

БУЗІАШВІЛІ А. Ю.^{1✉}, ЛИХАЧОВА Д. В.², ПРИЛУЦЬКА С. В.³, ЄМЕЦЬ А. І.¹

¹ ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»,

Україна, 04123, м. Київ, вул. Байди-Вишневецького, 2а, ORCID: 0000-0002-8283-5401, 0000-0001-6887-0705

² Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Україна, 03022, м. Київ-022, просп. Академіка Глушкова, 2

³ Національний університет біоресурсів і природокористування,

Україна, 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, ORCID: 0000-0001-5280-8341

✉ buziashvili.an@gmail.com, 0953028930

МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВПЛИВУ НА РОСЛИНИ ТОМАТУ

Мета. Змоделювати умови водного дефіциту за допомогою поліетиленгліколю (ПЕГ) 6000, визначити ефективні концентрації та тривалість обробки ПЕГ для дослідження впливу дефіциту води на проростання насіння та морфологічні параметри рослин томату сорту Money Maker. **Методи.** У роботі використовували методи стерилізації рослинного матеріалу, культивування *in vitro*, мікроклонального розмноження рослин та статистичного аналізу даних. ПЕГ у концентраціях 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % та 12 % додавали до живильного середовища MST, досліджуючи його вплив на морфометричні параметри томатів в умовах *in vitro*. **Результати.** Морфологічні показники проростків у присутності 2 % ПЕГ статистично не відрізнялись від контролю, однак у діапазоні концентрацій 4 %–8 % спостерігали зниження частоти проростання насіння на 39,32–67,27 %, довжини пагона – на 29,77–55,1 %, довжини кореня – на 44,6–72,89 %, а у присутності 10 % та 12 % ПЕГ 6000 зниження частоти проростання насіння, довжини пагона та кореня сягало 93,79–100 %. **Висновки.** Встановлено, що концентрація 8 % ПЕГ є критичною, оскільки призводить до змін морфометричних параметрів проростків томатів без суттєвої втрати їх життєздатності. Отже, дану концентрацію ПЕГ 6000 доцільно використовувати для моделювання умов водного дефіциту (посухи) для дослідження цього виду стресу на томати Money Maker.

Ключові слова: *Solanum lycopersicum* L., водний дефіцит, поліетиленгліколь.

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) є однією з найважливіших овочевих культур, яку вирощують по всьому світі, зокрема, і у південних

регіонах України та Європи. Однак, ця культура чутлива до біотичних та абіотичних стресових чинників, зокрема, засолення ґрунтів, дефіциту та надлишку вологи, високих та низьких температур тощо [1]. Моделювання впливу стресових факторів у штучних умовах (*in vitro* або *in vivo*) дозволяє проводити селекцію, скринінг різних генотипів, а також підбирати інші методи покращення стійкості рослин до стресів різної природи. Один із методів моделювання умов дефіциту вологи полягає у використанні поліетиленгліколю (ПЕГ). Молекули ПЕГ не поглинаються рослинами, але натомість створюють осмотичний потенціал, вищий, ніж у тканинах рослин, який сприяє витоку води із рослинного організму.

Існує ряд робіт, у яких описано методики скринінгу різних сортів та ліній томатів на стійкість до водного дефіциту за використання ПЕГ [1–12]. У дослідженнях [2–4] скринінг генотипів томату на стійкість до дефіциту води проводили у період раннього розвитку рослин (протягом 14 діб від висадження насіння) за використання діапазону концентрацій ПЕГ 6000 від 3,1 % до 12 %. У роботах [5–8] досліджували стійкість до водного дефіциту протягом 21–30 діб від висадження насіння та використовували вищі концентрації ПЕГ 6000 від 2 % до 20 % та ПЕГ 8000 від 0,9 % до 2,3 % [6]. У роботі [9] вплив дефіциту води досліджують на 5-добових рослинах, у [10] використовували рослини віком 1 місяць, а у [11] – 2-місячний калюс. При цьому, лише в одному дослідженні використовували сорт томату Money Maker [12].

Враховуючи зазначене вище, нами було проведено дослідження з розробки та відпрацювання методики моделювання дефіциту води

© БУЗІАШВІЛІ А. Ю., ЛИХАЧОВА Д. В., ПРИЛУЦЬКА С. В., ЄМЕЦЬ А. І.

