

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯШНИКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ

К.К. Куртєв¹, В.А. Руденко²

²PhD (доктор філософії), науковий співробітник

¹Одеський державний аграрний університет

Міністерства освіти і науки України

вул. Пантелеймонівська, 13, м. Одеса, 65012, Україна

²Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

Маяцька дорога, 24, с-ще Хлібодарське Одеського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

e-mail: ¹kostyantyn.kurtev@gmail.com, ²slavik.deinos@gmail.com

ORCID: ¹0009-0000-7709-4541, ²0000-0002-8651-7689

Надійшла 18.12.2025. Рецензована 26.12.2025. Прийнята до друку 19.03.2026

Мета. Оцінити вплив систем обробітку ґрунту та технологій вирощування на формування і продуктивність кореневої системи соняшнику та його врожайність у різних умовах зволоження Південного Степу України. **Методи.** Польовий 2-факторний експеримент було закладено у 2023–2025 рр. на полях ТОВ «Колос» Роздільнянського р-ну Одеської обл. Ґрунт дослідних ділянок — чорнозем звичайний із вмістом гумусу 4,0–4,2%, рН — 7,8–8,2, загальна шпаруватість — 57–58%. Вивчали формування та поширення розміщення кореневої системи в профілі ґрунту 50 см за різних технологій вирощування (Classic, Clearfield) і систем обробітку (verti-till, strip-till) із використанням дискової борони Qualidisc 7000 як контролю. Оцінювали масу коренів, індекс їх продуктивності та врожайність за 3 роки. **Результати.** Система обробітку ґрунту і технологія вирощування істотно впливали на розвиток кореневої системи соняшнику. За впровадження технології Classic формувалася потужна коренева система. Системи verti-till і strip-till забезпечували більшу сумарну масу коренів і максимальний індекс їх продуктивності, який на 5,9% перевищував контроль (0,18–0,19 кг сухої біомаси на 1 кг коренів). Максимальної врожайності насіння соняшнику за 3 роки досліджень було досягнуто за технології strip-till із використанням сівалки Mzuri-Pro-Til 6T. Із застосуванням технології Clearfield урожайність його насіння була на 0,31 т/га більшою, ніж на контролі, технології Classic — на 0,36 т/га більшою за показник на контролі. **Висновки.** Застосування системи strip-till забезпечує найвищу й стабільну врожайність соняшнику, особливо за дефіциту вологи. Впровадження технології Classic є ефективнішим за достатнього

зволоження, тоді як технологію Clearfield доцільніше використовувати в умовах екстремальної посухи.

Ключові слова: агрегати Horsch Tiger 6MT, Salford 7000, Qualidisc 7000, Mzuri Pro-Till 6T, маса коренів, пошарове розміщення кореневої системи, технології Clearfield, Classic, урожайність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202603-02>

Соняшник має потужну стрижневу кореневу систему, яка може проникати на глибину до 3 м і розширюватися в діаметрі на 150–160 см, що дає змогу рослинам успішно пережити тривалі посушливі періоди без істотних втрат продуктивності [1, 2]. В останні 2 десятиліття в технологічний процес обробітку ґрунту впроваджують різні інновації, зокрема системи *verti-till*, *strip-till* та *mini-till*, технології Clearfield, ExpressSun (Sumo), A.I.R., застосовують багатофункціональні регулятори росту тощо. Усі ці нововведення певною мірою впливають на функціонування всього рослинного організму, особливо кореневої системи [3–5].

Визначення маси рослин — дуже трудомістке дослідження, його виконання потребує багато часу й матеріальних витрат. Саме тому це питання недостатньо вивчене.

Встановлено, що ущільнення ґрунту обмежує вертикальний розвиток кореневої системи, що змушує рослину розширювати бічне розгалуження у верхніх шарах. Системи обробітку *no-till* (без обробітку), *mini-till* (мінімальний), *strip-till* (смуговий) зменшують негативний вплив ущільнення ґрунту завдяки покращенню його структури та пористості [6, 7].

Дослідженням [8] доведено, що за впровадження системи обробітку ґрунту *no-till* у верхньому його шарі створюється більш стабільний водний режим, що позитивно впливає на початковий ріст кореневої системи й активність поглинання поживних елементів.

