидке зниження поживності ґрунту, та, відповідно, високоврожайні гібриди потребують більшої кількості поживних речовин для швидкого росту, високого накопичення біомаси та реалізації потенціальної продуктивності [25].

Зусилля селекціонерів сьогодні вже направлені не тільки на створення високопродуктивних сортів і гібридів, а й тих, що забезпечують стабільність продуктивності рослин за різних абіотичних чинників [31, 44, 45]. На сьогодні вченими вже досліджено агрономічні та фізіологічні механізми, що відповідають за стабільність урожаю [27, 19, 46, 47]. А отже, різні сорти і гібриди можуть демонструвати контрастні реакції на умови довкілля внаслідок їхньої взаємодії [33, 37, 49]. Тому класифікація сортів (гібридів) до абіотичних стрес-факторів є дуже актуальним та допоможе товаровиробникам більш якісно підбирати сорти чи гібриди до їхніх умов вирощування.

Метою наших досліджень було вивчення і аналіз реакції ранньостиглих гібридів соняшника на ґрунтові умови і мінеральне живлення на Півдні України.

Матеріали і методи досліджень. Реакцію гібридів соняшника на різні умови вирощування вивчали на 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 10 гібридів соняшника ранньої 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 загальноприйнятною 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 врожаю – у серпні.

Дослідження проводилися на двох ділянках на протязі 2020–2021 рр.: Ділянка 1 – ґрунт темно-каштановий, середньо-суглинковий, залишково-слабо-солонцюватий. 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-суглинковий, 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 вологість повітря для всіх експериментальних сезонів наведені у таблиці 1 разом із середніми довгостроковими значеннями.

Статистичний аналіз. Реакцію гібридів соняшника на рівень поживних речовин та до едафічного стресу проводили за допомогою індексів стресостійкості: *MP* – середньої врожайності [29], *D* – інтенсивності стресу [3], *SSI* – сприйнятливості до стресу [11], *TOL* – толерантності до стресу [29], *YSI* – стабільності врожаю [4], *YI* – врожайності [12, 23], *STI* – толерантності до стресу [10], *GMP* –

середньої геометричної (пропорційної) врожайності [10, 20], *RDI* – відносної стійкості до посухи [11], *DI* – посухостійкості [3, 21], *SSPI* – схильності до стресу [24], *MSTI*, *M₁STI*, *M₂STI* – модифікованих індексів толерантності до стресу [9], *ATI* – абіотичної толерантності [24], *HMP* – гармонічної середньої продуктивності [6, 16, 20], *ISR* – стійкості до стресу [37, 34, 48] та індексу умов зовнішнього середовища (екологічний індекс), отриманий як середнє значення всіх сортів у *j*-му середовищі мінус загальне середнє (*I_j*), коефіцієнту регресії сорту на середовище (*b_j*), дисперсії відхилення від лінії регресії (*s²_{gi}*) [8], показнику стійкості до стресу (*RS*), генетичної гнучкості (*Gf*) [29], загальної гомеостатичності (*Hom*), селекційної цінності (*Sc*), коефіцієнта адаптивності (*CA*), ефектів загальної адаптаційної здатності (*GAC_i*), специфічної адаптаційної здатності (*SAC_i*), варіанси взаємодії генотипу та середовища (*σ²_{(G×E)gi}*), варіанси специфічної адаптаційної здатності (*σ²_{SAC_i}*), відносної стабільності генотипу (*s_{gi}*), селекційного значення генотипу (*SVG_i*), коефіцієнта компенсації-дестабілізації генотипу (*K_{gi}*), коефіцієнта нелінійності реакції генотипу на навколишнє середовище (*I_{gi}*) [35].

Проведено кореляційний та кластерний аналізи між індексами врожайності насіння та стресостійкості і показниками адаптивності для визначення найкращих стресостійких гібридів, індексів та показників адаптивності. 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 дозволили виділити гібриди соняшника, що істотно перевищують середньогібридну за урожайністю в стресових умовах: *Bella* 1,905 т/га, а за умов достатнього рівня забезпечення поживними елементами: *Bella* і *Niagara* з урожайністю 2,534–2,692 т/га (табл. 2).

За індексами середньої врожайності *MP* зі значенням 2,299, урожайності *YI* – 123,3, толерантності до стресу *STI* – 1,03, середньої геометричної