для вивчення впливу цього стресу на рослини томату сорту Money Maker за використання ПЕГ 6000, яка може бути застосована в подальших дослідженнях, спрямованих на пошук різних методів покращення стійкості рослин томатів до посухи, зокрема, за використання таких вуглецевих наноматеріалів, як новий водорозчинний фулерен C₆₀.

Матеріали і методи

Рослинний матеріал та умови культивування. Насіння томату сорту Money Maker стерилізували 2–3 хв у 70 %-му етанолі, 20 хв у 15 %-му гіпохлориті натрію та 4 рази по 5 хв відмивали у стерильній дистильованій воді. Асептичне насіння висаджували у чашки Петрі (d = 9 см) на живильне середовище MST [13], доповнене 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % або 12 % ПЕГ 6000, та пророщували протягом 10 діб при 24°C та 16/8 годинному фотоперіоді.

Стійкість рослин томату до водного дефіциту, змодельованого за використання різних концентрацій ПЕГ 6000, оцінювали на 10 добу після висадження насіння за такими параметрами, як частота проростання насіння, сира маса проростків, довжину пагона та головного кореня. Довжину пагона та кореня вимірювали на цифрових фотографіях за допомогою програмного пакета ImageJ.

Статистична обробка даних. Кожен дослід проводили у 3-кратній повторності. Статистичну достовірність підтверджували за використання t-критерію Ст'юдента для 5 % рівня значущості.

Результати та обговорення

У результаті проведеного дослідження було виявлено, що, загалом, при використанні ПЕГ 6000 у діапазоні концентрацій 4 %–12 % частота проростання насіння, довжина пагонів та головного кореня проростків томатів суттєво знижувались у порівнянні з контролем (рис. 1, в–е; рис. 2; рис. 4), однак, у присутності 2 % ПЕГ 6000 статистично достовірної різниці з контролем у значеннях даних параметрів не відмічали (рис. 1, а, б; рис. 2; рис. 4). Зокрема, частота проростання насіння у контролі була на рівні 51,16 %, у присутності 2 % ПЕГ 6000 – 39,96 %, а у присутності 4 %, 6 %, 8 %, 10 % та

12 % ПЕГ 6000 – 31,04 %, 16,89 %, 16,74 %, 3,33 % та 2 %, відповідно (рис. 2), що на 28,89 %, 39,32 %, 66,81 %, 67,27 %, 93,49 % та 96,09 % менше, ніж у контролі. Довжина пагонів у контрольних зразках становила у середньому 26,06 мм, у присутності 2 % ПЕГ 6000 – 20,69 мм, на середовищі із додаванням 4 %, 6 % та 8 % ПЕГ 6000 – 18,3 мм, 15,22 мм та 11,7 мм (рис. 4), що на 20,6 %, 29,77 %, 41,59 %, 55,1 % менше, ніж у контролі. На середовищі із 10 % та 12 % ПЕГ 6000 протягом 10 діб у проростків сформувався лише зародковий корінь довжиною 1–2 мм, а пагін взагалі не був сформований (рис. 1, е), тобто, спостерігали зниження на 100% цих морфометричних параметрів. Довжина коренів у присутності 4 %, 6 % та 8 % ПЕГ 6000 становила 26,63 мм, 27,57 мм та 13,49 мм, відповідно, а у контрольних зразках та у присутності 2 % ПЕГ 6000 – 49,77 мм та 42,39 мм, відповідно (рис. 4), отже, у присутності 2–8 % ПЕГ 6000 довжина кореня зменшувалась на 14,82 %, 46,49 %, 44,6 %, 72,89 % порівняно з контролем, а у присутності 10 % та 12 % ПЕГ 6000 – на 96,98 % та 97,99 %, відповідно.

Маса 10-добових проростків томату сорту Money Maker, вирощених у на середовищі МСТ із додаванням 2–8 % ПЕГ 6000, статистично не відрізнялась від контрольних значень та у присутності 2–8 % ПЕГ 6000 знижувалась на 1,34 %, 23,35 %, 16,13 %, 23,01 % у порівнянні з контролем, а у присутності 10 % та 12 % ПЕГ 6000 – на 49,18 % та 44,59 %, відповідно (рис. 3).

