

ВОДНИЙ РЕЖИМ І ВРОЖАЙНІСТЬ ТОМАТІВ ЗА ПІДҐРУНТОВОГО КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ

КОВАЛЕНКО І.О.

orcid.org/0000-0003-1548-3992

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

ШАТКОВСЬКИЙ А.П. – доктор сільськогосподарських наук, професор,

член-кореспондент Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-4366-0397

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. В умовах постійно зростаючого дефіциту прісної води, зростання цін на енергетичні ресурси, погіршення екологічного стану зрошуваних земель, важливого значення набуває розроблення та впровадження ресурсоощадливих, енергозберігаючих та екологічно безпечних агротехнологій. У зрошуваному землеробстві, і в овочівництві зокрема, цей напрям реалізують на основі впровадження технологій мікрозрошення [1, 2]. До 2022 р. в Україні швидкими темпами розвивалось вирощування овочевих, баштанних культур та картоплі із застосуванням краплинного зрошення. До прикладу, у 2018 р. площі овочевих культур, які зрошували за допомогою систем краплинного поливу, досягли майже 50 тис. га. Проте, як свідчать статистичні дані, середня врожайність овочевих культур в Україні не відповідає потенційно можливій продуктивності сучасних гібридів. Зокрема, це стосується і найбільш поширеної овочевої культури на зрошенні – томатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ефективність застосування підґрунтового краплинного зрошення за вирощування томатів є достатньо вивченою для різних ґрунтово-кліматичних умов [3-10]. Найбільш детально потенціал підґрунтового краплинного зрошення томатів для переробки, інфільтраційні втрати вологи, процеси вторинного засолення ґрунту та економічні параметри було досліджено Блейні Хенсоном і Доном Мейом [3] в Каліфорнії (США). Також ними було проведено досліди з обґрунтування підходів до проектування, а саме – укладання краплинних поливних трубопроводів (ПТ) на глибину 0,22–0,36 м з розміщенням ПТ безпосередньо під рядами рослин. У цьому дослідженні було вивчено вплив різних варіантів укладання ПТ на врожайність і якість плодів культури. Результати показали, що найвищої врожайності було досягнуто при більш заглибленому укладанні ПТ. З іншого боку, деякі дослідники встановили, що такий спосіб укладання ПТ зменшував проблеми із захворюваннями рослин томатів, які зазвичай виникають при усталеній практиці вирощування культури [4].

Нами було проведено комплексні експериментальні дослідження у кліматичних умовах Степу України, відмінність яких полягає в обґрунтуванні ефективності різних глибин закладання ПТ за вирощування органічних томатів на основі аналізування параметрів ростових процесів рослин та процесів евапотранспірації.

Мета дослідження полягає у вивченні впливу параметрів технології підґрунтового краплинного зрошення

(ПКЗ) органічного розсадного томата в умовах Степу України на водний режим, ростові процеси і продуктивність рослин.

Матеріали та методика досліджень. Польові експерименти проведено протягом 2019–2021 рр. у межах землекористування ПП «Агро Ліга» (Херсонська область, Каховський район, смт Чаплинка, підзона Степу Сухого – клімат помірно жаркий, посушливий). Гібрид томата – Мелман F1 (Н 9997 F1) Organic, який вирощували за органічною технологією у виробничих умовах на загальній площі 150 га. Площа під виробничими дослідними ділянками відповідала поливним модулям системи ПКЗ: варіант із глибиною закладання 10 см – 8,6 га, а з глибиною закладання 25 см – 8,2 га [11]. Для моніторингу метеорологічних параметрів використано інтернет-метеостанцію iMetos®, яка знаходилась безпосередньо на дослідній ділянці [12]. Загальну евапотранспірацію визначали за допомогою станції вологості ґрунту iMetos® ECOD2, яку було обладнано сенсорами вологості ґрунту типу Watermark 200SS [13]. Одночасно, величину евапотранспірації рослин томата розсадного розраховували методом Penman-Monteith [1]. Ґрунт дослідної ділянки – темно-каштановий залишково-слабосолонцюватий легкоглинистий, щільність складення ґрунту (ДСТУ ISO 11272 [14]) у шарі 0–50 см становила 1,35 г/см³, найменша вологість 0–50 см шару ґрунту – 25,8 % від маси абсолютно сухого ґрунту.