Таблиця 1 – Погодні умови проведення досліджень

Період	Середньобагаторічні			2020			2021		
	T (°C)	P (мм)	φ (%)	T (°C)	P (мм)	φ (%)	T (°C)	P (мм)	φ (%)
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 гібридів насіння соняшника за різних ґрунтових умов та живлення і математичні індекси (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	
<i>Agora</i>	G1	2,313	1,654	1,984	0,93	0,659	0,72	107,0	0,77	1,96	1,03	0,77	14,8	0,83	0,88	0,73	0,89	1,93	20,4	
<i>Agraris</i>	G2	1,982	1,385	1,684	0,98	0,597	0,70	89,6	0,55	1,66	1,01	0,63	13,4	0,44	0,44	0,19	0,69	1,63	15,3	
<i>Andromeda</i>	G3	2,270	1,494	1,882	1,11	0,776	0,66	96,7	0,68	1,84	0,95	0,64	17,4	0,71	0,64	0,45	0,99	1,80	12,8	
<i>Bella</i>	G4	2,692	1,905	2,299	0,95	0,787	0,71	123,3	1,03	2,26	1,02	0,87	17,6	1,50	1,57	2,35	1,23	2,23	22,3	
<i>Cabana</i>	G5	2,496	1,751	2,124	0,97	0,745	0,70	113,3	0,88	2,09	1,01	0,79	16,7	1,10	1,13	1,24	1,08	2,06	19,7	
<i>Niagara</i>	G6	2,534	1,762	2,148	0,99	0,772	0,70	114,0	0,90	2,11	1,00	0,79	17,3	1,16	1,17	1,35	1,13	2,08	19,0	
<i>Regata</i>	G7	1,870	1,309	1,590	0,98	0,561	0,70	84,7	0,49	1,56	1,01	0,59	12,6	0,35	0,35	0,12	0,61	1,54	14,5	
<i>LG 5377</i>	G8	1,859	1,223	1,541	1,11	0,636	0,66	79,1	0,46	1,51	0,95	0,52	14,3	0,32	0,29	0,09	0,66	1,48	10,4	
<i>Латимуда</i>	G9	2,138	1,468	1,803	1,02	0,670	0,69	95,0	0,63	1,77	0,99	0,65	15,0	0,58	0,57	0,33	0,82	1,74	14,9	
<i>Раптор</i> <i>HCX7258</i>	G10	2,149	1,501	1,825	0,98	0,648	0,70	97,1	0,65	1,80	1,01	0,68	14,5	0,60	0,61	0,37	0,81	1,77	16,5	
Середнє		2,230	1,545	1,888	1,00	0,685	0,69	100,0	0,70	1,86	1,00	0,69	15,4	0,76	0,76	0,72	0,89	1,83	16,6	
Інтенсивність посухи, D		0,307																		
V, %		12,76	14,09	13,25	6,15	11,68	2,82	14,10	26,70	13,32	2,75	15,62	11,59	51,08	54,07	100,19	23,72	13,47	22,40	
$Sx_{абс.}$		0,09	0,07	0,08	0,02	0,02	0,01	4,46	0,06	0,08	0,01	0,03	0,56	0,12	0,13	0,23	0,07	0,08	1,17	
$Sx_{віднос.}$		4,03	4,45	4,19	1,94	3,69	0,89	4,46	8,44	4,21	0,87	4,94	3,66	16,15	17,10	31,68	7,50	4,26	7,08	
HIP ₀₁		0,28	0,22	0,25	0,06	0,08	0,02	14,13	0,19	0,25	0,03	0,11	1,78	0,39	0,41	0,72	0,21	0,25	3,72	
HIP ₀₅		0,21	0,16	0,18	0,04	0,06	0,01	10,21	0,14	0,18	0,02	0,08	1,29	0,28	0,30	0,52	0,15	0,18	2,69	

урожайності *GMP* – 2,26, стресостійкості *DI* – 0,87, модифікованими індексами толерантності до стресу *MSTI*, *M₁STI* і *M₂STI* – 1,50; 1,57 і 2,35, гармонійної продуктивності *HMP* – 2,23 та стійкості до стресу *ISR* – 22,3 був виділений гібрид *Bella*.

За індексами чутливості до стресу (*SSI*) зі значенням 0,93, стабільності врожаю (*YSI*) – 0,72 та відносної стресостійкості (*RDI*) – 1,03 був виділений гібрид *Agora*.

За індексом толерантності до стресу (*TOL*) – 0,561 і 0,597 виділені гібриди *Regata* і *Agraris*, а за

індексами схильності до стресу (*SSPI*) – 12,6 та абіотичної толерантності (*ATI*) – 0,61 виділений гібрид *Regata*.

Гібрид *Bella* виділений за десятьма індексами, як найбільш стресостійкий.

Індекс стресового середовища становив -0,343, а за оптимальних умов 0,343. Найбільшою середньою врожайністю (*Y_{mean}*) характеризувався гібрид *Bella* – 2,299 т/га (табл. 3).

Найбільшим рівнем стійкості досліджуваних гібридів до стресових умов (*RS*), а відповідно

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
<i>Agora</i>	G1	1,654–2,313	1,984	0,659	1,42	1,98	0,96	105,1	28,4
<i>Agraris</i>	G2	1,385–1,982	1,684	0,597	1,18	1,68	0,87	89,2	22,5
<i>Andromeda</i>	G3	1,494–2,270	1,882	0,776	1,24	1,88	1,13	99,7	21,7
<i>Bella</i>	G4	1,905–2,692	2,299	0,787	1,63	2,30	1,15	121,8	31,9
<i>Cabana</i>	G5	1,751–2,496	2,124	0,745	1,49	2,12	1,09	112,5	28,7
<i>Niagara</i>	G6	1,762–2,534	2,148	0,772	1,49	2,15	1,13	113,8	28,4
<i>Regata</i>	G7	1,309–1,870	1,590	0,561	1,11	1,59	0,82	84,2	21,4
<i>LG 5377</i>	G8	1,223–1,859	1,541	0,636	1,01	1,54	0,93	81,6	17,7
<i>Латимуда</i>	G9	1,468–2,138	1,803	0,670	1,24	1,80	0,98	95,5	23,0
<i>Раптор НСХ7258</i>	G10	1,501–2,149	1,825	0,648	1,27	1,83	0,95	96,7	24,4
Середнє		1,545–2,230	1,888	0,69	0,685	1,89	1,00	100,0	24,8
V, %		12,76–14,09	13,25	11,73	14,81	13,28	11,68	13,26	17,61
$S\bar{x}_{абс.}$		0,09–0,07	0,08	0,02	0,06	0,08	0,04	4,19	1,38
$S\bar{x}_{віднос.}$		4,03–4,45	4,19	3,71	4,68	4,20	3,69	4,19	5,57
HIP ₀₁		0,28–0,22	0,25	0,08	0,19	0,25	0,12	13,30	4,38
HIP ₀₅		0,21–0,16	0,18	0,06	0,14	0,18	0,08	9,61	3,16