Отже, за значеннями морфометричних параметрів 10-добових проростків томату сорту Money Maker можна стверджувати, що гранична концентрація ПЕГ 6000, яка спричиняє зниження морфометричних параметрів, але при цьому проростки зберігають життєздатність – це 8 %, оскільки у діапазоні концентрацій 2–8 % спостерігали зниження частоти проростання насіння на 28,89–67,27 %, довжини пагона – на 20,6–55,1 %, довжини кореня – на 14,82–72,89 %, а у присутності 10 % та 12 % ПЕГ 6000 зниження частоти проростання насіння, довжини пагона та кореня сягало 93,79–100 %. Маса проростків у досліджуваному діапазоні концентрацій ПЕГ 6000 знижувалась на 1,34–49,18 %.

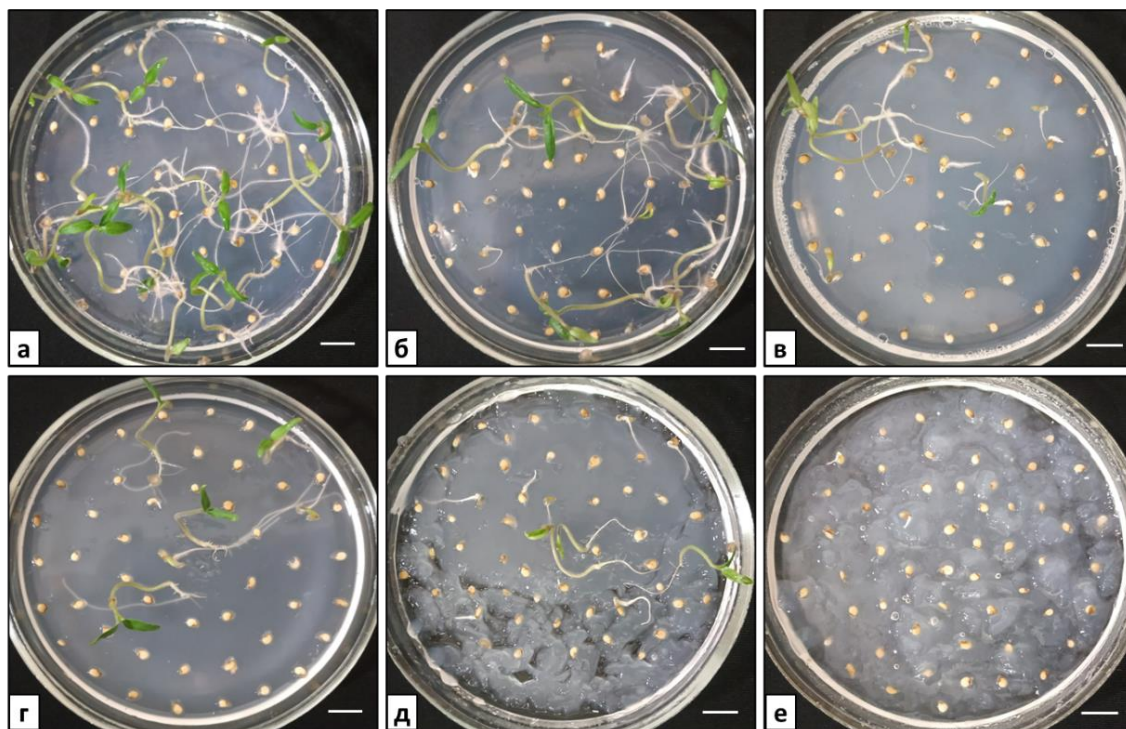


Рис. 1. Проростання насіння томату сорту Money Maker в умовах водного дефіциту, змодельованого *in vitro* шляхом додавання ПЕГ 6000 у живильне середовище MST: а – контроль (без додавання ПЕГ 6000), б – 2 % ПЕГ 6000, в – 4 % ПЕГ 6000, г – 6 % ПЕГ 6000, д – 8 % ПЕГ 6000, е – 10 % ПЕГ 6000. Масштаб: 1 см.

