

АГРОКЛІМАТИЧНІ ФАКТОРИ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ЗА СКОРОСТИГЛІСТЮ СОРТІВ СОЇ ЗА ЕНДОФІТНО-РИЗОБІАЛЬНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ В УМОВАХ НЕПОЛИВНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

С.П. ГОЛОБОРОДЬКО¹,

доктор сільськогосподарських наук, професор,

<https://orcid.org/0000-0002-6968-985X>,

e-mail: goloborodko1939@gmail.com

Г.О. ІУТИНСЬКА²,

доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАНУ,

<https://orcid.org/0000-0001-6692-2946>,

e-mail: galyna.iutynska@gmail.com

Л.В. ТИТОВА²,

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0003-3131-4355>,

e-mail: ltytova.07@gmail.com,

О.Д. ДУБИНСЬКА¹,

доктор філософії,

<https://orcid.org/0000-0002-5572-0094>,

e-mail: klenova-dubinskaelena76@ukr.net

Н.В. ШЕВЧУК²,

аспірант, <https://orcid.org/0000-0001-5574-4961>,

e-mail: nadia.shevchuk.48@ukr.net

¹Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН,
вул. Омеляновича-Павленка Михайла, 9, 01010, Київ, Україна

²Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України,
вул. Академіка Заболотного, 154, 03143, Київ, Україна

Анотація. У статті наведено результати досліджень погодно-кліматичних умов при проходженні продукційних процесів у період формування урожаю різних за скоростиглістю сортів сої за передпосівної ендofітно-ризобіальної інокуляції, а також функціональної активності ризосферної мікробіоти і продуктив-

ності рослин в умовах неполивного землеробства Півдня України. Визначено за міжфазними періодами середню температуру, відносну вологість повітря й кількість атмосферних опадів – основні показники, які впливають на величину випаровуваності, дефіциту вологозабезпечення та коефіцієнту зволоження. Експерименти проведено на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, розташованій в зоні Південного Степу України. Ґрунт дослідного поля відноситься до важкосуглинкового чорнозему південного. Показники вологозабезпечення свідчать, що південна частина зони Степу Одеської області протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур (квітень-вересень) 2023 р. відносилася до напівсухої зони, а в липні й вересні – до пустелі. Випаровуваність і дефіцит вологозабезпечення протягом вегетаційного періоду рослин обох сортів сої (ультраскоростиглого Діона та середньостиглого Святогор) суттєво змінювалися й залежали від середньомісячної температури, відносної вологості повітря та кількості атмосферних опадів. Випаровуваність досягала 1045,1-1244,0 мм, внаслідок чого дефіцит вологозабезпечення зростав до 913,3-1100,4 мм. Через недостатню кількість атмосферних опадів у червні, липні й серпні на більшості посівів сільськогосподарських рослин спостерігалось зростання дефіциту вологозабезпечення. Застосування комплексних термотолерантних і посухостійких мікробних інокулянтів зі стрессопротекторними функціями зменшувало негативний вплив агрокліматичних факторів на рослини сої і на ризосферну мікробіоту, що надзвичайно актуально в умовах негативних глобальних змін клімату. Основними напрямками наукової й господарської діяльності для отримання в південній частині зони Степу України стабільно високих урожаїв сільськогосподарських культур є структуризація посівних площ з оптимальною часткою у них зрошуваних земель та застосування інноваційних біопрепаратів.

Ключові слова: соя, ендоефітно-ризобіальна інокуляція, неполивне землеробство, дефіцит вологозабезпеченості, ризосферна мікробіота, продуктивність.

Вступ.

Соя є надзвичайно важливою цінною харчовою, технічною і кормовою культурою, а також з агротехнологічної точки зору – гарний попередник для зернових, овочевих і кормових культур. Завдяки поєднанню двох найважливіших фізіологічних процесів – фотосинтезу й симбіотичної фіксації азоту вона значною мірою забезпечує свою потребу в азоті, що сприяє отриманню якісної продукції, покращенню стану ґрунту й поліпшенню екологічного стану агроценозів. Тому вирощування сої в усіх при-

родно-кліматичних зонах України відіграє важливу роль у підвищенні культури землеробства в цілому.