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	$\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$	$\sigma^2_{SAC_i}$	s_{gi}	SVG_i	K_{gi}	I_{gi}
<i>Agora</i>	G1	1,654–2,313	1,984	0,10	0,00003	0,024	7,8	1,08	0,93	0,0012
<i>Agraris</i>	G2	1,385–1,982	1,684	-0,20	0,00042	0,020	8,4	0,86	0,76	0,0214
<i>Andromeda</i>	G3	1,494–2,270	1,882	-0,01	0,00045	0,033	9,7	0,82	1,28	0,0135
<i>Bella</i>	G4	1,905–2,692	2,299	0,41	0,00057	0,034	8,1	1,22	1,32	0,0165
<i>Cabana</i>	G5	1,751–2,496	2,124	0,24	0,00019	0,031	8,3	1,10	1,18	0,0062
<i>Niagara</i>	G6	1,762–2,534	2,148	0,26	0,00041	0,033	8,5	1,09	1,27	0,0124
<i>Regata</i>	G7	1,309–1,870	1,590	-0,30	0,00085	0,017	8,3	0,82	0,67	0,0485
<i>LG 5377</i>	G8	1,223–1,859	1,541	-0,35	0,00013	0,022	9,7	0,67	0,86	0,0056
<i>Латимуда</i>	G9	1,468–2,138	1,803	-0,08	0,00000	0,025	8,8	0,88	0,96	0,0002
<i>Раптор НСХ7258</i>	G10	1,501–2,149	1,825	-0,06	0,00007	0,023	8,4	0,94	0,89	0,0029
Середнє		1,545–2,230	1,888	0,00	0,000	0,026	8,6	0,95	1,01	0,0129
V, %		12,76–14,09	13,25	25075	81,53	23,24	7,37	17,83	23,04	111,64
$S\bar{x}_{абс.}$		0,09–0,07	0,08	0,08	0,0001	0,002	0,20	0,05	0,07	0,004
$S\bar{x}_{віднос.}$		4,03–4,45	4,19	7929	25,78	7,35	2,33	5,64	7,29	35,30
HIP ₀₁		0,28–0,22	0,25	0,25	0,0003	0,006	0,64	0,17	0,23	0,014
HIP ₀₅		0,21–0,16	0,18	0,18	0,0002	0,004	0,46	0,12	0,17	0,010

Таблиця 5 – Матриця кореляційних зв'язків між урожайністю насіння гібридів соняшника за різних ґрунтових умов та живлення і математичними індексами (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	0,984	0,997	-0,408	0,878	0,409	0,985	0,994	0,995	0,356	0,950	0,876	0,984	0,975	0,927	0,985	0,994	0,830
Y_{lim}	0,984	1,000	0,995	-0,561	0,781	0,561	1,000	0,995	0,997	0,513	0,990	0,777	0,980	0,983	0,932	0,941	0,998	0,914
MP	0,997	0,995	1,000	-0,477	0,839	0,477	0,995	0,998	1,000	0,426	0,971	0,836	0,986	0,983	0,933	0,970	0,999	0,870
SSI	-0,408	-0,561	-0,477	1,000	0,075	-0,994	-0,561	-0,486	-0,493	-0,998	-0,671	0,081	-0,446	-0,503	-0,452	-0,253	-0,505	-0,841
TOL	0,878	0,781	0,839	0,075	1,000	-0,073	0,781	0,828	0,828	-0,131	0,685	1,000	0,836	0,795	0,764	0,944	0,820	0,463
YSI	0,409	0,561	0,477	-0,994	-0,073	1,000	0,560	0,485	0,493	0,991	0,671	-0,078	0,442	0,499	0,444	0,252	0,505	0,840
YI	0,985	1,000	0,995	-0,561	0,781	0,560	1,000	0,995	0,997	0,513	0,990	0,778	0,980	0,983	0,932	0,941	0,998	0,914
STI	0,994	0,995	0,998	-0,486	0,828	0,485	0,995	1,000	0,998	0,435	0,972	0,825	0,993	0,992	0,952	0,966	0,998	0,877
GMP	0,995	0,997	1,000	-0,493	0,828	0,493	0,997	0,998	1,000	0,443	0,975	0,825	0,984	0,982	0,931	0,964	1,000	0,879
RDI	0,356	0,513	0,426	-0,998	-0,131	0,991	0,513	0,435	0,443	1,000	0,628	-0,136	0,394	0,453	0,405	0,198	0,455	0,808
DI	0,950	0,990	0,971	-0,671	0,685	0,671	0,990	0,972	0,975	0,628	1,000	0,681	0,951	0,964	0,909	0,884	0,978	0,962
SSPI	0,876	0,777	0,836	0,081	1,000	-0,078	0,778	0,825	0,825	-0,136	0,681	1,000	0,834	0,792	0,761	0,942	0,817	0,459
M_1STI	0,984	0,980	0,986	-0,446	0,836	0,442	0,980	0,993	0,984	0,394	0,951	0,834	1,000	0,997	0,978	0,966	0,985	0,850
M_2STI	0,975	0,983	0,983	-0,503	0,795	0,499	0,983	0,992	0,982	0,453	0,964	0,792	0,997	1,000	0,981	0,946	0,984	0,882
$MSTI$	0,927	0,932	0,933	-0,452	0,764	0,444	0,932	0,952	0,931	0,405	0,909	0,761	0,978	0,981	1,000	0,910	0,934	0,828
ATI	0,985	0,941	0,970	-0,253	0,944	0,252	0,941	0,966	0,964	0,198	0,884	0,942	0,966	0,946	0,910	1,000	0,961	0,725
HMP	0,994	0,998	0,999	-0,505	0,820	0,505	0,998	0,998	1,000	0,455	0,978	0,817	0,985	0,984	0,934	0,961	1,000	0,886
ISR	0,830	0,914	0,870	-0,841	0,463	0,840	0,914	0,877	0,879	0,808	0,962	0,459	0,850	0,882	0,828	0,725	0,886	1,000