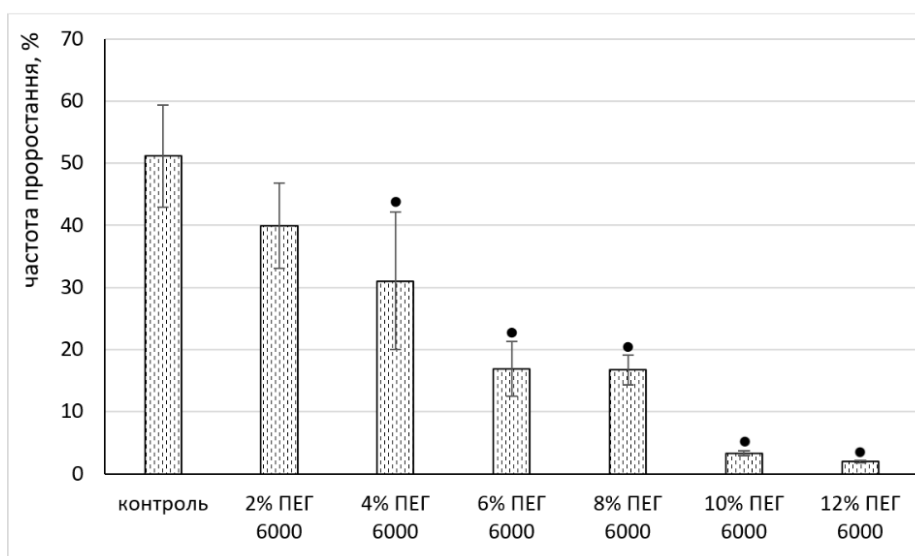


Рис. 2. Вплив водного дефіциту, змодельованого *in vitro* шляхом додавання ПЕГ 6000 у концентраціях 2–12 % у живильне середовище MST, на проростання насіння томату сорту Money Maker. Крпкою позначено значення, достовірні при $p < 0,05$ % порівняно з контролем.

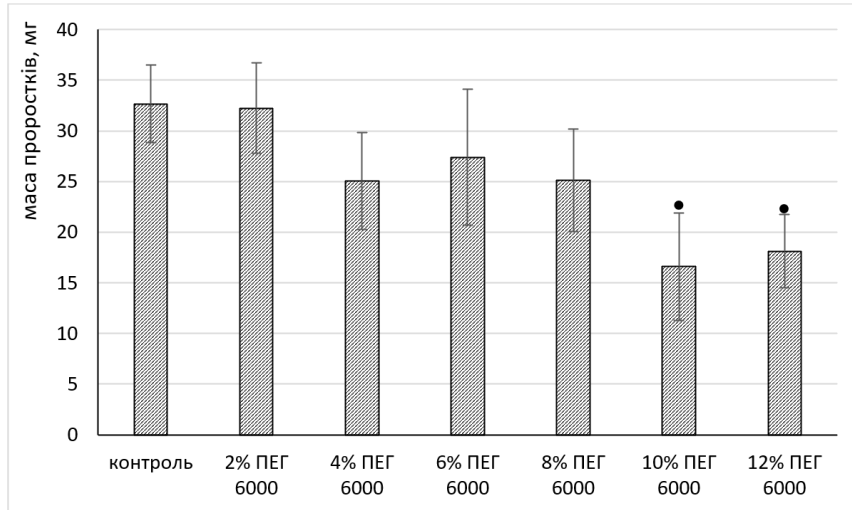


Рис. 3. Вплив водного дефіциту, змодельованого *in vitro* шляхом додавання 2–12 % ПЕГ 6000 у живильне середовище MST, на масу проростків томату сорту Money Maker. Крапкою позначено значення, достовірні при $p < 0,05$ % порівняно з контролем.