Соя чутлива до високих температур, що може спричинити зміни в метаболізмі і синтезі антиоксидантів в рослині. Тепловий стрес негативно впливає на ріст сої, фотосинтез і продуктивність. Підвищення середньої температури вегетаційного періоду на 1% призводить до зниження врожайності сої на 3,1% (Zhao, 2017). В умовах негативних глобальних змін клімату, підвищення температур у вегетаційний період, зменшення кількості опадів пошук способів

підвищення термотолерантності сої є надзвичайно актуальним. Для отримання стабільно високих урожаїв сої при вирощуванні культури в енергоощадних технологіях поряд з використанням біологічного потенціалу різних за скоростиглістю сортів застосовують такий важливий технологічний прийом, як інокуляція насіння штамми бульбочкових бактерій.

Достатньо розповсюдженими компонентами симбіотичних систем зернобобових культур, крім бульбочкових бактерій, є неризобіальні ендоефітні бактерії, які відіграють важливу роль в імунитеті і стресостійкості рослин і допомагають їм виживати в навколишньому середовищі.

Останніми роками зростає науковий інтерес до біорізноманіття та функцій ендоефітних бактерій, а також перспектив їх практичного використання (Gopal, 2016, Santoyo, 2016). Встановлено, що ендоефітні бактерії синтезують біологічно активні метаболіти, що характеризуються антимікробною дією на фітопатогени, або є індукторами системної стійкості рослин, попереджаючи цим розвиток у них хвороб (Singh, 2017). При цьому деякі ендоефіти здатні фіксувати молекулярний азот атмосфери, що покращує азотне живлення рослин зернобобових культур (Mahmud, 2020). Більшість ендоефітних бактерій сприяє активному росту й розвитку рослин, а також підвищенню їх стійкості до впливу несприятливих факторів навколишнього середовища, у тому числі, до посухи (Ludwig-Müller, 2015, Dombrowski, 2017, Dubey, 2021).

Показано, що інокуляція насіння сої різних груп стиглості ризобіально-ендоефітними композиціями в умовах зрошення Південного Степу України позитивно впливала на по-

льову схожість, стимулювала ріст і підвищувала продуктивність цієї культури (Iutynska, 2022).

Ендоефітні бактерії мають стійкі мутуалістичні взаємовідносини з рослинами, проте ефективність сумісного використання бульбочкових й ендоефітних бактерій як компонентів комплексних біологічних препаратів при вирощуванні сої на землях Південного Степу України у даний час залишається ще недостатньо вивченою. Надзвичайно актуальним для сталого розвитку агрофітоценозів є створення новітніх біопрепаратів на основі ендоефітних бактерій з розширеним спектром стресопротекторних властивостей і екологічною пластичністю.

Мета досліджень. Наукове обґрунтування заходів підвищення ефективності бобово-ризобіального симбіозу у різних за скоростиглістю сортів сої шляхом проведення комплексної інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями на неполивних важкосуглинкових чорноземах південних.

Матеріали та методи дослідження.

У процесі виконання досліджень використані наступні загальноприйняті методи: польовий – для визначення формування урожаю різних за скоростиглістю сортів сої за комплексної інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями, встановлення впливу гідротермічних умов та технологічних прийомів на рослини сої; лабораторний – для визначення чисельності мікроорганізмів основних функціональних груп у ризосфері рослин, статистичний – для встановлення достовірності

різніці кількості мікроорганізмів ризосфери та урожайних даних по варіантах досліджу.

Погодно-кліматичні фактори при проходженні продукційних процесів у період формування урожаю різних за скоростиглістю сортів сої встановлювали шляхом визначення показників середньої температури, відносної вологості повітря і кількості атмосферних опадів за міжфазними періодами, тобто основних показників, які істотно впливають на величину випаровуваності, дефіцит вологозабезпечення та коефіцієнт зволоження (Romanenko, 1961). Вказані показники з урахуванням погодних умов у південній частині Одеської області визначали за загально прийнятими методами (Ushkarenko, 2014).

Загальна характеристика основних елементів погоди, що складалася за міжфазними періодами обох сортів сої, проведена з використанням спостережень метеорологічної станції селища Хлібодарське Одеської державної сільськогосподарської станції ІКОСГ НААН України. Грунт дослідного поля відноситься до чорнозему південного важкосуглинстого. У 0-25 см шарі ґрунту міститься: гумусу (за Тюриним) – 2,95%; рухомого фосфору (за Чириковим) – 114,0-131,0 мг/кг ґрунту; обмінного калію (за Чириковим) – 161,0-184,0 мг/кг і лужногідролізованого азоту – 113,0-138,0 мг/кг ґрунту; рН водної витяжки – 7,8 (Крувенко, 2019, Думов, 2022).

