

## СЕЛЕКЦІЯ, НАСІННИЦТВО

УДК 633.522:[631.4+581.1]

DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2024.81.7>

### ПОДОЛАННЯ СОЛЬОВОГО СТРЕСУ *CANNABIS SATIVA* L.: ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦІЙНИЙ АСПЕКТ

**МІЩЕНКО С.В.** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

[orcid.org/0000-0002-1979-4002](https://orcid.org/0000-0002-1979-4002)

Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка

**Постановка проблеми.** Задля реалізації цілей сталого розвитку, стійкого розвитку сільських територій, відновлення й оптимізації природноресурсного потенціалу, провайдингу екоінновацій в умовах глобалізації в аграрній та суміжній сферах широкі можливості може мати впровадження сортів високопродуктивних непахотропних промислових конопель посівних (*Cannabis sativa* L.) в агровиборництво. Існує велика ймовірність, що саме вирощування даної культури (хоча б як нішевої) сприятиме розвитку сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності.

Перш за все, промислові коноплі – це волокниста і біоенергетична культура, яка має високу теплотворну здатність та значну біомасу, характеризується біоремедіаційними властивостями, це культура безвідходного виробництва, бо усі частини рослин придатні для переробки і виготовлення широкого асортименту продукції. Використання її на енергетичні цілі сприятиме збільшенню частки лісів у структурі земельних ресурсів, а створення і впровадження сортів різних напрямів господарського використання сприятиме створенню сировинної бази для ефективно організації різновекторних виробництв, зокрема, біоенергетичних і текстильних виробів, продуктів корисного харчування, гігієнічних та косметичних засобів, ліків тощо. Слід зазначити, що промислові коноплі урізноманітнюють сівозміни, є добрим попередником для інших культур, поліпшують структуру ґрунту і сприяють зменшенню кількості бур'янів, знижуючи хімічне навантаження на довкілля, мають ґрунтозахисну здатність від водної ерозії тощо.

У зв'язку зі змінами клімату, які, перш за все, проявляються у глобальному потеплінні, під час вирощування коноплі зазнають негативного впливу посушливих умов, нетипового розподілу опадів протягом вегетаційного періоду і підвищеної температури середовища. Успішне вирішення проблеми забезпечення населення продуктами харчування, одягом та іншими товарами народного вжитку залежить від інтенсифікації аграрного виробництва, підвищення продуктивності агрокультур та використання земель, які до цього часу вважались малопридатними для рослинництва, зокрема засоленних.

При цьому на засоленних ґрунтах доцільно вводити спеціальні сівозміни, що передбачають рослини-засвоювачі, використовувати адекватну систему неорганічного удобрення, обробку речовинами з антиоксидантними властивостями, впроваджувати спеціальні сорти, створені для вирощування на засоленних ґрунтах. Наявність толерантності до абіотичних стресів є невід'ємною складовою реалізації потенційної продуктивності сучасних промислових конопель. Створення високопродуктивних сортів агрокультур, стійких до стресових факторів середовища, зазвичай здійснюють протягом вегетаційного періоду традиційними методами селекції – гібридизації, добору тощо, однак важливу роль у цьому процесі може відіграти використання біотехнологічних методів.

Засоленість ґрунтів залежно від природи засолення поділяють на первинну та вторинну: перша виникає у результаті природного накопичення солей впродовж тривалого часу (наприклад, морської солі, принесеної вітром чи водою, вивільнення солей за ерозії гірських порід), а друга виникає внаслідок діяльності людини (наприклад, штучного зрошення [1]).

Слід пам'ятати, що сольовий стрес є одним з найсерйозніших абіотичних стресів, який впливає на ріст і розвиток рослин. Засолення ґрунту в багатьох випадках призводить до токсичних ефектів у рослин, негативно впливаючи на встановлення рослинним організмом адекватного балансу поживних речовин, тому існує чіткий негативний зв'язок між рівнем виробництва сільськогосподарської продукції та рівнем засоленням ґрунтів; продуктивність може бути потенційно збільшена за рахунок використання культур, що є стійкими до впливу надмірних концентрацій солей, однак цьому має передувати дослідження фізіологічних та молекулярних механізмів сольового стресу [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зазвичай вважають, що токсичними для рослин є вміст у ґрунті хлоридів вищий за 1%, сульфатів – за 2%, карбонатів – за 0,6%. Засоленість вважають відсутньою, якщо вміст відповідних солей у сухому залишку не перевищує 0,15% (хлоридно-карбонатний, сульфатно-карбонатний, карбонатно-хло-