Примітка: * – 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_{lim}	Y_{opt}	Y_{mean}	b_i	RS	Sc	Gf	CA	Hom	GAC _i	$\sigma^2_{(G \times E)_{ij}}$	σ^2_{SACI}	s_{g_i}	SVG _i	K_{g_i}	I_{g_i}
Y_{lim}	1,000	0,984	0,995	0,783	0,781	0,998	0,995	0,995	0,970	0,996	0,000	0,791	-0,535	0,967	0,784	-0,267
Y_{opt}	0,984	1,000	0,997	0,880	0,878	0,972	0,997	0,997	0,913	0,996	-0,009	0,886	-0,379	0,908	0,881	-0,312
Y_{mean}	0,995	0,997	1,000	0,841	0,834	0,987	1,000	1,000	0,941	1,000	-0,004	0,848	-0,449	0,937	0,842	-0,293
b_i	0,783	0,880	0,841	1,000	0,999	0,743	0,841	0,841	0,609	0,836	-0,035	0,998	0,103	0,600	0,999	-0,386
RS	0,781	0,878	0,834	0,999	1,000	0,735	0,834	0,834	0,600	0,830	-0,037	0,998	0,115	0,590	0,998	-0,390
Sc	0,998	0,972	0,987	0,743	0,735	1,000	0,987	0,987	0,983	0,988	0,004	0,752	-0,585	0,981	0,745	-0,249
Gf	0,995	0,997	1,000	0,841	0,834	0,987	1,000	1,000	0,941	1,000	-0,002	0,848	-0,449	0,937	0,842	-0,291
CA	0,995	0,997	1,000	0,841	0,834	0,987	1,000	1,000	0,941	1,000	-0,004	0,848	-0,449	0,937	0,842	-0,293
Hom	0,970	0,913	0,941	0,609	0,600	0,983	0,941	0,941	1,000	0,944	0,013	0,620	-0,721	1,000	0,612	-0,192
GAC _i	0,996	0,996	1,000	0,836	0,830	0,988	1,000	1,000	0,944	1,000	-0,012	0,843	-0,456	0,940	0,837	-0,298
$\sigma^2_{(G \times E)_{ij}}$	0,000	-0,009	-0,004	-0,035	-0,037	0,004	-0,002	-0,004	0,013	-0,012	1,000	-0,004	-0,078	0,014	0,011	0,927
σ^2_{SACI}	0,791	0,886	0,848	0,998	0,998	0,752	0,848	0,848	0,620	0,843	-0,004	1,000	0,086	0,610	0,999	-0,356
s_{g_i}	-0,535	-0,379	-0,449	0,103	0,115	-0,585	-0,449	-0,449	-0,721	-0,456	-0,078	0,086	1,000	-0,730	0,098	-0,130
SVG _i	0,967	0,908	0,937	0,600	0,590	0,981	0,937	0,937	1,000	0,940	0,014	0,610	-0,730	1,000	0,602	-0,186
K_{g_i}	0,784	0,881	0,842	0,999	0,998	0,745	0,842	0,842	0,612	0,837	0,011	0,999	0,098	0,602	1,000	-0,344
I_{g_i}	-0,267	-0,312	-0,293	-0,386	-0,390	-0,249	-0,291	-0,293	-0,192	-0,298	0,927	-0,356	-0,130	-0,186	-0,344	1,000

Примітка: * – Confidence interval (%): 95

і найменшим значенням характеризувався *Regata* – 0,56. Гібриди *Andromeda* і *Bella* зі значеннями 0,78 і 0,79 виявилися найбільш нестійкими до стресових умов.

За селекційною цінністю сорту (*Sc*) та генетичною гнучкістю (*Gf*) виділений гібрид *Bella* – 0,63 і 2,30.

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) *Bella* – 1,15 та *Niagara* – 1,13, стабільного типу (*b_i* < 1) *Regata* – 0,82. Якщо *b_i* = 1, то гібрид добре адаптований до різноманітних умов вирощування, найбільш наближеним є *Пантор HCX7258* – 0,98.

Найвищими значеннями коефіцієнту адаптивності (*CA*), гомеостатичності (*Hom*) характеризувався гібрид *Bella* – 121,8 і 31,9, відповідно.