Дослід проводили з вирощуванням ультраскоростиглого сорту сої Діона та середньостиглого сорту Святогор. Для комплексної ендоефітно-ризобіальної інокуляції насіння різних за скоростиглістю сортів сої використано штами мікроорганізмів

із колекції культур відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України згідно схеми: 1 – Контроль (обробка насіння водою); 2 – Ризобін^К (асоціація 3-х штамів бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023 й УКМ В-6035); 3 – Ризобін^К + *Bacillus* sp.4; 4 – Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5; 5 – Ризобін^К + *Pseudomonas* sp. 6. Інокуляцію насіння проводили згідно описаним методам (Іутинська, 2018). Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп у ризосферному ґрунті визначали методом посіву ґрунтової суспензії на відповідні агаризовані поживні середовища (Hudz, 2014) і виражали кількістю колонієутворюючих одиниць (КЮО) у 1 г абсолютно сухого ґрунту (АСГ).

Площа посівної ділянки – 60,0 м², облікової – 17 м², повторність досліджу чотириразова. Посів сортів сої проведено в третій декаді квітня сівалкою «Клен -1,5» шириною міжрядь 45 см на глибину 3-4 см.

Результати та їх обговорення

Згідно результатів наукових досліджень, проведених у різних природно-кліматичних зонах України, інокуляція насіння сої бульбочковими бактеріями істотно підвищує симбіотичну фіксацію молекулярного азоту атмосфери, а, отже, й урожай культури (Танчук, 2021). Поряд з цим, залучення азоту з повітря в кругообіг поживних речовин зернобобовими культурами забезпечує покращення екологічного стану навколишнього середовища.

1. Агрокліматичні умови вегетаційного періоду середньосухого (75%) за забезпеченістю опадами 2023 р. у селищі Хлібодарське Одеської області та середні багаторічні показники південної частини Степу

Місяць	Агрокліматичні показники					
	середня температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	сума опадів, мм	випаровуваність, мм	дефіцит волого забезпечення, мм	коефіцієнт зволоження
Середньосухий (75%) за забезпеченістю опадами 2023 рік (сел. Хлібодарське)						
Квітень	10,2	79	100,0	46,8	+53,2	2,14
Травень	17,9	68	34,0	106,1	72,1	0,32
Червень	21,7	52	50,4	188,4	138,0	0,27
Липень	29,3	65	47,8	185,7	137,9	0,26
Серпень	24,5	50	38,0	220,5	182,5	0,17
Вересень	18,1	56	66,5	147,1	80,6	0,45
За IV-IX	20,3	61	336,7	894,7	558,0	0,38
Середні багаторічні показники за 1945-2010 рр. підзони Південного Степу (м. Херсон)						
Квітень	9,6	71	24,6	62,5	37,9	0,39
Травень	15,8	67	26,8	98,9	72,1	0,27
Червень	20,3	64	38,3	133,0	94,7	0,29
Липень	23,0	59	49,7	170,0	120,3	0,29
Серпень	22,2	59	44,3	164,4	120,1	0,27
Вересень	16,5	66	32,0	105,4	73,4	0,30
За IV-IX	17,9	64	215,7	734,2	518,5	0,29

Рослинний мікробіом відіграє життєво важливу роль у рості і розвитку фітопартнера в умовах абіотичного та біотичного стресів. На живлення та формування рослин негативно впливають різні фактори, такі як нестача води, висока температура, забруднення, патогени тощо. Використання потенціалу мікробіому для стимулювання росту рослин і захисту від шкідливого впливу стресових факторів сприяє підвищенню продуктивності і якості урожаю. Відомо, що застосування біопрепаратів на основі термотолерантних бактерій сприяє послабленню впливу тепло-

вого стресу на рослини сої (Maitra, 2021, Kamran, 2022).