ридний і карбонатно-сульфатний), 0,20% (сульфатно-хлоридний), 0,25% (хлоридно-сульфатний), 0,15% (хлоридний) чи 0,30% (сульфатний тип засолення). З рештою засоленість поділяють на слабку, середню, сильну та у крайньому разі ґрунти відносять до солончаків [2]. Наприклад, карбонати та деякі інші солі погіршують властивості ґрунту, його структуру та щільність, оскільки зменшується здатність колоїдів до коагуляції. Найтоксичнішим для сільськогосподарських рослин є натрій карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), за вмісту більше 0,6% він робить ґрунт повністю неродючим, а за вмісту близько 0,1% – пригнічує рослини [2]. Водорозчинні солі підвищують осмотичний потенціал ґрунтового розчину, внаслідок чого й погіршується водопостачання рослин через недостатню всмоктувальну силу кореневих волосків. Волога в ґрунті є, але рослини не можуть її повною мірою використовувати. У результаті знижується інтенсивність транспірації, фотосинтезу і мінерального живлення. Все це призводить до пригнічення, або й загибелі рослин [3]. Сольовий стрес підвищує внутрішньоклітинний осмотичний тиск і може призвести до накопичення  $\text{Cl}^-$  й особливо  $\text{Na}^+$  до токсичного рівня, таким чином, сольовий стрес викликає іонний стрес. Сольовий стрес також негативно впливає на мінеральний гомеостаз ряду поживних мікроелементів, а саме  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{K}^+$  [1, 4].

Рослини активно уповільнюють швидкість росту у відповідь на сольовий стрес (наприклад, через зниження ефективності фотосинтезу), що призводить до збільшення виживання. Рослини ведуть прикріпленій спосіб існування і тому повинні розробити відповідні фізіологічні механізми для пристосування до середовища з високим вмістом солі [4]. У відповідь на сигнали сольового стресу рослини адаптуються за допомогою регуляції іонного гомеостазу, активації шляху осмотичного стресу, опосередкування передачі сигналів рослинними гормонами, регулювання динаміки цитоскелету та складу клітинної стінки [4]. Солевитривалі рослини характеризуються більшим насінням і підвищеним вмістом у них іонів  $\text{Cl}^-$ , гідрофільністю цитоплазми, підвищеним вмістом хлорофілу й інтенсивним фотосинтезом, що дозволяє підтримувати підвищений осмотичний потенціал клітинного соку не за рахунок використання солей, а завдяки продуктам фотосинтезу – цукрам, низькою інтенсивністю дихання [5]. Саме розкриття механізмів, що лежать в основі цих фізіологічних та біохімічних реакцій на сольовий стрес, може дати цінні стратегії для підвищення врожайності сільськогосподарських культур [4].

У зв'язку з вищевикладеним актуальності набуває потреба в розробці методів (прийомів) тестування солетолерантності у сільськогосподарських культур Прогрес у транскриптоміці, геноміці та молекулярній біології дозволив виявити нові роди генів, що беруть участь у формуванні відповіді на сольовий стрес рослиною [1]. Отже, стійкість рослин до несприятливих факторів середовища є генетично детермінованою і проявляється на різних рівнях організації життя, зокрема на клітинному та тканинному. Це дає можливість для використання

біотехнологічних методів з метою виділення стійких генотипів при зменшенні матеріальних витрат за порівняно короткий період.

**Мета** – провести біоінформаційний аналіз методів (прийомів) тестування солетолерантності агрокультур загалом і непсихотропних конопель посівних (*Cannabis sativa* L.) зокрема та здійснити обґрунтування можливостей такого тестування, штучно змодельованого в культурі *in vitro*.

**Методи досліджень.** Аналіз літератури (науково-методичних джерел, патентний пошук), загальнонаукові методи (аналіз, синтез, узагальнення).

