

- Кучерова Л. О. Оцінка ефективності органічних кислот в якості біотичних елісаторів за змінами пулу ендogenous пероксиду водню *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2020. Т. 26. С. 202 – 206.
2. Жук І. В., Шиліна Ю. В., Дмитрієв О. П. Дія біотичного елісатору та донору NO у комплексному захисті рослин пшениці від гіпоксії та поранення *Фактори експериментальної еволюції організмів*, 2022 Т. 30. С.73-78
 3. Chen L.-M., Kao Ch.-H. Effect of excess copper on rice leaves: evidence involvement of lipid peroxidation. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 1999. Vol. 40. P. 283–287.
 4. Eckardt N. A., Ainsworth E. A., Bahuguna R. N. et al. Climate change challenges, plant science solutions. *The Plant Cell*. 2023. Vol. 35, Is. 1. P. 24–66.
 5. Vega-Muñoz I., Duran-Flores D., Fernández-Fernández Á. D., Heyman J., Ritter A., Stael S. Breaking. Bad news: dynamic molecular mechanisms of wound response in plants *Frontiers in Plant Science* 2020. V.11.

УДК 581.198:[577.152.111+661.49]+57.022:58.032

**УЧАСТЬ АЛКОГОЛЬДЕГІДРОГЕНАЗИ ТА ПЕРЕКИСУ
ВОДНЮ В АДАПТАЦІЇ HYDROCOTYLE VERTICILLATA
ДО ЗАТОПЛЕННЯ**

Козеко Л.Є., Овчаренко Ю.В., Кордюм Є.Л.

Інститут ботаніки ім. М.Г.Холодного НАН України
E-mail: cellbiol@ukr.net

Проблема стійкості онтогенезу рослин у варіабельному зовнішньому середовищі, якого вони не можуть уникнути внаслідок нерухомого способу життя, залишається першочерговою проблемою біології та екології рослин в сьогоднішніх умовах посилення антропогенного пресингу та прогнозу глобальних змін клімату, який передбачає екстремальні підвищення температури повітря та, як наслідки, ґрунтову посуху та повені. Затоплення ґрунту швидко виснажує кисень та знижує окислено-

відновний потенціал ґрунту; таким чином коріння відчують нестачу кисню і аеробне дихання коренів різко зменшується. Як добре відомо, у відповідь на нестачу кисню в умовах надмірного зволоження ґрунту та затоплення в рослинах відбуваються різноманітні структурні, фізіологічні та метаболічні зміни [5]. Широко обговорюється критична роль енергетичного метаболізму в стійкості рослин до зниження кисню [3,4], оскільки рослини більш толерантні до затоплення мають активніший шлях анаеробного бродіння. Одним із важливих показників стійкості рослин до зволоження вважається активність алкогольдегідрогенази (АДГ) і піруватдекарбоксилази, які є ключовими ферментами етанолового бродіння. Як під час затоплення, так і в умовах нестачі води значно посилюється у рослинних тканинах виробництво активних форм кисню (АФК), які можуть спричиняти окислювальне пошкодження білків, ліпідів і ДНК та водночас бути ключовими сигнальними молекулами в реакціях клітин на різні стресові стимули [1,2]. Перекис водню, як компонент АФК, бере участь у відповідях рослин на різноманітні екологічні стреси, зокрема на дефіцит або надлишок води, модулюючи експресію багатьох генів, включаючи ті, що кодують антиоксидантні ферменти.

Hydrocotyle verticillata (родина Araliaceae) походить із Північної та Південної Америки та поширений у водоймах Азії та Австралії, цікавий тим, що рослини можуть зростати на вологому березі як наземні рослини, залитому водою ґрунті як повітряно-водні, а також повністю зануреними у воду, вкоріненими або плаваючими як справжні водні рослини. Міжвузля розташовані по черзі на довгому стеблі, що стелиться. У кожному вузлі знаходиться кілька округлих зонтикоподібних листків світло або яскраво зеленого кольору до 3 см в діаметрі з черешками до 10 см у довжину та тонкі корені із шизогенною аеренхімою. В літературі описано морфологічні та анатомічні ознаки листків та

коренів цього виду, проте відсутні дані щодо функціональних ознак при зростанні рослин у різних умовах. Ми вперше провели експерименти з моделюванням різного водного режиму та дослідили АДГ та перекис водню в експериментальних рослинах із використанням біохімічних та гістохімічних методів (нативний електрофорез, Вестерн-блот, гістохімічне забарвлення 3,3-діамінобензидином).

Рослини *Hydrocotyle verticillata* отримані з колекції тропічних рослин Національного ботанічного саду імені Гришка НАН України. Відрізки стебла (клони) однієї рослини з 1 або 2 вузлами висаджували в горщики, наповнені добре зволеним ґрунтом (80% свіжої маси), і вирощували як наземні рослини. Через один місяць ці рослини піддавалися різним водним умовам: 1) затоплення ґрунту, 2) повне занурення, 3) дефіцит води, коли наземні рослини піддавалися прогресивному висиханню ґрунту з наступною регідратацією.