Агрокліматичні умови південної частини зони Степу Одеської області, у якій проводилися дослідження, характеризуються помірно жарким та дуже посушливим кліматом. Розраховані показники вологозабезпечення свідчать, що південна частина зони Степу Одеської області протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур (квітень-вересень) 2023 р. відносилася до напівсухої зони, а в липні й вересні – до пустелі. Випаровуваність і дефіцит вологозабезпечення протягом вегетаційного

періоду суттєво змінювались і залежали від середньодобової температури, відносної вологості повітря та кількості атмосферних опадів.

Усього протягом вегетаційного періоду 2023 р. (квітень-вересень) випало 336,7 мм атмосферних опадів, що було більше багаторічних показників у середньому за 65 років (1945-2010 рр.) на 121,0 мм, або 56,1%. У квітні випало 100,0, травні – 34,0, червні – 50,4, липні – 47,8, серпні – 38,0 і вересні – 66,5 мм. В цілому у середньосухому (75%) за забезпеченістю опадами 2023 р. протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур потенційні витрати води (випаровуваність) досягали 894,7 мм (табл.1).

Порівняно з середніми значеннями за 65 років (1945-2010 рр.) спостережень, вказані показники підзони Південного Степу були більшими на 160,5 мм, або на 17,9%. У квітні випаровуваність була незначною і не перевищувала 46,8 мм, у травні зростала до 106,1, у червні – до 188,4, у липні – до 185,7, у серпні – до 220,5 і у вересні – до 147,1 мм.

Через недостатню кількість атмосферних опадів у червні, липні та серпні на рослинах обох сортів сої різної групи стиглості, спостерігалось суттєве зростання дефіциту вологозабезпечення, яке досягало 137,9-182,5 мм. Дефіцит вологозабезпечення протягом вегетаційного періоду різних за скоростиглістю сортів сої істотно залежав від агрокліматичних умов і досягав за вегетаційний період 558,0 мм. Порівняно з середніми багаторічними показниками за 65 років спостережень дефіцит вологозабезпечення був більшим на 39,5 мм, або на 7,1%. При цьому у травні він складав лише 72,1 мм, у червні –

138,0; липні – 137,9; серпні – 182,5 і вересні – 80,6 мм.

Ступінь забезпеченості вологою різних за скоростиглістю сортів сої встановлювали також і за коефіцієнтом зволоження (Кз). В середньому за вегетаційний період (квітень-вересень) коефіцієнт зволоження складав 0,38, що свідчить про те, що південна частина зони Степу Одеської області відносилася до дуже посушливої зони.

Протягом кожного місяця вегетаційного періоду коефіцієнт зволоження був різний і суттєво відрізнявся від середнього показника за вегетаційний період сільськогосподарських культур. У квітні коефіцієнт зволоження складав 2,14, у травні – 0,32; червні – 0,27; липні – 0,26; серпні – 0,17 і вересні – 0,45. Наведені показники коефіцієнта зволоження свідчать про те, що у квітні південна частина зони Степу відносилася до високозволоженої зони, протягом травня, червня і липня – до напівсухої зони, протягом серпня – до напівпустелі й протягом вересня – до посушливої зони.

Для природно-кліматичних зон України при Кз = 1,00-1,33 і більше зону відносять до високозволоженої; при Кз = 1,00-0,77 – до напіввологої; при Кз = 0,77-0,55 – до напівпосушливої; при Кз = 0,55-0,44 – до посушливої; при Кз = 0,44-0,33 – до дуже посушливої; при Кз = 0,33-0,22 – до напівсухої зони; при Кз = 0,22-0,12 – до напівпустелі; при Кз = 0,12 і менше – до пустелі. У зв'язку з недостатньою кількістю опадів у серпні та вересні спостерігалось суттєве зростання дефіциту вологозабезпечення.