Кількість продуктивних опадів протягом вегетаційного періоду була різною за роки досліджень. Так, у 2019 р. випало лише 79,6 мм, протягом 2021 р. – 133,4 мм, та у 2022 р. – 378,4 мм, що є аномальним явищем для умов Степу Сухого. Площу листової поверхні (ПЛП) визначали за методикою А.О. Ничипоровича, урожайність – обліковим методом, статистичну обробку даних проводили з використанням програми Statistical Analysis Software 9.4.

Результати досліджень. Результати експериментальних досліджень показали, що глибина закладання поливних трубопроводів (ПТ) достовірно впливала як на продукційні процеси рослин томата розсадного, так і на формування водного режиму ґрунту. Встановлено, що більш раціональним за підґрунтового краплинного зрошення було укладання ПТ на глибину 25 см (таблиця 1).

На формування параметрів водного режиму ґрунту та режимів зрошення (кількість поливів, норму зро-

Таблиця 1

Водний режим та евапотранспірація (ЕТс) томата розсадного залежно від глибини укладання ПТ

Глибина укладання ПТ, м	Кількість поливів	Норма зрошення	Продуктивні опади	Запаси ґрунтової вологи, м ³ /га			ЕТс, м ³ /га
		м ³ /га	м ³ /га	поч.	кін.	баланс	
2019 рік							
10 см	61	5749	796	1696	1337	299	6844
25 см		5749		1646	1472	174	6719
2020 рік							
10 см	56	4565	1334	1276	798	479	6378
25 см		4424		1392	1001	392	6150
2021 рік							
10 см	47	3475	3748	1498	980	518	7741
25 см		3458		1442	896	546	7752

шення) за вирощування томата розсадного достовірний вплив мала як глибина укладання ПТ, так і кількість продуктивних опадів протягом вегетації. Аналізуючи дані таблиці 1 евапотранспірація рослин томата розсадного залежно від варіантів досліду відрізнялась та становила: 6,84 тис. м³/га і 6,72 тис. м³/га у 2019 р., 6,38 тис. м³/га та 6,15 тис. м³/га у 2020 р., 7,74 та 7,75 тис. м³/га протягом 2021 р. при укладанні ПТ на 10 см і 25 см відповідно. В середньому ж за три роки досліджень за глибини укладання ПТ на 25 см евапотранспірація рослин була нижчою на 0,12 тис. м³/га за вегетацію.

Внутрішньоґрунтове укладання поливних трубопроводів у комплексі з продуктивними опадами впливали на приживлюваність розсади томатів. Так, кінцева густота рослин томата становила 22 тис. рослин/га в 2019 р.; 23–27 тис. рослин/га – 2020 р. та 23 тис. рослин/га – у 2021 р. (таблиця 2).

Основні параметри продуктивності рослин томата розсадного також залежали від глибини укладання ПТ (таблиця 2).

За параметром «кількість плодів на рослину» варіант з укладанням ПТ на 25 см переважав майже у 1,8 разів варіант з укладанням ПТ на 10 см, що свідчить про позитивний вплив закладання поливного трубопроводу на таку глибину.

У 2021 році врожайність плодів томату була в 1,8–2,4 рази нижча, ніж у 2019–2020 рр. Поясненням цього факту є значні опади зливового характеру, які,

у свою чергу, спровокували ураження рослин збудником *Phytophthora infestans* dBy – фітофтороз пасльонових (рис. 1).

Оскільки томати у виробничих умовах вирощували за органічною технологією (без використання синтетичних (хімічних) засобів захисту рослин), то швидкому поширенню цього захворювання ефективно запобігти не вдалося.