Автори [9] також вивчали вплив технологій *no-till* і *strip-till* на транспірацію,

фотосинтетичну активність і біомасу соняшнику. Доведено, що зменшення інтенсивності обробітку ґрунту сприяє поліпшенню збереження ґрунтової вологи, зниженню температури ґрунту в критичні періоди та розвитку кореневої системи. В умовах дефіциту вологи ці чинники забезпечують стабільнішу продуктивність культури [9]. Інтенсивний обробіток погіршує структурний стан ґрунту, тоді як зі зменшенням його глибини та кратності стабілізуються агрофізичні показники. Зміни цих параметрів безпосередньо впливають на доступність вологи й розвиток коренів соняшнику [10], оскільки адаптація його до посухи визначає ефективність водопоглинання і транспорту речовин [11].

Наші дослідження спрямовані на визначення впливу сучасних технологічних інновацій у вирощуванні соняшнику на його кореневу систему та продуктивність.

Мета досліджень — експериментально визначити відмінності показників маси кореневої системи, її розподілу в профілі ґрунту та продуктивності залежно від інноваційних методів обробітку ґрунту та технологій вирощування.

Матеріали та методи досліджень. Завданням досліджень є: промивання й сушіння коренів соняшнику за шарами 0–10, 10–20, 20–30, 30–50 см; визначення питомої маси кожного шару та розроблення схем для ілюстрації розподілу; розрахунок індексу продуктивності кореневої системи для порівняння різних систем обробітку ґрунту та технологій вирощування; проведення

комбайнового збирання і визначення співвідношення маси насіння, стебла й листя.

Експериментальні роботи, спрямовані на виконання цих завдань, проводили у 2023–2025 рр. Польовий 2-факторний експеримент було закладено на полях ТОВ «Колос» Роздільнянського р-ну Одеської обл. Ґрунти дослідних ділянок представлені чорноземом звичайним з умістом гумусу 4,0–4,2%, рН 7,8–8,2 та шпаруватістю 57–58%. Першим фактором були сучасні інноваційні системи обробітку ґрунту: стерньовий культиватор Horsch Tiger 6MT, обробіток *verti-till* з агрегатом Salford 7000, дискова борошна Qualidisc 7000 (контроль), *strip-till* із прямою сівбою за допомогою сівалки Mzuri Pro-Til 6T.

Другий фактор — сучасні високопродуктивні гібриди соняшнику P64LP130 (для вирощування за технологією Clearfield) і NK Kondi (для вирощування за технологією Classic із застосуванням ґрунтових гербіцидів). Гібрид P64LP130 (Pioneer) — середньостиглий (вегетаційний період — 113–115 діб), характеризується високою посухостійкістю (8 балів), толерантністю до вертицильозу та пероноспорозу (9 балів). Потенціал урожайності — 2,7–5,1 т/га. Гібрид використовують для ранніх строків сівби (II–III декади квітня). Гібрид NK Kondi (Syngenta) — середньостиглий, інтенсивного типу (вегетація — 116–120 діб), відзначається високою екологічною пластичністю й олійністю (52–54%). Потенціал урожайності — до 5,0 т/га. Гібрид стійкий до вовчка (раси А–Е) і толерантний до основних хвороб (фомозу, фомопсису).

У першій рік досліджень усе поле площею 110 га було розділене навпіл, де висіяли 2 гібриди. Для кожного з них виділили 16 смуг площею 344 га кожна, усього було 4 повторення. Площа облікової ділянки становила 12 000 м² (1,2 га). У наступні роки площу ділянок істотно зменшили (дослідна

ділянка — 2240 м², облікова — 560 м²). Повторення залишилися 4-разовим.

Масу коренів визначали промиванням ґрунтових зразків площею 0,125 м² за шарами 0–10, 10–20, 20–30 та 30–50 см [5]. Корені промивали в період цвітіння (2023–2024 рр.) й висушували до абсолютно сухого стану. Продуктивність соняшнику визначали прямим комбайновим збиранням з усієї площі облікової ділянки. Комбайн обладнаний пристроєм Змієвського, який істотно модифіковано. У цьому разі була приставка для збирання соняшнику ПС(А) на жатках зернозбиральних комбайнів. Після обмолоту насіння не подавали до бункера, натомість його збирали в мішок, прикріплений до конвеєра бункера. Пошаровий аналіз кореневої системи (0–10, 10–20, 20–30, 30–50 см) було застосовано для детального моніторингу вертикальної міграції кореневої маси в пошуках вологи, що критично важливо для оцінювання адаптивності гібридів до посухи.