Найвищим ефектом загальної адаптивної здатності (*GAC*) відзначився гібрид *Bella* – 0,41, найменшим значенням – *LG 5377* – -0,35 (табл. 4).

Стабільність реакції генотипу на зміни умов середовища за продуктивністю визначається величиною варіанси (σ^2_{CA3i}), встановлено найбільш стабільний гібрид *Regata* – 0,017. Гібриди *Bella* – 0,34, *Andromeda* та *Niagara* – 0,33 є нестабільними.

За показником відносної стабільності генотипу (*s_{gi}*), з найменшими його значеннями, був виділений гібрид *Agora* – 7,8, а за селекційною цінністю генотипу (*SVG_i*) виділився гібрид *Bella* – 1,22.

Гібриди *Agora* та *Латумуда* характеризувалися найменшими значеннями (0,00003 і 0,00000, відповідно) варіанси взаємодії генотипу та середовища ($\sigma^2_{(G \times E)gi}$), володіли лінійною реакцією (*l_{gi}*) на зміну умов середовища (0,0002–0,0012), та коефіцієнт компенсації-дестабілізації (*K_{gi}*) був менше 1 (0,93 і 0,96, відповідно), що свідчить про переважання компенсуючого ефекту. Найнижчим значенням коефіцієнту компенсації (*K_{gi}*) характеризувався гібрид *Regata* – 0,67, натомість гібриди *Bella*,

Andromeda та *Niagara* характеризувалися найвищими значеннями 1,32, 1,28 і 1,27.

Між врожайністю за різних едафічних умов має місце висока позитивна кореляційна залежність $r = 0,984$. Урожайність гібридів соняшника за обох умов середовища має високий позитивний кореляційний зв'язок ($r = 0,777-0,999$) з – *MP* (*Y_{mean}*), *TOL*, *YI*, *STI*, *GMP*, *DI*, *SSPI*, *M₁STI*, *M₂STI*, *MSTI*, *HMP*, *ATI*, *ISR*, *b_i*, *RS*, *Sc*, *Gf*, *CA*, *Hom*, *GAC_i*, σ^2_{SACi} , *SVG_i* і *K_{gi}*, середню з – *SSI*, *YSI*, *RDI*, *s_{gi}* (табл. 5, 6).

За результатами GGE біплот-аналізу гібриди соняшника *Agora* (G1), *Bella* (G4), *Cabana* (G5) і *Niagara* (G6), що знаходяться на осі між векторами урожайності при стресі (*Y_{lim}*) та оптимальних умов вирощування (*Y_{opt}*) і найбільше віддалені від центру, формують високу урожайність за кращих умов і їх можна віднести до гібридів інтенсивного типу по відношенню до мінерального живлення та ґрунтових умов (рис. 1).

Гібриди соняшника *Agraris* (G2), *Regata* (G7) і *LG 5377* (G8), що знаходяться на осі між III і IV чвертями та максимально віддалені від центру характеризуються найменшим зниженням врожайності при покращенні умов середовища і їх можна характеризувати як гібриди стабільного типу. Гібрид соняшника *Andromeda* (G3), *Латумуда* (G9) і *Пантор HCX7258* (G10), що максимально наближені до центру, можна віднести до пластичних.

За агломеративним ієрархічним кластерним аналізом ранньостиглі гібриди соняшника були поділені на три кластера по відношенню до добрив та едафічного стресу (рис. 2).

Гібриди G2 – *Agraris*, G7 – *Regata* і G8 – *LG 5377*, що утворили кластер 2 на відстані 89 виявилися найбільш стабільними по відношенню до живлення і ґрунтових умов. Гібриди G3 – *Andromeda*, G9 – *Латумуда* і G10 – *Пантор HCX7258* є пластичними та на відстані 23 утворили 3 кластер. Останні чотири гібрида виявилися інтенсивними та об'єдналися у 1 кластер на відстані 219.

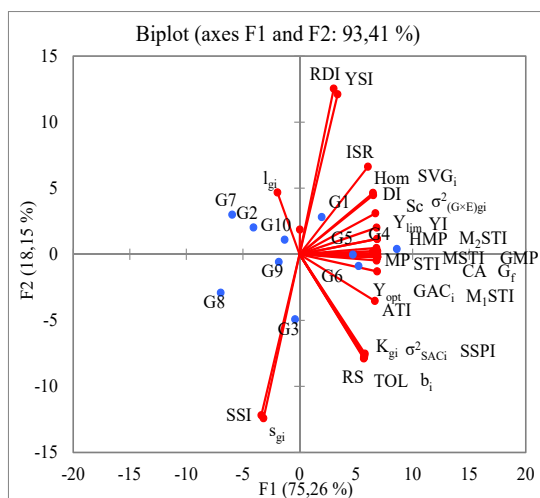
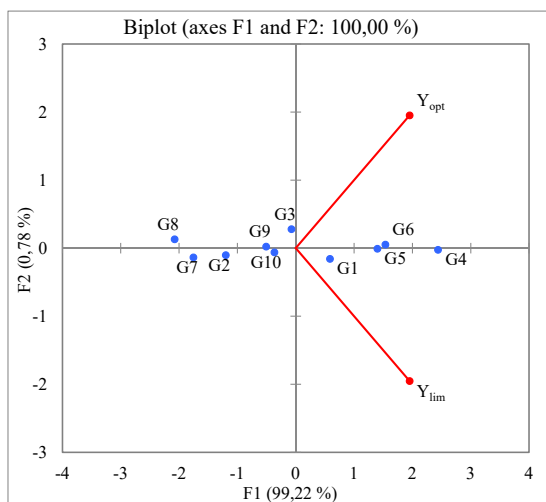