**Результати досліджень.** Як свідчать джерела наукової літератури, оцінку на стійкість до сольового стресу здійснюють різними методами:

1) пророщування насіння на засоленому субстраті;

2) вивчення чутливості продихів до іонів  $\text{Na}$  (ввечері, коли продихи закриваються з рослин зривають листки і вміщують в розчин  $\text{NaCl}$ , через певний час перевіряють їх стан: чим менше розкриється, тим більш солевитривалим є сорт чи вид рослин) [5].

Останнім часом поширення набуло тестування з використанням біотехнологічних методів, яке полягає у додаванні різних концентрацій певної солі до живильного середовища та встановлення життєздатності експлантів, особливостей їх проходження за фазами росту і розвитку, за проявом морфологічних ознак тощо. У результаті виникає можливість проведення добору та розмноження стійких генотипів. Культивування *in vitro* є дієвим і швидким інструментом для вивчення відповіді рослин на сольовий стрес, у той час, як інші фактори (поживні речовини, освітлення, температура) залишаються постійними і контролюються оптимальним чином [6]. При цьому толерантність до сольового стресу визначають різними шляхами. Наприклад, у досліді з люцерною толерантними вважали проростки, які вижили у середовищі з найвищою концентрацією  $\text{NaCl}$  (200 мМ), а потім на основі випробування відібраних клонів в умовах помірного сольового стресу (75 мМ  $\text{NaCl}$ ) [6].

Культура *in vitro* була успішно використана для оцінки впливу сольового стресу багатьох культур: пшениці, ячменю, тритикале [7, 8]; міскантусу [9]; баклажану [10]; люцерни [6]; кмину [11]; тополі, верби [12], пальми [13] та ін. До того ж встановлено, що адаптивну роль до засоленних умов відіграють накопичення проліну та цукрів, підвищення активності антиоксидантних ферментів [11] й аскорбінової кислоти [10], а окремі фізіологічно активні речовини виявляють захисний ефект в умовах сольового стресу, наприклад жасмонова кислота (0,1 і 10 мкМ) частково долає негативний сольовий вплив на основні фотосинтетичні пігменти та підтримує осмос клітин картоплі під час засолення [14]. Також було виявлено, що симптоми сольового стресу у конопель можна полегшити в старих листках саме за допомогою застосування  $\text{Si}$  (коноплі мають генетичну схильність до поглинання силікатної кислоти і накопичення її у вигляді кремнезему в клітинах епідермісу листків і трихомах) [15, 16] та біостимуляторів росту білкового походження [17].

Стойкі клітинні лінії, наприклад до NaCl, можна отримувати двома шляхами:

1) розвинену калюсну тканину відразу пересаджують на середовище з постійною концентрацією солі;

2) калюсну тканину піддають впливу ступінчастого збільшення концентрації солі [10].

Другий варіант є більш ефективним, оскільки калюси характеризуються компактим ростом, зеленим кольором, відсутністю некротичних зон [10].

З огляду на актуальність проблеми доцільним є дослідження реакції різних генотипів агрокультур на штучно змодельований сольовий стрес. При цьому виділяють наступні етапи дослідження:

1) визначення схожості насіння, ступеня виживаності пагонів, рівня розвитку мікроклонів, інтенсивності калюсоутворення, викликаного фітогормонами екзогенного походження, та частки морфогенних калюсів в умовах сольового стресу;

2) теоретичне узагальнення даних з реакції експлантів на штучно змодельований сольовий стрес в умовах *in vitro*, зокрема на стійкість до основних типів засолення ґрунтів (хлоридного, сульфатного, хлоридно-сульфатного, хлоридно-карбонатного, сульфатно-хлоридного, сульфатно-карбонатного, карбонатно-хлоридного і карбонатно-сульфатного) за різних концентрацій солей;

3) розробка й апробація тест-систем для проведення скринінгу генотипів на стійкість до сольового стресу в культурі *in vitro*, що забезпечуватимуть значну селективність при доборі, та рекомендацій з дослідження стійкості конопель до сольового стресу;

4) виділення вихідного селекційного матеріалу з підвищеною стійкістю до сольового стресу [18].