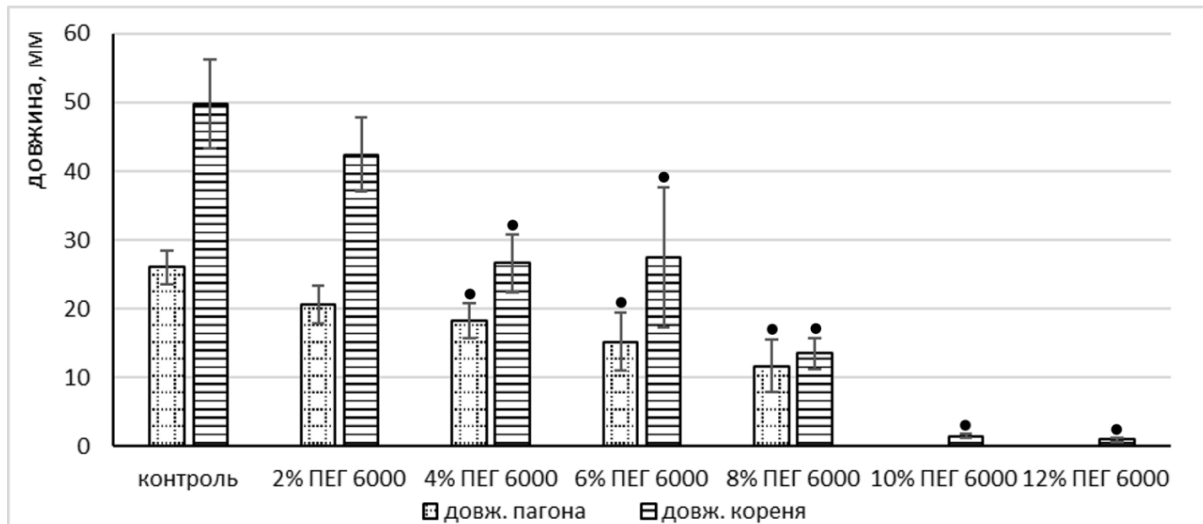


Рис. 4. Вплив водного дефіциту, змодельованого *in vitro* шляхом додавання 2–12 % ПЕГ 6000 у живильне середовище MST, на довжину пагонів та коренів проростків томату сорту Money Maker. Крапкою позначено значення, достовірні при $p < 0,05$ % порівняно з контролем.

Висновки

У результаті проведених досліджень визначено граничну концентрацію ПЕГ 6000, яка спричиняє зниження морфометричних параметрів проростків томатів без суттєвої втрати життєздатності, яка становить 8 %. Отже, дану концентрацію ПЕГ 6000 буде використано для по-

дальшого вивчення впливу посухи на рослини томатів і підвищення їх резистентності до цього стресового фактора.

Роботу виконано в рамках проекту МОН України «Регуляція внутрішньоклітинних механізмів стресостійкості сільськогосподарських рослин за використання вуглецевих наноматеріалів» (2023–2025 рр.).

References

1. George S., Minhas N. M., Jatoi S. A., Siddiqui S. U., Ghafoor A. Impact of polyethylene glycol on proline and membrane stability index for water stress regime in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Pak. J. Bot.* 2015. Vol. 47. P. 835–844.
2. Aydoğan Ç. G., Altunlu H., Gül A. Effectiveness of *in vitro* and *in vivo* tests for screening of tomato genotypes against drought stress. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., Özel Sayı.* 2020. P. 143–150. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.835798>.
3. Shamim F., Khan K., Khalid S. Comparison among twelve exotic accessions of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) for root and shoot development under polyethylene glycol induced water stress. *Pak. J. Phytopathol.* 2016. Vol. 28, No. 2. P. 161–171.