Рис. 1. Генотип-середовищна взаємодія гібридів соняшника і середовищ (метод біплот-аналіз). Лініями показані власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● – умови зволоження; ● – гібриди

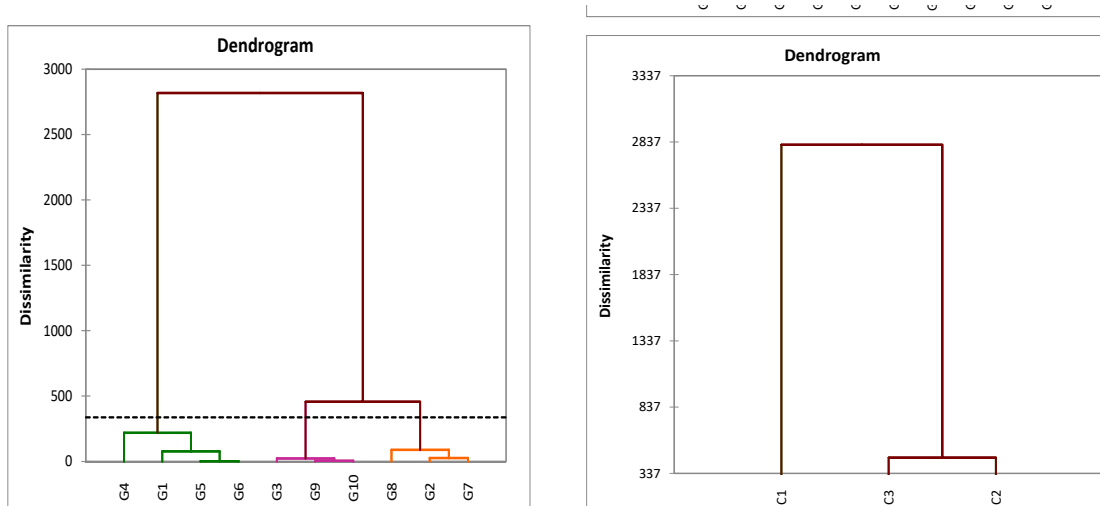


Рис. 2. Дендрограма кластеризації десяти гібридів соняшника за реакцією на добрива та едафічний стрес

Таблиця 7 – Кластеризації десяти гібридів соняшника за реакцією на добрива та едафічний стрес методом k-середніх і агломеративного ієрархічного кластерного аналізу

Гібрид	Позначення	Кластеризація k-середніх		Агломеративна ієрархічна кластеризація
		Кластер	Відстань до центру кластера	Кластер
<i>Agora</i>	G1	1	11,282	1
<i>Agraris</i>	G2	2	7,191	2
<i>Andromeda</i>	G3	3	3,906	3
<i>Bella</i>	G4	1	12,814	1
<i>Cabana</i>	G5	1	1,662	1
<i>Niagara</i>	G6	1	1,938	1
<i>Regata</i>	G7	2	1,904	2
<i>LG 5377</i>	G8	2	7,684	2
Латитуда	G9	3	2,309	3
Раптор НСХ7258	G10	3	2,775	3

Також був проведений кластерний аналіз гібридів соняшника методом k-середніх, який повністю співпадає з агломеративним ієрархічним. До 1 кластера увійшли чотири інтенсивних по відношенню до живлення і ґрунтових умов. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у гібрида G5 – *Cabana* на рівні 1,662, натомість найбільша 12,814 у гібрида G4 – *Bella* (табл. 7).

До 2 кластера увійшли три гібрида стабільного типу з найменшою відстанню до центру кластера у гібрида G7 – *Regata* на рівні 1,904 та найбільшою 7,684 у гібрида G8 – *LG 5377*. До 3 кластера увійшли три пластичних гібрида з найбільшою відстанню до центру кластера у гібрида G3 – *Andromeda* на рівні 3,906 та найменшою 2,309 у гібрида G9 – *Латитуда*.

Висновки. За математичними індексами, показниками адаптивності до едафічних факторів та біплот-аналізом, як найбільш стійкий виділений гібрид *Regata*, гібрид *Bella* виділений як пластичний, а гібрид *Niagara* як найбільш чутливий до погіршення ґрунтових умов та мінерального живлення.

За допомогою кластерного аналізу десять гібридів соняшника були розподілені на три кластера: стійкі до погіршення ґрунтових умов та мінерального живлення, середньої стійкості, не стійкі.

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>
- Ata-Ul-Karim S.T., Zhu Y., Cao Q., Rehmani M.I.A., Cao W. et al. In-season assessment of grain protein and amylose content in rice using critical nitrogen dilution curve. *European Journal of Agronomy*, 2017, Vol. 90. P. 139–151.
- Blum A. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 1988
- Bouslama 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

5. Ceglár A., Toreti 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>

6. 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

7. 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>

8. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.* 1966. Vol. 6. №1. P. 36–40.

9. 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>

10. 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. Shanhuai, Taiwan, 1992. P. 257–270.

11. 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

12. 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.