У розробленому нами способі добору *in vitro* толерантних до сольового стресу генотипів конопель [19], який включає культивування експлантів в умовах дії стресового чинника, спрямованого проти нормального розвитку і виживання нестійких форм, добір окремих генотипів проводять на рівні регенованих з калюсів соматиклонів з додаванням до живильного середовища залежно від типу засолення 0,25% NaCl або 0,75% MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O за хлоридного засолення, 0,5% MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O або 1,0% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> за сульфатного засолення, 0,15% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> або 0,30% NaHCO<sub>3</sub> за карбонатного засолення. Саме такі концентрації сполук є селективними й виявляють сублетальний та летальний ефект та дають змогу провести добір солетолерантних генотипів конопель. Оцінка за умов додавання до живильного середовища різних типів солей (хлоридів, сульфатів чи карбонатів) дозволяє виділяти толерантні до сольового стресу генотипи для різних типів засолення ґрунтів [19].

Калюсну культуру отримують на основі гіпокотильних сегментів, інокульованих на середовищі Мурасіге і Скуга, доповненому 0,5 мг/л 2,4-дихлорофеноксоцтової кислоти, 0,3 мг/л кінетину, 0,5 мг/л гіберелової кислоти для калюсогенезу і морфогенезу [20, 21], а також залежно від типу засолення відповідною концентрацією солі. Потім проводять мікроклональне розмноження утворених соматиклонів (рослин-регенерантів з калюсної тканини),

зокрема пагони відокремлюють, за можливості ділять на сегменти, які містять латеральну меристему, і роблять пасаж на безгормональне середовище Мурасіге і Скуга, доповнене залежно від типу засолення вищевказаними концентраціями солей. Після укорінення мікроклони адаптують в умовах *in vivo*. Різну реакцію на сольовий стрес і толерантність (стійкість) до сольового стресу кожного окремого генотипу визначають за рівнем виживання калюсів, інтенсивністю калюсогенезу (приростом тканини) і частотою органогенезу, рівнем виживання рослин-регенерантів, морфометричними показниками мікроклонів за селективних умов в порівнянні з контрольним варіантом – середовищем без додавання солей [19].

Також можна провести ідентифікацію генотипів конопель, негативна реакція яких на сольовий стрес долається дією аскорбінової кислоти як антиоксиданта, оскільки в умовах *in vivo* її вплив аналогічний до *in vitro* [22].

Можлива сфера застосування даних наукових розробок – селекція конопель та інших агрокультур, оскільки використання нового способу дозволяє отримувати толерантний (стійкий) до сольового стресу вихідний матеріал конопель та прискорювати селекційний процес.

**Висновки.** Долати абіотичні стреси, зокрема сольовий, в агрокультур можна різними способами (методами), чільне місце серед яких займає генетично-селекційний. Стойкість рослин до несприятливих факторів середовища є генетично детермінованою і проявляється на різних рівнях організації життя, зокрема на клітинному та тканинному. Це дає можливість для використання біотехнологічних методів з метою виділення толерантних (стійких) генотипів при зменшенні матеріальних витрат за порівняно короткий період. У розробленому способі добору *in vitro* толерантних до сольового стресу генотипів конопель, який включає культивування експлантів в умовах дії стресового чинника, спрямованого проти нормального розвитку і виживання нестійких форм, добір окремих генотипів проводять на рівні регенованих з калюсів соматиклонів з додаванням до живильного середовища залежно від типу засолення 0,25% NaCl або 0,75% MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O за хлоридного засолення, 0,5% MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O або 1,0% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> за сульфатного засолення, 0,15% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> або 0,30% NaHCO<sub>3</sub> за карбонатного засолення. Використання нового способу дозволяє отримувати толерантний (стійкий) до сольового стресу вихідний матеріал конопель та прискорювати селекційний процес.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Isayenkov S. V. Physiological and molecular aspects of salt stress in plants. *Cytol Genet.* 2012. Vol. 46, No. 5. P. 302–318. doi: 10.3103/S0095452712050040
2. Ґрунтознавство / за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ, 2005. 703 с.
3. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство. Чернівці, 2004. 400 с.
4. Zhao S., Zhang Q., Liu M., Zhou H., Ma C., Wang P. Regulation of plant responses to salt stress.

Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, Iss. 9. 4609. doi: 10.3390/ijms22094609

5. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми, 2004. 464 с.

6. Campanelli A., Ruta C., Morone-Fortunato I., de Mastro G. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) clones tolerant to salt stress: *in vitro* selection. *Cent. Eur. J. Biol.* 2013. Vol. 8, Iss. 8. P. 765–776. doi: 10.2478/s11535-013-0194-1

7. Пикало С. В., Дубровна О. В., Демидов О. А. Клітинна селекція тритикале озимого на стійкість до сольового стресу. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 20. С. 247–251. doi: 10.7124/feeo.v20.773

8. Пикало С. В., Демидов О. А., Юрченко Т. В., Прокіп Н. І., Харченко М. В., Рибка К. М. Розроблення способів добору *in vitro* генотипів зернових культур на стійкість до несприятливих чинників довкілля. *Екологічні науки*. 2021. № 4 (37). С. 90–97. doi: 10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.13

9. Коцар М. О. Вплив сольового стресу *in vitro* на розвиток пагонів міскантусу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 221–225.

10. Hannachi S., Werbrouck S., Bahrini I., Abdelgadir A., Siddiqui H. A., van Labeke M. C. Obtaining salt stress-tolerant eggplant somaclonal variants from *in vitro* selection. *Plants*. 2021. Vol. 10, Iss. 11. 2539. doi: 10.3390/plants10112539

11. Razavizadeh R., Adabavazeh F., Chermahini M. R. Adaptive responses of *Carum copticum* to *in vitro* salt stress. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 11, No. 1. P. 37–42. doi: 10.5281/zenodo.1128905

12. Хома Ю., Худолєєва Л., Куцоконь Н. Вплив сольового стресу на рослини тополі клону 'INRA 353-38' та верби клону 'Житомирська-1' в умовах культури *in vitro*. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Біологія*. 2020. Т. 83, № 4. С. 43–49. doi: 10.17721/1728\_2748.2020.83.43-49

13. Ibraheem Y. M., Pinker I., Böhme M., Al-Hussain Z. Screening of some date palm cultivars to salt stress *in vitro*. *Acta Hort.* 2012. Vol. 961. P. 359–365. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.961.47

14. Efimova M. V., Mukhamatdinova E. A., Kovtun I. S., Kabil F. F., Medvedeva Yu. V., Kuznetsov V. V. Jasmonic acid enhances the potato plant resistance to the salt stress *in vitro*. *Dokl Biol Sci.* 2019. Vol. 488, Iss. 1. P. 149–152. doi: 10.1134/S0012496619050077

15. Berni R., Mandlik R., Hausman J.-F., Guerriero G. Silicon-induced mitigatory effects in salt-stressed hemp leaves. *Physiol. Plant.* 2021. Vol. 171, Iss. 4. P. 476–482. doi: 10.1111/ppl.13097

16. Dabravolski S. A. Isayenkov S. V. The physiological and molecular mechanisms of Silicon action in salt stress amelioration. *Plants*. 2024. Vol. 13. 525. doi: 10.3390/plants13040525

17. Di Mola I., Cozzolino E., Ottaiano L., Conti S., Roupael Y., Mori M. Performance of hemp grown under salt stress conditions? Sustainable Management of Cropping Systems: Proceedings of the 49th National Conference of the Italian Society for Agronomy (16–18 September 2020, Bari, Italy). Bari, 2020. P. 71–72.

18. Міщенко С. В., Лайко І. М., Марченко Т. Ю., Мачульський Г. М. Теоретичне обґрунтування тестування стійкості конопель до сольового стресу в культурі *in vitro*. *Таверійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 128. С. 341–346. doi: 10.32851/2226-0099.2022.128.47

19. Міщенко С. В., Лайко І. М., Ткаченко С. М. Спосіб добору *in vitro* толерантних до сольового стресу генотипів конопель посівних: пат. 151514 UA. № у 2022 01227; заявл. 14.04.2022; опубл. 03.08.2022, Бюл. № 31.