Загальна тривалість міжфазного періоду «сходи-початок гілкуван-

2. Агрокліматичні умови вегетаційного періоду різних за скоростиглістю сортів сої у середньосухому (75%) за забезпеченістю опадами 2023 р. (сел. Хлібодарське)

Календарні дати	Середня температура повітря °С	Кількість опадів, мм	Відносна вологість повітря, %	Випаровуваність, мм	Дефіцит вологозабезпечення, мм	Коефіцієнт зволоження (КЗ)
Сорт Діона						
сходи-початок гілкування (14 діб)						
19.V-01.VI	20,0	31,2	59,0	152,7	121,5	0,20
початок гілкування-початок цвітіння (17 діб)						
02.VI-18.VI	20,5	18,9	52,0	153,1	134,2	0,12
початок цвітіння-початок формування бобів (12 діб)						
19.VI-30.VI	23,4	10,4	53,0	128,7	118,3	0,08
початок формування бобів-початок наливу насіння (20 діб)						
01.VII-20.VII	25,7	12,8	49,0	188,9	176,1	0,07
початок наливу насіння -початок дозрівання насіння (13 діб)						
21.VII-02.VIII	26,7	35,0	54,0	207,8	172,8	0,17
початок дозрівання насіння-повне дозрівання насіння (14 діб)						
03.VIII-16.VIII	24,5	23,5	48,0	213,9	190,4	0,11
Середнє						
90 діб	23,5	131,8	52,5	1045,1	913,3	0,13
Сорт Святогор						
сходи-початок гілкування (16 діб)						
25.V-09.VI	20,0	22,6	54,0	167,7	145,1	0,13
початок гілкування-початок цвітіння (17 діб)						
10.VI-26.VI	22,6	22,2	55,0	183,5	161,3	0,12
початок цвітіння-початок формування бобів (17 діб)						
27.VI-18.VII	24,8	17,3	50,0	223,2	205,9	0,08
початок формування бобів-початок наливу насіння (25 діб)						
19.VII-08.VIII	25,2	60,5	55,0	204,1	143,6	0,30
початок наливу насіння-початок дозрівання насіння (30 діб)						
09.VIII -03.IX	26,1	20,0	44,0	263,2	243,2	0,08
початок дозрівання насіння-повне дозрівання насіння (16 діб)						
04.IX-19.IX	20,2	1,0	45,0	202,3	201,3	0,01
Середнє						
118 діб	23,1	143,6	50,5	1244,0	1100,4	0,12

ня» при вирощуванні скоростиглого сорту Діона не перевищувала 14 діб, протягом якого випало 31,2 мм атмосферних опадів або 23,7% до загальної їх кількості в цілому за вегетаційний період культури (табл. 2).

Коефіцієнт зволоження у вказаному міжфазному періоді загальною тривалістю 14 діб не перевищував 0,20, який свідчить про те, що територія південної частини зони Степу Одеської області, у тому числі й дослідного поля, протягом міжфазного періоду «сходи-початок гілкування» обох сортів сої відносилася до напівпустелі.

Тривалість міжфазного періоду «початок гілкування-початок цвітіння» сортів сої не перевищувала 17 діб, протягом якого випало лише 18,9-22,2 мм атмосферних опадів або 14,3-15,5% до загальної їх кількості у періодах. За середньодобової температури 20,5-22,6°C й відносної вологості повітря 52,0-55,0% випаровуваність при вирощуванні сорту Діона досягала 153,1 мм і сорту Святогор – 183,5 мм, дефіцит вологозабезпечення складав 134,2 та 161,3 мм відповідно.

Протягом міжфазного періоду «початок цвітіння-початок формування бобів» загальна тривалість якого для сорту Діона складала 12 діб, за середньої температури 23,4°C й відносної вологості повітря 53,0% випаровуваність зростала до 128,7 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 118,3 мм. Кількість опадів при вирощуванні сорту Діона у вказаному міжфазному періоді складала лише 10,4 мм або 7,9% до загальної кількості опадів протягом вегетаційного періоду культури. За вказаних погодних умов коефіцієнт зволоження для обох сортів сої Діона й Святогор не

перевищував 0,08, що характерно для пустелі.

У міжфазному періоді «початок формування бобів-початок наливу насіння» кількість атмосферних опадів при вирощуванні сорту Діона складала 12,8 мм, або 9,7 % до загальної кількості опадів за вегетаційний період сорту. За середньої температури 25,7°C й відносної вологості повітря 49,0% випаровуваність у вказаному міжфазному періоді при вирощуванні сорту Діона зростала до 188,9 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 176,1 мм.

При вирощуванні середньостиглого сорту Святогор у міжфазному періоді «початок формування бобів-початок наливу насіння», загальна тривалість якого зростала до 25 діб, також спостерігали негативний вплив погодних умов на формування урожаю культури. За середньодобової температури 25,2°C і відносної вологості повітря 55,0% випаровуваність складала 204,1 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 143,6 мм. Коефіцієнт зволоження за вказаних погодних умов не перевищував 0,30, що характерно для напівсухої зони.