13. 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

14. Hamza M. & Safina S. Performance of sunflower cultivated in sandy soils at a wide range of planting dates in Egypt. *J Plant Prod.* 2015. Vol. 6, P. 821–835. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.49782>.

15. Ion V., Dicu G., Basa A. et al. Sunflower Yield and Yield Components under Different Sowing Conditions. *Agric Agric Sci Proc.* 2015. P. 6. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.036>.

16. 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.

17. Khatun M., Hossain T.M., Miah M.M., Khondoker S., Rashid M.A. Profitability of sunflower cultivation in some selected sites of Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 2016. Vol. 41. P. 599–623.

18. 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/agrar.innov.2023.20.13>

19. 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/agrar.innov.2023.19.22>

20. 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.

21. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica.* 1998. Vol. 7. P. 85–87.

22. 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

23. 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>

24. 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.

25. Nair K.P. Soil Fertility and Nutrient Management. Intelligent Soil Management for Sustainable Agriculture: The Nutrient Buffer Power Concept. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 165–189.

26. Nazir M.F., Sarfraz Z., Mangi N., Nawaz Shah M.K., Mahmood T. et al. Post-Anthesis Mobilization of Stem Assimilates in Wheat under Induced Stress. *Sustainability.* 2021. Vol. 13. P. 5940.

27. Ojha A. & Ojha B.R. Assessment of Morpho-Physiological, Yield and Yield Attributing Traits Related to Post Anthesis Drought in Wheat Genotypes Under Rain-fed Condition in Rampur, Chitwan. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.* 2020, Vol. 8, Issue 3, P. 323–335. DOI: 10.3126/ijasbt.v8i3.31609

28. Radanielson A.M., Lecoeur J., Christophe A., Guilioni L. Use of water extraction variability to screen for sunflower genotypes well adapted to soil water limitation. *Funct Plant Biol.* 2012. Vol. 39, Issue 12, P. 999–1008.

29. 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

30. Škorić D. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia.* 2009. Vol.32(50). P. 1–16.

31. 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, P. 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.009>

32. Team B.A. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. In *Regional Climate Studies;* Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015, Vol. 6, P. 131–144.

33. 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/agra.innov.2023.19.29>

34. 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>*

35. 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>*

36. 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

37. 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.

38. Zhou Y., He R., Guo Y., Liu K., Huang G. 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>

39. 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>

40. 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>

41. 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/agra.innov.2022.13.28>

42. 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/agra.innov.2022.16.15>

43. 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 іннова-*

ції. 2022. № 14. С. 135–144. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2022.14.20>

44. 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>

45. 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/agra.innov.2022.15.14>

46. 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/agra.innov.2023.17.4>

47. 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/agra.innov.2023.18.20>

48. 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>

49. 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. et al. (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>
- Ata-Ul-Karim, S.T. et al. (2017). In-season assessment of grain protein and amylose content in rice using critical nitrogen dilution curve. *European Journal of Agronomy*, 90, 139–151.
- Blum, A. (1988). Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. ISBN 9781351075718.
- Bousslama, 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>

8. Eberhart, S.A & Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.*, 6(1), 36–40.
9. 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>
10. 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. Shanhuai, Taiwan, P. 257–270.
11. 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
12. 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.
13. González-Alonso, A. 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
14. Hamza, M. & Safina, S. (2015). Performance of sunflower cultivated in sandy soils at a wide range of planting dates in Egypt. *J Plant Prod.*, 6, 821–835. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.49782>.
15. Ion, V. et al. (2015). Sunflower Yield and Yield Components under Different Sowing Conditions. *Agric Agric Sci Proc.*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.036>.
16. 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.
17. 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
18. Konovalova, V.M. 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>
19. Konovalova, V.M. 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>
20. Kristin, A.S. et al. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *CropSci.*, 37, 43–50.
21. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7, 85–87.
22. Lavrynenko, Y. 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
23. 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>
24. 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.
25. Nair, K.P. (2019). Soil Fertility and Nutrient Management. *Intelligent Soil Management for Sustainable Agriculture: The Nutrient Buffer Power Concept*. Cham: Springer International Publishing. 165–189.
26. Nazir, M.F. et al. (2021). Post-Anthesis Mobilization of Stem Assimilates in Wheat under Induced Stress. *Sustainability.*, 13, 5940.
27. 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
28. Radanielson, A.M., Lecoer, J., Christophe, A. & Guillioni, L. (2012). Use of water extraction variability to screen for sunflower genotypes well adapted to soil water limitation. *Funct Plant Biol.*, 39(12), 999–1008.
29. 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
30. Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 32(50), 1–16.
31. 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>
32. 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.
33. Tyshchenko, A.V. 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>
34. 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
35. 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
36. 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
37. 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.