20. Міщенко С. В. Індукція калусогенезу в технічних (промислових) конопель в умовах *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 21–28. doi: 10.48096/btc.2018.6(11).21-28

21. Міщенко С. В. Модифікація живильного середовища для культивування неспихотропних конопель (*Cannabis sativa* L.) середньоевропейського еколого-географічного типу *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7 (12). С. 15–23. doi: 10.48096/btc.2019.7(12).15-23

22. Міщенко С. В. Вплив аскорбінової кислоти екзогенного походження на *Cannabis sativa* L. в умовах *in vitro* та *in vivo*. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2019. Вип. 26. С. 67–74.

#### REFERENCES:

1. Isayenkov, S.V. (2012). Physiological and molecular aspects of salt stress in plants. *Cytol Genet*, 46(5), 302–318. doi: 10.3103/S0095452712050040

2. Tikhonenko, D.G. (ed.). (2005). *Hruntoznavstvo* [Soil Science]. Kyiv, 703 p. [in Ukrainian].

3. Nazarenko, I.I., Polchyna, S.M., & Nikorych, V.A. (2004). *Hruntoznavstvo* [Soil Science]. Chernivtsi, 400 p. [in Ukrainian].

4. Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *Int. J. Mol. Sci.*, 22(9). 4609. doi: 10.3390/ijms22094609

5. Zlobin, Yu.A. (2004). *Kurs fiziologii i biokhimii roslyn* [Course of Physiology and Biochemistry of Plants]. Sumy, 464 p. [in Ukrainian].

6. Campanelli, A., Ruta, C., Morone-Fortunato, I., & de Mastro, G. (2013). Alfalfa (*Medicago sativa* L.) clones tolerant to salt stress: *in vitro* selection. *Cent. Eur. J. Biol.*, 8(8), 765–776. doi: 10.2478/s11535-013-0194-1

7. Pykalo, S.V., Dubrovna, O.V., & Demidov, O.A. (2017). Klitynna selektsiia trytykale ozymoho na stiikist do solovoho stresu [Cellular selection of winter triticale for resistance to salt stress]. *Factors of Experimental Evolution of Organisms*, 20, 247–251. doi: 10.7124/feeo.v20.773 [in Ukrainian].

8. Pykalo, S.V., Demidov, O.A., Yurchenko, T.V., Prokopik, N.I., Kharchenko, M.V., & Rybka, K.M. (2021). Rozroblennia sposobiv doboru in vitro henotypiv zernovykh kultur na stiikist do nespriyatlyvykh chynnykiv dovkillia [Development of methods for selection of *in vitro* genotypes of grain crops for resistance to adverse factors the environment]. *Environmental Sciences*, 4, 90–97. doi: 10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.13 [in Ukrainian].

9. Kotsar, M.O. (2014). Vplyv solovoho stresu in vitro na rozvytok pahoniv miskantusu [The effect of salt stress *in vitro* on the development of miscanthus shoots].

*Scientific Works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 21, 221–225. [in Ukrainian].

10. Hannachi, S., Werbrouck, S., Bahrini, I., Abdelgadir, A., Siddiqui, H.A., & van Labeke, M.C. (2021). Obtaining salt stress-tolerant eggplant somaclonal variants from *in vitro* selection. *Plants*, 10(11). 2539. doi: 10.3390/plants10112539

11. Razavizadeh, R., Adabavazeh, F., & Chermahin, M.R. (2017). Adaptive responses of *Carum copticum* to *in vitro* salt stress. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 11(1), 37–42. doi: 10.5281/zenodo.1128905

12. Khoma, Yu., Khudoleeva, L., & Kutsokon, N. (2020). Vplyv solovoho stresu na roslyny topoli klonu INRA 353-38 ta verby klonu Zhytomyrska-1 v umovakh kultury *in vitro* [Effect of salt stress on plants of poplar clone 'INRA 353-38' and willow clone 'Zhytomyrska-1' *in vitro* culture conditions]. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Series: Biology*, 83(4), 43–49. doi: 10.17721/1728\_2748.2020.83.43-49 [in Ukrainian]

13. Ibraheem, Y.M., Pinker, I., Böhme, M., & Al-Hussin, Z. (2012). Screening of some date palm cultivars to salt stress *in vitro*. *Acta Hort.*, 961, 359–365. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.961.47