У міжфазному періоді «початок наливу насіння-початок дозрівання насіння» коефіцієнт зволоження при вирощуванні сорту Діона протягом 13 діб не перевищував 0,17, що характерно для напівпустелі. При вирощуванні сорту Святогор цей показник становив 0,08. Згідно вказаного показника коефіцієнта зволоження, протягом 30 діб територія Південного Степу відносилася до пустелі.

У міжфазному періоді «початок дозрівання насіння-повне дозрівання насіння», загальна тривалість якого при вирощуванні сорту Діона складала 14 діб, а сорту Святогор – 16 діб,

3. Вплив ендofітно-ризобіальної інокуляції на чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп у ризосфері сої сортів Діона і Святогор за неполивного землеробства Південного Степу України (фаза цвітіння-початку плодоутворення, млн. КУО/г АСГ)

Варіант досліджу	Со́я сорту Діона			Со́я сорту Святогор		
	Азотфіксу-вальні	Фосфат-мобілізу-вальні	Педотроф-ні	Азотфіксу-вальні	Фосфат-мобілізу-вальні	Педотроф-ні
К	34,8±4,3	54,4±5,04	78,03±6,4	8,9±0,7	10,1±1,8	76,4±3,07
R ^K	35,08±5,0	71,8±2,1	76,2±3,5	6,6±0,7	10,8±1,2	75,2±3,8
R ^{K+4}	63,8±3,6	70,6±3,6	103,9±4,3	12,3±1,5	21,6±4,5	87,05±0,7
R ^{K+5}	86,8±8,8	205,7±23,4	313,7±6,6	7,9±1,9	7,9±1,9	71,1±3,1
R ^{K+6}	69,4±1,4	167,4±17,9	244,1±12,9	5,5±0,7	14,1±0,7	74,8±6,3

Примітка: К – контроль з обробкою насіння водою; R^K–Ризобін^K; R^{K+4} – Ризобін^K + *Bacillus* sp.4; R^{K+5} – Ризобін^K + *Brevibacillus* sp.5; R^{K+6} – Ризобін^K + *Pseudomonas* sp. 6.

коефіцієнт зволоження при вирощуванні сорту Діона складав 0,11 (пустеля), а сорту Святогор – 0,01 (пустеля).

Результати дослідження мікробіоти ризосферної зони рослин сої показали, що у цих екстремальних погодно-кліматичних умовах застосування новітніх біопрепаратів на основі комплексу бульбочкових і ендofітних бактерій чинило стресопротекторний вплив на мікробіоценоз, формування, розвиток і продуктивність соєво-ризобіальних систем обох досліджених сортів.

При вивченні впливу інокуляції насіння бульбочковими й ендofітними бактеріями на розвиток агрономічно корисних еколого-трофічних груп ризосферного мікробіоценозу сої в умовах неполивного землеробства Південного Степу України встановлено суттєвий стимулювальний вплив комплексної інокуляції на чисельність мікроорганізмів, які беруть участь у трансформації азоту, фосфору та гумусових сполук.

У ризосфері ультраскоростиглого сорту Діона у фазі цвітіння-початку плодоутворення кількість азотфік-

сувальних бактерій, які покращують азотний баланс ґрунту за рахунок біологічного азоту, при коінокуляції Ризобіном^K з ендofітними штамми була вищою порівняно з контролем, де насіння було оброблене водою, у 1,8 – 2,5 рази (Табл.3).

Важливе значення у фосфорному живленні рослин відіграють фосфатмобілізуювальні бактерії, які трансформують недоступні для рослин сполуки фосфору у розчинні форми, що засвоюються рослинами. Чисельність фосфатмобілізуювальних бактерій за використання комплексної інокуляції була вищою порівняно з контролем у всіх дослідних варіантах у 1,3-3,7 рази у ризосфері сорту Діона та в 1,4-2,1 рази у ризосфері сорту Святогор.

Кількість педотрофних бактерій, які беруть участь у трансформації водорозчинних гумусових сполук, за коінокуляції Ризобіном^K з ендofітними бактеріями була вищою порівняно з контрольним варіантом у ризосфері сорту Діона у 1,3-4,0 рази, сорту Святогор – на 13%.