38. Zhou, Y. 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>
39. Vozhehova, R. A. et al. (2021). Osoblyvosti proiavu adaptyvnykh oznak u selektsiinykh populiatsii 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].
40. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Otsiniuvannia posukhostiikosti selektsiinoho materialu liutserny za pokaznykamy vodnoho rehymu 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].
41. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Otsinka posukhostiikosti populiatsii liutserny kormovoho vykorystannia v rik sivby za matematychnymi 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].
42. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Nasinnieva produktyvnist populiatsii 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/agrar.innov.2022.16.15> [in Ukrainian].
43. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Osoblyvosti proiavu adaptyvnykh oznak u populiatsii 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/agrar.innov.2022.14.20>. [in Ukrainian].
44. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Vyznachennia posukhostiikosti populiatsii liutserny nasinnievoho vykorystannia za matematychnymi 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].
45. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Otsinka posukhostiikosti populiatsii 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/agrar.innov.2022.15.14>. [in Ukrainian].
46. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Posukhostiikost populiatsii 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/agrar.innov.2023.17.4> [in Ukrainian].
47. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Adaptivni oznaky ta yikh proiavu u populiatsii 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/agrar.innov.2023.18.20> [in Ukrainian].
48. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O. D. & Lyuta, Yu. O. (2021). Otsinka henotypiv liutserny za nasinnievoiu produktyvnistiu na posukhostiikost. [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].
49. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Liuta, Yu.O. & Piliarska, O.O. (2021). Adaptivna zdathnist – vazhlyva oznaka v selektsii roslyn [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 ранньої групи стиглості на мінеральне живлення та ґрунтові умови на півдні України

Метою досліджень було вивчення і аналіз реакції ранньостиглих гібридів соняшника на ґрунтові умови і мінеральне живлення на півдні України. **Матеріали і методи досліджень.** Реакцію десяти гібридів соняшника ранньої 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 зміни ґрунтових умов і мінерального живлення проводили за допомогою різних математичних індексів, показників адаптивності, екологічної стійкості, GGE біplot-аналізу та кластерного аналізу. **Результати дослідження та їх обговорення.** Отримані експериментальні дані дозволили виділити гібриди соняшника, що істотно перевищують середньогібридну за урожайністю в стресових умовах: Bella 1,905 т/га, а за умов достатнього рівня забезпечення поживними елементами: Bella і Niagara з урожайністю 2,534–2,692 т/га. За індексами MP, Y1, ST1, GMP, DI, MST1, M₁ST1 і M₂ST1, HMP та ISR був виділений гібрид Bella, за SSI, YSI та RDI був виділений гібрид Agora, за TOL виділені гібриди Regata і Agraris, а за SSP1 та AT1 виділений гібрид Regata. За коефіцієнтом регресії (b) виділений гібрид інтенсивного типу Niagara і Bella, стабільного типу – Regata та гібрид добре адаптований до різноманітних умов вирощування і Раптор HCX7258. За результатами GGE біplot-аналізу гібриди соняшника Agora, Bella, Sabana і Niagara виділені як гібриди інтенсивного типу по відношенню до мінерального живлення та ґрунтових умов, Agraris, Regata і LG 5377 – стабільного типу, а Andromeda, Латитуда і Раптор HCX7258 – пластичні. За агломеративним ієрархічним кластерним аналізом ранньостиглі гібриди соняшника були поділені на три кластера по відношенню до добрив та едафічного стресу.

Висновки. За математичними індексами, показниками адаптивності до едафічних факторів та біplot-аналізом, як найбільш стійкий виділений гібрид Regata, гібрид Bella виділений як пластичний, а гібрид Niagara як найбільш чутливий до погіршення ґрунтових умов та мінерального живлення.

Ключові слова: соняшник, гібрид, урожайність, едафічний стрес, ґрунтові умови, мінеральне живлення, математичні індекси, адаптивність, екологічна стійкість.

Tyshchenko A.V., Stepanov S.S., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Ochkala O.S. Reaction of sunflower hybrids of the early maturity group to mineral nutrition and soil conditions in the south of Ukraine

The purpose of the research was to study and analyze the response of early-ripening sunflower hybrids to soil conditions and mineral nutrition in the South of Ukraine. **Research materials and methods.** The reaction of ten sunflower hybrids of the early maturity 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 changes in soil conditions and mineral nutrition was carried out using various mathematical indices, indicators of adaptability, environmental stability, GGE biplot analysis and cluster analysis. **Research results and their discussion.** The obtained experimental data made it possible to identify sunflower hybrids that significantly exceed the average hybrid yield in stressful conditions: Bella 1.905 t/ha, and under the conditions of a sufficient level of provision of nutrients: Bella and

Niagara with a yield of 2.534–2.692 t/ha. According to the indices MP, YI, STI, GMP, DI, MSTI, M,STI and M₂STI, HMP and ISR, the Bella hybrid was selected, according to SSI, YSI and RDI, the Agora hybrid was selected, according to TOL, the Regata and Agraris hybrids were selected, and according to SSPI and ATI selected hybrid Regata. According to the regression coefficient (b_i), a hybrid of intensive type Niagara and Bella, stable type – Regata and a hybrid well adapted to various growing conditions and Raptor NSKH7258 were selected. According to the results of the GGE biplot analysis, the sunflower hybrids Agora, Bella, Cabana and Niagara are distinguished as hybrids of the intensive type in relation to mineral nutrition and soil conditions, Agraris, Regata and LG 5377 are of the stable type, and Andromeda, Latitude and Raptor NSKH7258 are plastic. According to agglomerative hierarchical cluster analysis, early-ripening sunflower hybrids were divided into three clusters in relation to fertilizers and edaphic stress. **Conclusions.** According to mathematical indices, indicators of adaptability to edaphic factors and biplot analysis, the Regata hybrid was selected as the most resistant, the Bella hybrid was selected as plastic, and the Niagara hybrid was selected as the most sensitive to the deterioration of soil conditions and mineral nutrition.

Key words: sunflower, hybrid, productivity, edaphic stress, soil conditions, mineral nutrition, mathematical indices, adaptability, environmental sustainability.