4. Brdar-Jokanović M., Zdravković J. Germination of tomatoes under PEG-induced drought stress. *Ratarstvo i Povrtarstvo*. 2015. Vol. 52. P. 108–113. <https://doi.org/10.5937/ratpov52-8324>.
5. Pessoa H., Rocha J. R. C., Alves F. M., Copati M. G. F., Dariva F. D., Silva L. J., Carneiro P. C., Nick C. Multi-trait selection of tomato introgression lines under drought-induced conditions at germination and seedling stages. *Acta Sci. Agron*. 2022. Vol. 44, No. 1. e55876. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55876>.
6. Sivakumar J., Prashanth P. J. E., Basha P. O. Effect of polyethylene glycol induced water stress on morphological and biochemical parameters in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at seedling stage. *Internat. Jour. Rec. Sci. Res*. 2018. Vol. 9, No. 1 (A). P. 22933–22937. <https://doi.org/10.24327/ijrsr.2018.0901.1365>.
7. Sané A. K., Diallo B., Kane A., Sagna M., Sané D., Sy M. O. *In vitro* germination and early vegetative growth of five tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Varieties under water stress conditions. *Amer. Jour. Plant Sci*. 2021. Vol. 12. P. 1478–1502. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.1210105>.
8. Ayaz M., Ahmad R., Shahzad M., Khan N., Shah M.-M., Khan S.-A. Drought stress stunt tomato plant growth and up-regulate expression of *SIAREB*, *SINCE3*, and *SIERF024* genes. *Sci. Horticult*. 2015. Vol. 195. P. 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.025>.
9. Suminar E., Budiarto R., Nuraini A., Mubarak S., Ezura H. Morpho-physiological responses of *iaa9* tomato mutants to different levels of PEG simulated drought stress. *Biodivers. Jour. Biol. Div*. 2022. Vol. 23, No. 6. P. 3115–3126. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230639>.
10. Yang L., Bu S., Zhao S., Wang N., Xiao J., et al. Transcriptome and physiological analysis of increase in drought stress tolerance by melatonin in tomato. *Plos One*. 2022. Vol. 17, No. 5. e0267594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267594>.
11. Naddaf O. A., Obaid H., Mohsen W. Somaclonal variation selection for tolerance to PEG-induced drought stress in four local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties. *Sci. Jour. King Faisal Univ*. 2020. <https://doi.org/10.37575/b/agr/2256>.
12. Tapia G., González M., Burgos J., Vega M. V., Méndez J., Inostroza L. Early transcriptional responses in *Solanum peruvianum* and *Solanum lycopersicum* account for different acclimation processes during water scarcity events. *Sci. Rep*. 2021. Vol. 11. 15961. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95622-2>.
13. Buziashvili A., Cherednichenko L., Kropyvko S., Blume Ya. B., Yemets A. Transgenic tomato lines expressing human lactoferrin show increased resistance to bacterial and fungal pathogens. *Biocat. Agricult. Biotechnol*. 2020. Vol. 25. 101602. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101602>.

BUZIASHVILI A. Yu.¹, LYKHACHOVA D. V.², PRYLUTSKA S. V.³, YEMETS A. I.¹

¹ Institute of food biotechnology and genomics of the NAS of Ukraine,
Ukraine, 04123, Kyiv, Baidy-Vyshnevetskogo str., 2a

² Educational and scientific centre «Institute of biology and medicine» of the Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Ukraine, 03022, Kyiv-022, Hlushkova avenue, 2

³ National university of life and environmental sciences of Ukraine,
Ukraine, 03041, Kyiv, Heroiv Oborony str., 13

MODELLING WATER DEFICIT CONDITIONS FOR INVESTIGATION OF ITS INFLUENCE ON TOMATO PLANTS

Aim. To model water deficit conditions using polyethylene glycol (PEG) 6000, determine effective concentrations and treatment time of PEG for investigation of the influence of water deficit on the seed germination and morpho-physiological parameters of tomato cv. Money Maker plants. **Methods.** The methods of sterilization, *in vitro* cultivation, micropropagation of plant material and statistical analysis were used in this work. PEG 6000 at concentrations of 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % and 12 % was added into MST medium, and its influence on morphophysiological parameters of tomato seedlings was studied *in vitro*. **Results.** Morphophysiological parameters in the presence of 2 % PEG 6000 were not statistically different from that in control. However, at concentrations 4–8 %, seed germination frequency decreased by 39.32–67.27 %, shoot length by 29.77–55.1 %, and root length by 44.6–72.89 %. In the presence of 10 % and 12 % PEG 6000, seed germination frequency, shoot length, and root length were reduced by 93.79–100 %. **Conclusions.** It was established that the critical concentration of PEG 6000 is 8 %, as it caused the changes in the morphometric parameters of tomato seedlings without a significant loss in viability. Therefore, this concentration of PEG 6000 is recommended for modeling water deficit (drought) conditions to study this type of stress on tomato cv. Money Maker plants.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., water deficit, polyethylene glycol.