Система удобрення передбачала внесення макродобрих нормою N₈₀P₄₀K₂₀, зокрема КАС-32 (250 кг/га), суперфосфату гранульованого, 20% (200 кг/га) та калійної солі (50 кг/га). Позакоренево застосовували мікродобриво Leaf Forte та стимулятор-антистресант Хелафіт Комбі (у фазі початку формування кошика).

Для захисту посівів використовували відкаліброване й протруєне фунгіцидно-інсектицидним комплексом насіння. Контроль сегетальної рослинності здійснювали залежно від застосованої технології: Clearfield (гібрид P64LP130) — післясходове внесення гербіциду Євро-Лайтнінг (1,1 л/га), Classic (гібрид НК Конді) — досходове внесення ґрунтового гербіциду Харнес (2,0 л/га). Для забезпечення оптимальної гербіцидної активності сівбу проводили з урахуванням вологості ґрунту.

Результати досліджень. Отримані зразки коренів із ґрунтових зондів в абсолютно сухому стані зважували

1. Абсолютно суха маса коренів соняшнику в шарі ґрунту 0–50 см, т/га

Обробіток ґрунту (А)	Шар ґрунту, см				
	0–10	10–20	20–30	30–50	0–50
<i>Гібрид Р64LP130 (Clearfield (В))</i>					
Horsch Tiger 6MT	0,22	0,78	0,39	0,22	1,61
Salford 7000	0,26	0,80	0,40	0,20	1,66
Qualidisc 7000	0,24	0,75	0,38	0,17	1,54
Mzuri Pro-Til 6T	0,30	0,80	0,40	0,20	1,70
Середня за фактором А	0,27	0,78	0,39	0,20	1,63
<i>Гібрид NK Kondi (Classic (В))</i>					
Horsch Tiger 6MT	0,20	0,88	0,40	0,17	1,65
Salford 7000	0,25	0,94	0,43	0,20	1,82
Qualidisc 7000	0,24	0,85	0,39	0,15	1,63
Mzuri Pro-Til 6T	0,29	0,97	0,45	0,22	1,93
Середня за фактором А	0,25	0,91	0,42	0,18	1,79
Джерело: розраховано авторами (для табл. 1–3).					

й перераховували на 1 га площі. Середні дані за 2 роки наведено в табл. 1.

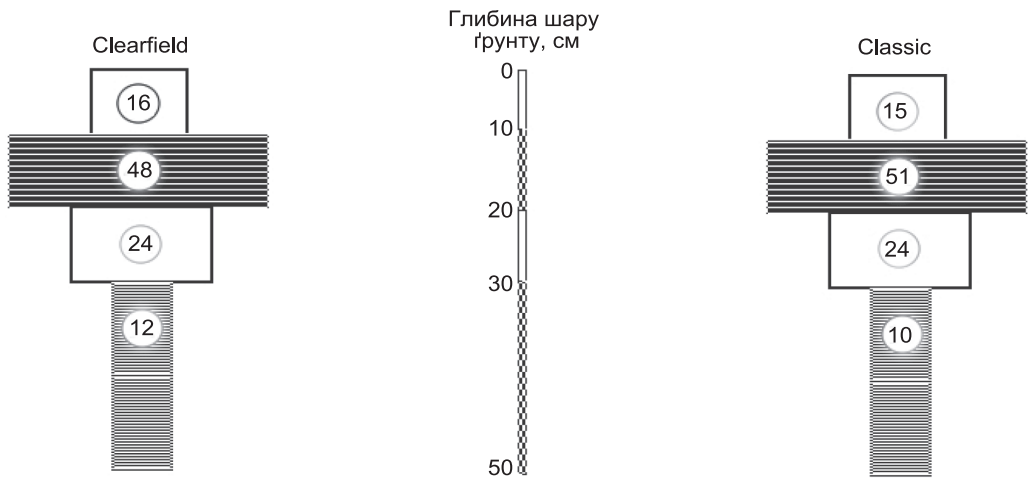
Слід зазначити, що соняшник локалізує основну частину своїх коренів у шарі 10–20 см (до 50% загальної маси). Цим він відрізняється від інших польових культур, більшість з яких концентрують основну масу коренів у шарі 0–10 см. Особливістю гібрида NK Kondi є те, що маса його коренів у шарі 0–50 см більша, ніж у гібрида Р64LP130, стійким до імідазолінів (IMI). Порівняно з останнім він сформував на 9,8% більшу масу коренів. Однак це стосується лише верхніх шарів ґрунту, оскільки корені цього гібрида проникали на глибину 50 см. Це явище зумовлює нижчу посухостійкість гібрида NK Kondi, що виявилось вирішальним чинником у формуванні врожайності в надзвичайно посушливий сезон 2025 р.