14. Efimova, M.V., Mukhamatdinova, E.A., Kovtun, I.S., Kabil, F.F., Medvedeva, Yu.V., & Kuznetsov, V.V. (2019). Jasmonic acid enhances the potato plant resistance to the salt stress *in vitro*. *Dokl Biol Sci*, 488(1), 149–152. doi: 10.1134/S0012496619050077

15. Berni, R., Mandlik, R., Hausman, J.-F., & Guerriero, G. (2021). Silicon-induced mitigatory effects in salt-stressed hemp leaves. *Physiol. Plant.*, 171(4), 476–482. DOI: 10.1111/ppl.13097

16. Dabravolski, S.A. & Isayenkov, S.V. (2024). The physiological and molecular mechanisms of Silicon action in salt stress amelioration. *Plants*, 13. 525. doi: 10.3390/plants13040525

17. Di Mola, I., Cozzolino, E., Ottaiano, L., Conti, S., Roupael, Y., & Mori, M. (2020). Performance of hemp grown under salt stress conditions? Sustainable Management of Cropping Systems: Proceedings of the 49th National Conference of the Italian Society for Agronomy (16–18 September 2020, Bari, Italy), 71–72.

18. Mishchenko, S.V., Laiko, I.M., Marchenko, T.Yu., & Machulskyi, H.M. (2022). Teoretychne obgruntuvannya testuvannya stiihosti konopel do solovoho stresu v kulturi *in vitro* [Theoretical rationale for testing hemp resistance to salt stress *in vitro* culture]. *Taurian Scientific Herald. Series: Agricultural sciences*, 128, 341–346. doi: 10.32851/2226-0099.2022.128.47 [in Ukrainian].

19. Mishchenko, S.V., Laiko, I.M., & Tkachenko, S.M. (2022). Sposib doboru *in vitro* tolerantnykh do solovoho stresu henotypiv konopel posivnykh [Method of *in vitro* selection of salt stress tolerant hemp genotypes]. Pat. 151514 UA. No. U 2022 01227; statement 04/14/2022; published 08/03/2022, Bul. No. 31. [in Ukrainian].

20. Mishchenko, S.V. (2018). Induktsiia kalusohenezu v tekhnichnykh (promyslovykh) konopel v umovakh *in vitro* [Induction of callusogenesis in technical (industrial) hemp under *in vitro* conditions]. *Bast and Technical Crops*, 6, 21–28. doi: 10.48096/btc.2018.6(11).21-28 [in Ukrainian].

21. Mishchenko, S.V. (2019). Modyfikatsiia zhyvlynoho seredovyscha dlia kultyvuvannia nepсыkhotropykh konopel (*Cannabis sativa* L.) serednoieuropeiskoho ekoloho-heohrafichnogo typu *in vitro* [Modification of the nutrient medium for the cultivation of non-psychoactive hemp (*Cannabis sativa* L.) of the Central European ecological and geographical type *in vitro*]. *Bast and Technical Crops*, 7, 15–23. doi: 10.48096/btc.2019.7(12).15-23 [in Ukrainian].

22. Mishchenko, S.V. (2019). Vplyv askorbinovoi kysloty ekzohennoho pokhodzhennia na *Cannabis sativa* L. v umovakh *in vitro* ta *in vivo* [Effect of ascorbic acid of exogenous origin on *Cannabis sativa* L. *in vitro* and *in vivo* conditions]. *Bulletin of the Center for Scientific Support of APV of Kharkiv Region*, 26, 67–74. [in Ukrainian]