Отже, ризосферний ґрунт сої обох досліджених сортів у варіантах з

комплексною ендofітно-ризобіальною інокуляцією відрізнявся підвищеною біологічною активністю, про що свідчать високі показники чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп. Це сприяло зростанню стійкості рослин до посушливих погодно-кліматичних умов і підвищенню урожайності.

Завдяки комплексній інокуляції, в посушливих умовах неполивного землеробства Південного Степу України отримано статистично достовірне підвищення урожаю сої, причому найбільший приріст урожаю у сорту Діона отримано за коінокуляції Ризобіом^К + *Pseudomonas* sp. 6, а у сорту Святогор – за комплексної інокуляції Ризобіом^К + *Brevibacillus* sp.5 (на 0,36 та 0,28 т/га відповідно порівняно з контрольним варіантом).

Висновки і перспективи.

Таким чином, встановлено позитивний вплив ендofітно-ризобіальної інокуляції на стійкість сої до несприятливих посушливих умов вирощування за неполивного землеробства Південного Степу України та її продуктивність. Отримані дані є підставою для подальшої розробки заходів підвищення ефективності бобово-ризобіального симбіозу у різних за скоростиглістю сортів сої із застосуванням комплексної інокуляції насіння симбіотичними бульбочковими й неризобіальними ендofітними бактеріями на неполивних землях півдня України. Основними напрямками наукової й господарської діяльності для отримання в південній частині зони Степу стабільно високих урожаїв сільськогосподарських культур є структуризація посівних площ з оптимальною часткою у них зрощуваних

земель та застосування біоінокулянтів зі стресопротекторними та фітостимулювальними функціями.

References

1. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.-L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I.A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., ... Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proc Natl Acad Sci.*, 114(35), 9326–9331. DOI: 10.1073/pnas.1701762114.
2. Gopal, M., Gupta, A. (2016). Microbiome Selection Could Spur Next-Generation Plant Breeding Strategies. *Frontiers in Microbiology*, 7. DOI:10.3389/fmicb.2016.01971.
3. Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., Glick, B.R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 183, 92–99. DOI:10.1016/j.micres.2015.11.008.
4. Singh, V.K., Singh, A.K., Kumar, A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *3 Biotech*, 7(4). DOI:10.1007/s13205-017-0896-1.
5. Mahmud, K., Makaju, S., Ibrahim, R., Missaoui, A. (2020). Current Progress in Nitrogen Fixing Plants and Microbiome Research. *Plants* 9(1), 97. DOI:10.3390/plants9010097
6. Ludwig-Müller, J. (2015). Plants and endophytes: equal partners in secondary metabolite production? *Biotechnology Letters*, 37(7), 1325–1334. DOI:10.1007/s10529-015-1814-4.
7. Dombrowski, J.E., Hollenbeck, V.G., Martin, R.C. (2017). Isolation and Identification of Bacterial Endophytes from Grasses along the Oregon Coast. *American Journal of Plant Sciences*, 8(3), 574–601. DOI:10.4236/ajps.2017.83040.