Із впровадженням технологій Clearfield і Classic рослини соняшнику формували максимальну масу коренів за використання системи обробітку ґрунту verti-till та strip-till. Особливу увагу слід приділити обробітку strip-till із використанням

сівалки Mzuri Pro-Til 6T. У цьому варіанті середня маса коренів гібрида Р64LP130 за 2 роки в шарі ґрунту 0–50 см становила 1,70 т/га, що на 10,4% більше за показник у контрольному варіанті і на 18,4% більше, ніж за використання технології Classic. На рисунку наведено діаграму, що відображає особливості розподілу коренів соняшнику.

Радикальних відмінностей тут не спостерігали, проте зазначені варіації є істотними. Поняття продуктивності кореневої системи стосується формування потужної кореневої системи, здатної глибоко проникати в ґрунт і забезпечувати задовільний урожай навіть за несприятливих умов. Проте ця характеристика не є продуктивністю, оскільки термін фактично означає кількість одиниць надземної біомаси, що виробляється на одиницю маси коренів [6].

Для розрахунку продуктивності коренів визначали врожайність сухої надземної маси на момент промивання коренів, а отриманий показник ділили на масу коренів (табл. 2).



Діаграма розподілу коренів соняшнику за різними технологіями вирощування (середнє за 2 роки), % загальної маси

Джерело: розраховано авторами.

2. Продуктивність кореневої системи соняшнику (2023 – 2024 рр.), кг сухої надземної маси / кг сухих коренів

Обробіток ґрунту	2023			2024			Середня за 2 роки		
	Суха біомаса, кг/га		Продуктивність, кг/га	Суха біомаса, кг/га		Продуктивність, кг/га	Суха біомаса, кг/га		Продуктивність, кг/га
	Надземна	Коренева		Надземна	Коренева		Надземна	Коренева	
<i>Гібрид P64LP130 (Clearfield)</i>									
Horsch Tiger 6MT	4,22	1,85	2,29	3,33	1,34	2,49	3,78	1,59	2,38
Salford 7000	4,96	1,96	2,53	3,51	1,36	2,58	4,24	1,66	2,55
Qualidisc 7000	3,95	1,77	2,23	3,30	1,31	2,52	3,63	1,54	2,36
Mzuri Pro-Til 6T	5,12	2,01	2,55	3,69	1,45	2,54	4,40	1,73	2,54
Середня за фактором А	4,56	1,90	2,40	3,46	1,37	2,53	4,01	1,63	2,46
<i>Гібрид NK Kondi (Classic)</i>									
Horsch Tiger 6MT	4,02	1,92	2,09	2,56	1,34	1,91	3,29	1,63	2,02
Salford 7000	4,18	2,09	2,00	2,92	1,36	2,15	3,55	1,73	2,05
Qualidisc 7000	3,81	1,81	2,10	2,79	1,31	2,13	3,30	1,56	2,11
Mzuri Pro-Til 6T	4,24	2,18	1,94	2,88	1,35	2,13	4,01	1,77	2,27
Середня за фактором А	4,06	2,03	2,03	2,79	1,33	2,10	3,54	1,67	2,11

Якщо за використання технології Classic сформована маса коренів була більшою, то найвищі показники продуктивності кореневої системи в усіх

варіантах забезпечувала технологія «чистого поля» (Clearfield). Середній показник за 2 роки із впровадженням технології становив: Clearfield — 2,46 кг сухої

3. Урожайність соняшнику залежно від систем обробітку ґрунту та технології вирощування, т/га

Обробіток ґрунту (A)	Середня за 3 роки		
	Насіння	Листостеблова маса	Співвідношення насіння : листочестеблова маса
<i>Гібрид P64LP130 (Clearfield (B))</i>			
Horsch Tiger 6MT	2,12	2,72	1 : 1,28
Salford 7000	2,51	2,91	1 : 1,16
Qualidisc 7000	2,28	2,35	1 : 1,03
Mzuri Pro-Til 6T	2,58	3,06	1 : 1,19
Середня за фактором A	2,37	2,76	1 : 1,16
<i>Гібрид NK Kondi (Classic (B))</i>			
Horsch Tiger 6MT	2,35	2,70	1 : 1,15
Salford 7000	2,58	2,81	1 : 1,09
Qualidisc 7000	2,31	2,64	1 : 1,14
Mzuri Pro-Til 6T	2,67	2,81	1 : 1,13
Середня за фактором A	2,48	2,74	1 : 1,10

надземної маси / кг коренів, Classic — 2,11 кг.