### **Міщенко С.В. Подолання сольового стресу *Cannabis sativa* L.: генетико-селекційний аспект**

**Мета.** Провести біоінформаційний аналіз методів (приймів) тестування солетолерантності агрокультур загалом і непси́хотропних конопель посівних (*Cannabis sativa* L.) зокрема та здійснити обґрунтування можливостей такого тестування, штучно змодельованого в культурі *in vitro*. **Методи.** Аналіз літератури (науково-методичних джерел, патентний пошук), загальнонаукові методи (аналіз, синтез, узагальнення). **Результати.** Долати абіотичні стреси, зокрема сольовий, в агрокультур можна різними способами (методами), чільне місце серед яких займає генетично-селекційний. Сольовий стрес є одним з найсерйозніших абіотичних стресів, який впливає на ріст і розвиток рослин. Стійкість рослин до несприятливих факторів середовища є генетично детермінованою і проявляється на різних рівнях організації життя, зокрема на клітинному та тканинному. Це дає можливість для використання біотехнологічних інструментів з метою виділення стійких генотипів при зменшенні матеріальних витрат за порівняно короткий період. У даній статті проведено біоінформаційний аналіз методів (приймів) тестування солетолерантності сільськогосподарських культур загалом і конопель посівних (*Cannabis sativa* L.) зокрема та здійснено обґрунтування можливостей такого тестування, штучно змодельованого в культурі *in vitro*. У розробленому способі добору *in vitro* толерантних до сольового стресу генотипів конопель, який включає культивування експлантів в умовах дії стресового чинника, спрямованого проти нормального розвитку і виживання нестійких форм, добір окремих генотипів проводять на рівні регенованих з калюсів соматоклонів з додаванням до живильного середовища залежно від типу засолення 0,25% NaCl або 0,75% MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O за хлоридного засолення, 0,5% MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O або 1,0% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> за сульфатного засолення, 0,15% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> або 0,30% NaHCO<sub>3</sub> за карбонатного засолення. Саме такі концентрації сполук є селективними й виявляють сублетальний та летальний ефект та дають змогу провести добір солетолерантних генотипів конопель. **Висновки.** Використання нового способу дозволяє отримувати толерантний (стійкий) до сольового стресу вихідний матеріал конопель і прискорювати селекційний процес.

**Ключові слова:** ґрунт, абіотичні фактори, сольовий стрес, ріст і розвиток рослин, *in vitro*, конопль, спосіб, модель.

**Mishchenko S.V. Inhibition of salt stress in *Cannabis sativa* L.: genetic and breeding aspects**

**Purpose.** To carry out a bioinformatic analysis of the methods (techniques) of salt tolerance testing of agricultural crops in general and of non-psychotropic hemp (*Cannabis sativa* L.) in particular and to substantiate the possibilities of such testing, artificially simulated in an *in vitro* culture. **Methods.** Literature analysis (scientific and methodical sources, patent search), general scientific methods (analysis, synthesis, generalization). **Results.** Abiotic stresses, in particular salt stress, in agricultural crops can be overcome by various methods (methods), among which genetic and breeding methods occupy an important place. The successful provision of global food security depends on the intensification of agricultural production, increasing the productivity of agricultural crops and the use of land that until now was considered unsuitable for crop production, in particular, saline land. Salt stress is one of the most serious abiotic stresses that affects plant growth and development. The resistance of plants to adverse environmental factors is genetically determined and manifests itself at various levels of life organization, in particular at the cellular and tissue levels. This makes it possible to use biotechnological methods for the purpose of selecting resistant genotypes while

reducing material costs in a relatively short period. In this article, a bioinformatic analysis of methods (techniques) for testing salt tolerance of agricultural crops in general and industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in particular is carried out. A theoretical substantiation of the possibilities of such testing, artificially simulated in an *in vitro* culture, was carried out. In the developed method of *in vitro* selection of hemp genotypes tolerant to salt stress, which includes the cultivation of explants under the influence of a stress factor directed against the normal development and survival of unstable forms, the selection of individual genotypes is carried out at the level of somatic clones regenerated from the callus with addition to the nutrient medium depending on the type salting 0.25% NaCl or 0.75%  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  for chloride salting, 0.5%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  or 1.0%  $Na_2SO_4$  for sulfate salting, 0.15%  $Na_2CO_3$  or 0.30%  $NaHCO_3$  for carbonate salting. Such concentrations of compounds are selective and show a sublethal and lethal effect and make it possible to select salt-tolerant hemp genotypes. **Conclusions.** Application of the new method makes it possible to obtain tolerant (resistant) to salt stress starting material of hemp and speed up the breeding process.

**Key words:** soil, abiotic factors, salt stress, plant growth and development, *in vitro*, hemp, method, model.