Біологічна врожайність плодів томата за глибини укладання ПТ на 25 см була в середньому на 25 % вища, ніж за глибини 10 см, а саме: в 2019 р. врожайність становила 73,0 т/га та 100,9 т/га за укладання поливного трубопроводу на глибину 10 см та 25 см відповідно, у 2020 р. врожайність становила 58,6 т/га та 79,2 т/га та в 2021 р. було отримано практично однаковий рівень врожайності плодів – 36,0 т/га та 37,8 т/га відповідно (рис. 2).

Висновки. Доведено, що різні конструкції систем підґрунтового краплинного зрошення, а саме – глибина укладання поливних трубопроводів, достовірно впливають на водний режим ґрунту, параметри росту і розвитку, структуру врожаю та врожайність томата розсадного. Встановлено, що укладання ПТ на глибину 25 см є більш доцільним, ніж на 10 см. Систематичні спостереження за динамікою вологості кореневого шару ґрунту та евапотранспірацією рослин показали, що за реалізації такого варіанту формувалась більш оптимальний водний режим ґрунту (80-100 % від НВ ґрунту) та значно

Таблиця 2

Структура врожаю та врожайність рослин томата розсадного за підґрунтового краплинного зрошення залежно від глибини укладання ПТ

Показник	2019 р.		2020 р.		2021 р.		Середнє 2019–2021 рр.		НІР ₀₅ (2019–2021)	
	Фактор А – глибина укладання ПТ, см									
	10	25	10	25	10	25	10	25	10	25
Маса плодів, кг	3,318	5,177	2,169	3,445	1,504	1,514	2,330	3,379	0,224	0,325
Кількість плодів, шт./рослину	51	80	43	72	24	25	33,3	59,0	3,40	5,45
Маса 1 плоду, кг	0,066	0,066	0,050	0,048	0,062	0,060	0,059	0,058	0,006	0,006
Густота, тис./га	22	22	27	23	23	23	24,0	22,67	2,32	2,12
Урожайність, т/га	73,0	100,9	58,6	79,2	36	37,8	55,87	72,63	4,95	6,69



Рис. 1. Ураження рослин томата збудником *Phytophthora infestans* dBy протягом вегетаційного періоду 2021 року

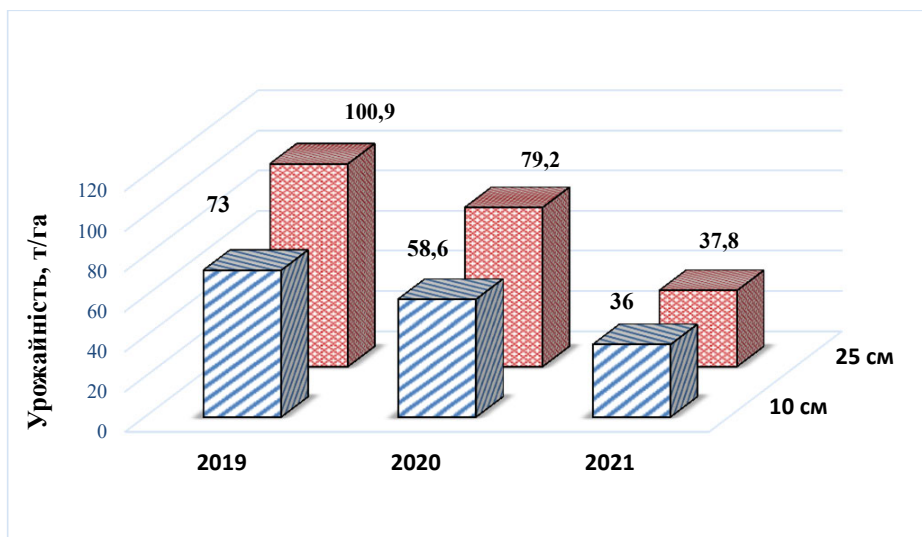


Рис. 2. Урожайність плодів органічного розсадного томата залежно від глибини укладання ПТ (2019–2021 рр.)