8. Dubey, A., Saiyam, D., Kumar, A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Khan, M. L. (2021). Bacterial Root Endophytes: Characterization of Their Competence and Plant Growth Promotion in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under Drought Stress. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 931. DOI:10.3390/ijerph18030931.
9. Iutynska, G.O., Goloborod'ko, S.P., Tytova, L.V., Dubynska, O.D. (2022) Effectiveness of endophytic-rhizobial seed inoculation of *Glycine max* (L.) Merr. cultivated in irrigated soil. *Journal of Central European Agriculture*. 23(1), 40-53. DOI:10.5513/jcea01/23.1.3397
10. Romanenko, V.A. (1961) Calculation of autumn soil moisture from a universal ratio for a large area. Proceedings of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute. Kyiv. T. 34. Issue 1. P. 35-68.
11. Ushkarenko, V.O., Vozhegova, R.A., Holoborodko, S.P., Kokovikhin, S.V. (2014). Methodology of field experiment (Irrigated agriculture): training. manual. Kherson: Gryn D. S. 448 p.
12. Kryvenko, A. I. (2019). Scientific substantiation of biological technologies for growing winter grain crops in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine: author's abstract. thesis ... dr. Agricultural Sciences: 06.01.09. Kherson, 2019.40 p. http://www.ksau.kherson.ua/files/avtoreferaty_dysertatsiyi.
13. Dymov, O.M., Holoborodko, S.P. (2022). Water supply of the steppe zone of Ukraine and rational use of irrigated lands in the steppe zone of Ukraine. *Irrigated agriculture*. Kherson, No. 77. P. 27-31. DOI: 10.32848/0135-2369.2022.77.6.
14. Iutynska, G.O., Bilyavska, L.O., Tytova, L.V. et al. (2018). Application of the latest biological preparations in crop production. Guidelines. Kyiv, Institute of Microbiology and Virology named after D.K. Zabolotny National Academy of Sciences, Kyiv, 104p.
15. Gudz, S.P., Hnatush, S.O., Yavorska, G.V., Bilinska, I.S., Borsukevich, B.M. (2014). Workshop on microbiology: textbook. Lviv, LNU named after Ivan Franko, 436 p.
16. Tanchyk, S., Litvinov, D., Butenko, A., Litvinova, O., Pavlov, O., Babenko, A., Shpyrka N., Onychko, V., Masyk, I., Onychko, T. (2021). Fixed nitrogen in agriculture and its role in agrocenoses. *Agronomy Research*, 19(2), 601–611. DOI:10.15159/AR.21.086.
17. Maitra, S., Pramanick, B., Dey, P., Bhadra, P., Shankar, T., Anand, K. (2021). Thermotolerant Soil Microbes and Their Role in Mitigation of Heat Stress in Plants. *Soil Microbiomes for Sustainable Agriculture*, 27, 203–242. DOI:10.1007/978-3-030-73507-4.
18. Kamran, M., Imran, Q. M., Ahmed, M. B., Falak, N., Khatoon, A., & Yun, B.-W. (2022). Endophyte-Mediated Stress Tolerance in Plants: A Sustainable Strategy to Enhance Resilience and Assist Crop Improvement. *Cells*, 11(20), 3292. DOI:10.3390/cells11203292.

Goloborodko S., Iutynska H., Tytova L., Dubynska O., Shevchuk N. (2024) AGROCLIMATIC FACTORS AND PRODUCTIVITY OF DIFFERENT MATURITY GROUPS SOYBEAN CULTIVARS UNDER ENDOPHYTIC-RHIZOBIAL INOCULATION IN CONDITIONS OF NON-IRRIGATED AGRICULTURE OF THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 5-16.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/49020>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.001](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.001)

Abstract. The article presents the results of studies of weather and climatic conditions during the production processes in the period of formation of the yield of soybean varieties of different maturity under pre-sowing endophytic-rhizobial inoculation of seeds, as well as the functional activity of the rhizosphere microbiota and plant productivity in conditions of non-irrigated agriculture. The average temperature, relative humidity, and rainfall were determined for the interphase periods, which are the main indicators that affect the evapotranspiration, moisture deficit, and moisture coefficient. The experiments were conducted at the experimental field of the Odesa State Agricultural Research Station, located in the southern steppe zone of Ukraine. The soil of the experimental field is a heavy loamy southern chernozem. The moisture availability indicators show that the southern part of the Steppe zone of Odesa region during the growing season of crops (April-September) in 2023 belonged to the semi-arid zone, and in July and September - to the desert. Evapotranspiration and moisture deficit during the growing season of plants of both soybean varieties (ultra-early maturing Diona and mid-season Sviatohor) varied significantly and depended on the average monthly temperature, relative humidity and rainfall. Evapotranspiration reached 1045.1-1244.0 mm, resulting in a moisture deficit of 913.3-1100.4 mm. Due to insufficient rainfall in June, July and August, most crops experienced an increase in moisture deficit. The use of complex thermotolerant and drought-resistant microbial inoculants with stress-protective functions reduced the negative impact of agroclimatic factors on soybean plants and rhizosphere microbiota. The main directions of scientific and economic activity for obtaining consistently high crop yields in the southern part of the Steppe zone are the structuring of sown areas with an optimal share of irrigated land and the use of innovative biological preparations.

Keywords: soybean, endophytic-rhizobial inoculation, non-irrigated agriculture, deficit of moisture supply, rhizosphere microbiota, productivity.