Чітко показано, що рослини *H. verticillata* дуже чутливі до дефіциту води та водночас дуже стійкі до надлишку води, аж до повного занурення. Наземні рослини та рослини в експерименті із затопленням ґрунту характеризувались високим вмістом АДГ у верхівках коренів та низьким вмістом у листках, що характерно для рослин, які ростуть при високій (~80%) вологості ґрунту, що може викликати кореневу гіпоксію, а також підтверджує, що найбільш чутливими до надходження кисню є меристематичні клітини, що ростуть розтягом. Повне занурення викликало значну активацію синтезу АДГ у листках, починаючи з 1-го дня занурення, що забезпечувало високу витривалість рослин до існування під водою протягом тривалого часу. Гістохімічне забарвлення ДАБ показало, що H_2O_2 не виявлялось в листках наземних рослин за перезволення та затоплення ґрунту, що свідчить про їх адаптацію до таких умов. Активна

продукція H_2O_2 спостерігалася у верхівках коренів і листках повністю занурених рослин після 5 днів занурення і досягала значного рівня на 10 добу, при цьому листки залишалися життєздатними. Найінтенсивніше забарвлювалися краї листків, які втратили тургор, у наземних рослин після двох годин водного дефіциту. Ми припускаємо, що підвищення вмісту перекису водню в повністю занурених рослинах може розглядатися як важлива «окислювальна сигналізація» та посилювати стійкість до водного стресу шляхом модулювання експресії генів, пов'язаних із толерантністю до умов середовища [1,2], а також як «окислювальний стрес» за дефіциту води, що призводить до загибелі рослин.

Вважаємо, що адаптація *N. verticillata* до повного занурення у воду забезпечується значною та тривалою індукцією синтезу АДГ у листках шляхом перемикання енергетичного метаболізму на анаеробний. Біологічні особливості цього виду дозволяють рекомендувати його як модельну рослину з унікальним діапазоном толерантності для досліджень механізмів толерантності рослин до водного стресу, від затоплення до дегідратації.

Список літератури:

1. Foyer C., Noctor G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell Environ.* 2005, 28, 1056–1071. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01327.x>
2. Hossain M., Burritt D., Fujita M. Cross-stress tolerance in plants: molecular mechanisms and possible involvement of reactive oxygen species and methylglyoxal detoxification systems. in: *Abiotic Stress Response in Plants*. 2016, 327–380. DOI:10.1002/9783527694570.ch16
3. Pan J., Sharif R., Xu X., Chen X. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: research progress and prospects. *Front. Plant Sci.*, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>
4. Sachs M., Vartapetian B. Plant anaerobic stress. I. Metabolic

adaptation to oxygen deficiency. *Plant Stress*. 2007, 1, 123–135.

5. Voesenek L., Bailey-Serres J. Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytol.* 2015, 206, 57–73. doi: 10.1111/nph.13209

УДК 631.8 + 635.652

ВПЛИВ ДОБРИВА ФУЛЬВОГУМІН НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КВАСОЛІ ЗВИЧАЙНОЇ

Конончук О. Б., Барановський В. С.

Тернопільський національний педагогічний
університету імені Володимира Гнатюка

E-mail: kononchuk@chem-bio.com.ua; baranovskyj@chem-bio.com.ua

Квасоля звичайна є важливою сільськогосподарською рослиною, що вирощується переважно на харчові цілі. Продовольча цінність культури визначається високим вмістом легкозасвоювальних білків, що наближені до тваринних протеїнів, наявністю незамінних амінокислот, вітамінів та інших поживних речовин. Зокрема, насіння квасолі містить 22-32% білків, 50-60% крохмалю, 5-7% клітковини, 2,3-3,6% жирів, вітаміни А, В тощо [1].

Однак, не дивлячись на цінність квасолі, її площі в Україні незначні – біля 20 тис. га та середня врожайність зерна 10-13 ц/га, що не відповідає потенціалу культури і не може забезпечити потреби у продукції [1].

Одним із екологічних напрямків підвищення продуктивності рослин є застосування на їх посівах добрив на основі гуматів, до яких належить Фульвогумін – вітчизняне, рідке, комплексне, органо-мінеральне добриво для обробки насіння та для позакореневого підживлення. В основі препарату покладено синергічну взаємодію продуктів на основі солей фульво- і гумінових кислот, макро- та мікроелементів у хелатній формі та біологічно активні речовини. Добриво містить: N – 0,1-3,0%, P₂O₅ – 0,1-2,5%, K₂O – 0,1-4,0%, Карбон загальний – 16,0-18,0%, Карбон гумінових кислот – 0,1-4,0%, Карбон фульвокислот – 12,0-15,0%, органічна речовина – 40,0-90,0% [2,