менше вологи втрачалось на фізичне випаровування, що є непродуктивними втратами. За три роки досліджень середній показник врожайності плодів томата за укладання ПТ на глибину 25 см склав 72,63 т/га, тоді як за укладання на глибину 10 см – 55,87 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Адаптація методу Penman-Monteith на культурі томата розсадного у виробничих умовах за краплинного зрошення / Ромащенко М.І. та ін. *Меліорація і водне господарство*. 2018. № 2. С. 5–11. DOI: 10.31073/mivg20180108-146
2. Транспіраційний коефіцієнт томата залежно від гранулометричного складу ґрунту / Журавльов О.В. та ін. *Аграрні інновації*. 2021. № 6. С. 5–10. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.6.1>
3. Hanson, B., May, D. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*. 2004. Volume 68. Issue 1, 15. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.03.003>
4. Hanson, B., May, D. The effect of drip line placement on yield and quality of drip-irrigated processing tomatoes. *Irrigation and Drainage Systems* (21). 2007. P. 109–118. <https://doi.org/10.1007/s10795-007-9023-5>
5. Patel, N., Rajput, T.B. Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. *Irrigation Science*. 2009. № 27. P. 88–97. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0125-0>
6. Ayars J.E., Fulton A., Taylor B. Subsurface drip irrigation in California – Here to stay?. *Agricultural Water Management*. 2015. Volume 157. P. 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.001>

7. Daniel Geisseler, Brenna J. Aegerter, Eugene M. Miyao, Tom Turini, Michael D. Cahn. Nitrogen in soil and subsurface drip-irrigated processing tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) as affected by fertilization level. *Scientia Horticulturae*. 2020. Volume 261. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108999>
8. Rui M. A. Machado, Maria do Rosário, G. Oliveira & Carlos A. M. Portas. Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. *Roots: The Dynamic Interface between Plants and the Earth* (DPSS, volume 101). 2003. P. 333–341.
9. Proximity to subsurface drip irrigation emitters altered soil microbial communities in two commercial processing tomato fields. / Michelle Quach et al. *Applied Soil Ecology*. 2022. Volume 171. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104315>
10. Методика польового дослідження (зрошуване землеробство) / В.О. Ушкаренко та ін. Херсон : Гринь Д.С., 2014. 448 с.
11. Підґрунтове краплинне зрошення: технічні та технологічні аспекти. / А.П. Шатковський та ін. *Зерно*. 2020. № 12. С. 62–66.
12. Шатковський А.П., Журавльов О.В. Управління краплинним зрошенням на основі використання Інтернет-метеостанцій iMetos®. Наукові доповіді НУБіП України. 2016. № 2(59). DOI: 10.31548/dopovidi2016.02.007
13. iMetos-ECO-D2 / A reliable and cost-effective solution for Soil Moisture monitoring, Rain, Water level and Irrigation Management [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://metos.at/page/en/products/2/iMetos-ECO-D2>.
14. Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу: ДСТУ ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). – [Чинний від 2003.07.01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 12 с. (Національні стандарти України).
5. Patel, N. & Rajput, T. (2009) Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. *Irrigation Science*. 3 (27). 56-63. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0125-0>.
6. Ayars, J.E., Fulton, A. & Taylor, B. (2015) Subsurface drip irrigation in California—Here to stay. *Agricultural Water Management*. 7. 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.001>
7. Daniel Geisseler, Brenna J. Aegerter, Eugene M. Miyao, Tom Turini & Michael D. Cahn. (2020). Nitrogen in soil and subsurface drip-irrigated processing tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) as affected by fertilization level. *Scientia Horticulturae*. Vol. 261. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108999>
8. Rui, M. A., Machado, Maria do Rosário, G. Oliveira & Carlos, A. M. (2023). Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. *Roots: The Dynamic Interface between Plants and the Earth*.
9. Michelle Quach, Pauline M. Mele, Helen L. Hayden, Alexis J. Marshall, Liz Mann, Hang-Wei Hu & Ji-Zheng He. (2022). Proximity to subsurface drip irrigation emitters altered soil microbial communities in two commercial processing tomato fields. *Applied Soil Ecology*. Vol. 171. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104315>
10. Ushkarenko, V. O., Vozhehova, R. A., Holoborodko, S. P. & Kokovikhin, S. V. (2014). Metodyka polovoho doslidu (zroshuvane zemlerobstvo) [Methodology of field experiment (irrigated agriculture)]. Kherson : Hrin D.S. [In Ukrainian].
11. Shatkovskiy, A., Zhuravlov, O., Bilobrova, A., Kovalenko, I., Hulenko, O., Kalilei, V. & Ovchatov, I. (2020). Pidgruntove kraplynnne zroshennia: tekhnichni ta tekhnolohichni aspekty [Subsurface drip irrigation: technical and technological aspects]. *Zerno*. 12. 62–67. [In Ukrainian].
12. Shatkovskiy, A.P. & Zhuravlyov, O.V. (2016). Upravlinnia kraplynnym zroshenniam na osnovi vykorystannia Internet-meteostantsii iMetos® [Management of drip irrigation based on the use of Internet weather stations iMetos®]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*. DOI : 10.31548/dopovidi2016.02.007 [In Ukrainian].
13. iMetos-ECO-D2 / A reliable and cost-effective solution for Soil Moisture monitoring, Rain, Water level and Irrigation Management. Retrieved from <http://metos.at/page/en/products/2/iMetos-ECO-D2>.
14. Yakist ґruntu. Vyznachannia shchilnosti skladennia na sukhu masu [Soil quality. Determination of compaction density per dry mass]. (2008). DSTU ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). *Natsionalni standarty Ukrainy*. Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrainy.