Слід зазначити, що за обробітку ґрунту із застосуванням систем *verti-till* та *strip-till* (фактор A) спостерігають збільшення не лише загальної маси коренів, а й їх продуктивності. Однак це характерно лише для технології *Clearfield*, тоді як за технології *Classic* різниця була незначною й без чіткої закономірності. За технології *Clearfield* обробіток *strip-till* забезпечував підвищення продуктивності коренів соняшнику (середній показник за 2 роки) на 7,6%, а обробіток з агрегатом *Salford 7000* — на 8,0%.

Розглянута динаміка формування кореневої системи соняшнику та її функціонування дають змогу прогнозувати вплив систем обробітку ґрунту та гібридних особливостей на продуктивність соняшнику. Застосування обробітків *verti-till* та *strip-till* сприяло значному підвищенню врожайності культури (табл. 3). Упродовж досліджуваних років урожайність гібридів зменшувалася: *P64LP130* — з 2,84 до 1,69 т/га, *NK Kondi* — з 3,15 до 1,39 т/га, що є наслідком погодних умов, які погіршувалися з року в рік.

За середнім показником за 3 роки врожайність насіння соняшнику за впровадження технології *Classic* була більшою (2,48 т/га), ніж за технології *Clearfield* (2,37 т/га). Цей результат мав місце в перші 2 роки досліджень. У 2025 р., навпаки, урожайність за використання технології *Clearfield* була вищою на 0,27 т/га, або 17,3%. З огляду на те що гібрид *NK Kondi* за посухостійкістю поступається гібриду *P64LP130*, такий результат є цілком очікуваним (див. табл. 3).

Максимальну врожайність насіння соняшнику в усі роки забезпечувала система *strip-till* із використанням сівалки для соняшнику *Mzuri Pro-Til 6T*. За використання технології *Classic* вищі показники врожайності було отримано у варіанті із застосуванням сівалки *Mzuri Pro-Til 6T*, перевищення контролю становило 0,36 т/га. Урожайність листостеблової маси за технології *Clearfield* мала аналогічну тенденцію, як і врожайність насіння, тоді як за технології *Classic* її врожайність була майже однаковою за використання всіх систем обробітку ґрунту.

Співвідношення насіння та листостеб-
лової маси змінювалося в різних варіан-
тах експерименту з 1 : 0,89 до 1 : 2,00. За
сприятливих умов воно зменшувалося,

за посушливих — збільшувалося. Для
гібридів соняшнику NK Kondi середнє за
3 роки співвідношення становило 1 : 1,10,
для P64LP130 — 1 : 1,16.

Висновки

Доведено, що формування кореневої
системи рослин соняшнику залежить
від застосування технології. За роки
досліджень цей показник був вищим
на 6,4% за впровадження технології
Classic.

Максимальної врожайності насіння
соняшнику за 3 роки досліджень було
досягнуто за системи обробітку ґрун-
ту strip-till із використанням сівалки
Mzuri Pro-Til 6T. Із застосуванням

технології Clearfield урожайність на-
сіння була на 0,31 т/га більшою, ніж
на контролі, технології Classic —
на 0,36 т/га.

За результатами досліджень, у роки
з більш сприятливими гідротермічни-
ми умовами вищу врожайність гібрида
NK Kondi забезпечило впровадження
технології Classic, тоді як за умов
значного дефіциту вологи (2025 р.)
ситуація була іншою.

Kurtev K.¹, Rudenko V.²

¹Odesa State Agrarian University, 13 Pan-
teleimonivska Str., Odesa, 65012, Ukraine;

²Odesa State Agricultural Experimental Station
of the Institute of Climate-Smart Agriculture of
NAAS, 24 Maiatska Doroha, vil. Khlibodarske,
Odesa district, Odesa oblast, 67667, Ukraine;
e-mail: ¹kostyantyn.kurtev@gmail.com, ²sla-
vik.deinos@gmail.com; ORCID: ¹0009-0000-
7709-4541, ²0000-0002-8651-7689

Features of root system formation and pro- ductivity of sunflower depending on soil cultivation and cultivation technologies

Goal. To assess the influence of soil cul-
tivation systems and technologies on the for-
mation and productivity of the root system
of sunflower and its yield in various condi-
tions of moisture in the Southern Steppe of
Ukraine. **Methods.** A field 2-factor experi-
ment was conducted in 2023–2025 on the
fields of LLC “Kolos” (Rozdilnianskyi district,
Odesa oblast). The soil of the experimental
sites was typical chernozem with a humus
content of 4.0–4.2%, pH 7.8–8.2, and the
total porosity was 57–58%. They studied the
formation and layered placement of the root
system in the soil profile of 50 cm using vari-
ous growing technologies (Classic, Clearfield),
and cultivation systems (verti-till, strip-till)
using the Qualidisc 7000 disc harrow as a con-
trol. The weight of the roots, their productivity

index, and yield for 3 years were assessed.