REFERENCES:

1. Romaschenko, M.I., Shatkovskiy, A. P., Zhuravlov, O.V., Vasiuta, V. V. & Cherevychnyi, Yu. O. Adaptatsiia metodu Penman-Monteith na kulturi tomata rozsadnoho u vyrobnychkh umovakh za kraplynnoho zroshennia [Adjustment of the «Penman-Monteith» method for growing tomato seedlings in production conditions when applying drip irrigation]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. (1). 12-18. DOI: 10.31073/mivg20180108-146 [In Ukrainian].
 2. Zhuravlov, O.V., Shatkovskiy, A.P., Melnychuk F.S., & Cherevychnyi, Yu. O. (2021). Transpiratsiyni koefitsiient tomata zalezno vid hranulometrychnoho skladu ґruntu [The transpiration coefficient of tomato depending on the granulometric composition of the soil]. *Ahrarni innovatsii*. (26). 5–10. <https://doi.org/10.32848/ahrar.innov.2021.6.1> [In Ukrainian].
 3. Hanson, B. & May, D. (2004). Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*. 68. (115). 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.03.003>
 4. Hanson, B. & May, D. (2007). The effect of drip line placement on yield and quality of drip-irrigated processing tomatoes. *Irrigation and Drainage Systems*. (21). <https://doi.org/10.1007/s10795-007-9023-5>
- Коваленко І.О., Шатковський А.П. Водний режим і врожайність томатів за підґрунтового краплинного зрошення**
- Мета.** Вивчити вплив параметрів технології підґрунтового краплинного зрошення (SDI) органічного розсадного томата на водний режим ґрунту, ростові процеси і продуктивність рослин. **Методи.** Короткотерміновий польовий дослід, аналітичні і статистичні методи обробки експериментальних даних. **Результати досліджень.** Підґрунтове краплинне зрошення розглянуто як ключовий фактор вирощування органічного томата в умовах Степу України. Саме такий спосіб зрошення

мінімізує сходи бур'янів та розвиток збудників патогенних хвороб. Польові експериментальні дослідження проведено протягом 2019–2021 рр. у межах землекористування Приватного підприємства «Агро Ліга». Особливістю проведення польового дослідження – виробничі умови в межах 150 га масиву. Площа під виробничими дослідними ділянками відповідає поливним модулям системи SDI: варіант із глибиною закладання поливних трубопроводів (ПТ) 10 см – 8,6 га, а з глибиною закладання ПТ 25 см – 8,2 га. Результати експериментальних досліджень показали, що глибина закладання поливних трубопроводів (ПТ) достовірно впливала як на продукційні процеси рослин томата розсадного, так і на формування водного режиму ґрунту. Евапотранспірація залежно від варіантів дослідження становила: 6,84 тис. м³/га і 6,72 тис. м³/га у 2019 р., 6,38 тис. м³/га та 6,15 тис. м³/га у 2020 р. і 7,74 та 7,75 тис. м³/га протягом 2021 р. за укладання ПТ на 10 см і 25 см відповідно. Встановлено, що вищу інтенсивність ростових процесів та продуктивність культури забезпечувало закладання ПТ на глибину 25 см. Достовірно нижчі значення отримано для умов підґрунтового краплинного зрошення із закладанням ПТ на глибину 10 см. **Висновки.** Доведено, що різні конструкції систем підґрунтового краплинного зрошення, а саме – глибина укладання поливних трубопроводів, достовірно впливали на параметри росту і розвитку рослин, структуру врожаю та врожайність томата розсадного. Встановлено, що укладання ПТ на глибину 25 см є більш доцільним, ніж на 10 см. Систематичні спостереження за динамікою вологості кореневого шару ґрунту та евапотранспірацією рослин показали, що за реалізації такого варіанту формувалася більш оптимальний водний режим ґрунту (80–100 % від НВ ґрунту) та значно менше вологи втрачалось на фізичне випаровування, що є непродуктивними втратами. За три роки досліджень середній показник врожайності плодів томата за укладання ПТ на глибину 25 см склав 72,63 т/га, тоді як за укладання ПТ на глибину 10 см – 55,87 т/га.

Ключові слова: системи мікрозрошення, спосіб укладання поливних трубопроводів, евапотранспірація, продуктивність, структура врожаю.

Kovalenko I.O., Shatkovskiy A.P. Water regime and yield of tomatoes under subsurface drip irrigation

Purpose of the research. To study the influence of parameters of subsurface drip irrigation (SDI) technology of organic seedling tomato on water regime of the soil,

growth processes and plant productivity. **Methods.** Short-term field experiment, analytical and statistical methods of experimental data processing. **The results of the research.** Subsurface drip irrigation is considered a key factor in the cultivation of organic tomatoes in the conditions of the Steppe of Ukraine. This type of irrigation minimizes weed growth and the development of pathogens. Field experimental studies were conducted in 2019–2021 within the land use of the “Agro League” Private Enterprise. A feature of the field experiment is the production conditions within the 150-hectare massif.

The area under the production test plots corresponded to the irrigation modules of the SDI system: the variant with the depth of laying irrigation pipelines (IP) of 10 cm – 8,6 ha, and with the depth of laying of IP 25 cm – 8,2 ha. The results of experimental studies showed that the depth of laying irrigation pipelines (IP) reliably influenced both the production processes of seedling tomato plants and the formation of the water regime of the soil. Evapotranspiration, depending on the test options, was: 6,84 thousand m³/ha and 6,72 thousand m³/ha in 2019, 6,38 thousand m³/ha and 6,15 thousand m³/ha in 2020 and 7,74 and 7,75 thousand m³/ha during 2021 when laying IP at 10 cm and 25 cm, respectively. It was established that the higher intensity of growth processes and crop productivity was provided by the laying of IP to a depth of 25 cm. Significantly lower values were obtained for the conditions of subsurface drip irrigation with the laying of IP to a depth of 10 cm. **Conclusions.** It has been proven that different designs of subsurface drip irrigation systems, namely, the depth of laying irrigation pipelines, reliably influenced the parameters of plant growth and development, the structure of the crop, and the yield of seedling tomatoes. It was determined that the laying of IP to a depth of 25 cm is more expedient than to a depth of 10 cm. Systematic observations of the dynamics of the moisture of the root layer of the soil and the evapotranspiration of plants showed that the implementation of this option formed a more optimal water regime of the soil (80–100% of the MMHC of the soil) and significantly less moisture was lost to physical evaporation, which is unproductive losses. Over the three years of research, the average yield of tomatoes when laying IP to a depth of 25 cm was 72,63 t/ha, while when IP was laid to a depth of 10 cm – 55,87 t/ha.

Key words: micro-irrigation systems, method of laying irrigation pipelines, evapotranspiration, productivity, crop structure.