Results. The soil cultivation system and cul-
tivation technology significantly influenced the
development of the sunflower root system.
With the introduction of Classic technology, a
powerful root system was formed. The verti-till
and strip-till systems provided a greater total
weight of the roots and a maximum index of
their productivity, which by 5.9% exceeded
the control (0.18–0.19 kg of dry biomass per
1 kg of roots). The maximum yield of sunflower
seeds for 3 years of research was achieved
using strip-till technology using the Mzuri Pro-
Til 6T seeder. Using Clearfield technology, the
yield of its seeds was 0.31 t/ha more than that
of the control. The use of Classic technology
provided a yield of seeds by 0.36 t/ha more
than the control. **Conclusions.** The use of the
strip-till system provided the highest and most
stable yield of sunflower, especially in the case
of moisture deficiency. The introduction of the
Classic technology was more effective at suf-
ficient moisture, while the Clearfield techno-
logy was more appropriate for use in extreme
drought conditions.

Key words: Horsch Tiger 6MT, Salford
7000, Qualidisc 7000, Mzuri Pro-Til 6T, mass
of roots, layered placement of the root sys-
tem, Clearfield technology, Classic technology,
yield.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202603-02>

Бібліографія

1. Seiler G.J. Anatomy and morphology of sunflower. *Sunflower technology and production*. 1997. 834 p. P. 67–111.
2. Mila A.J., Ali M.H. et al. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic return of sunflower. *Cogent Food & Agriculture*. 2017. 3(1):1287619. doi: 10.1080/23311932.2017.1287619
3. Domushchi D., Osadchuk P., Enakiev Y. Research of innovative resource-saving technologies for soil tillage in crop production. *Scientific Progress and Innovations*. 2024. P. 199–201.
4. Jursík M., Fendrychová V., Kolářová M. et al. Optimising Clearfield and ExpressSun sunflower technologies for Central European conditions. *Plant Protection Science*. 2017. 53(4). P. 265–272. doi: 10.17221/116/2016-PPS
5. Jaafar M.N., Stone L.R., Goodrum D.E. Rooting depth and dry matter development of sunflower. *Agronomy Journal*. 1993. 85(2). P. 281–286.
6. Ren W., Zhang J., Wu J. et al. Impact of fertilization depth on sunflower yield and nitrogen utilization: a perspective on soil nutrient and root system compatibility. *Frontiers in Plant Science*. 2024. 15:1440859. doi: 10.3389/fpls.2024.1440859
7. Scheiner J. D., Mirleau-Thebaud V., Dayde J. Influence of soil compaction and conservation tillage on sunflower (*Helianthus annuus* L.) below ground system. XIIIth *International Sunflower Conference*. Mar Del Plata, Argentina. February. 2012.
8. Molla A., Charvalas G., Dereka M., Skoufogianni E. Effect of Different Tillage Practices on Sunflower (*Helianthus annuus*) Cultivation in a Crop Rotation System with Intercropping *Triticosecale-Pisum sativum*. *Plants*. 2022. 11(24):3500. doi: 10.3390/plants11243500
9. Sher A., Arfat M.Y., Ul-Allah S. et al. Conservation tillage improves productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under reduced irrigation on sandy loam soil. *Plos one*. 2021. 16(12):e0260673. doi: 10.1371/journal.pone.0260673
10. Nouraein M., Skataric G., Spalevic V. et al. Short-term effects of tillage intensity and fertilization on sunflower yield, achene quality, and soil physicochemical properties under semi-arid conditions. *Applied Sciences*. 2019. 9(24):5482. doi: 10.3390/app9245482
11. da Silva O.B., de Castro E.M., Vassura Y. et al. Root system morphoanatomy of sunflower genotypes under water deficit. *BMC Plant Biology*. 2025. 25(1):449. doi: 10.1186/s12870-025-06225-7