

ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ У АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В.І. Баранов¹, Л.І. Карпинець², А.Р. Баня^{3*}, І.В. Семенюк³, О.В. Карпенко^{3,4}

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

² Інститут екології Карпат НАН України, Львів, Україна

³ Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Львів, Україна

⁴ Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

*Corresponding author: andrewbn199@gmail.com

Received 7 July 2022; Accepted 9 September 2022

Проблематика. Розвиток агропромислового комплексу, інтенсифікація рослинництва спричиняють забруднення ґрунтів залишками добрив, гербіцидів. Тому актуальним завданням є зменшення кількості використовуваних мінеральних добрив, застосування сучасних екологічно безпечних агротехнологій. Серед перспективних способів отримання органічних добрив та обробки ґрунту заслуговує на увагу метод електрогідралічного удару (ЕГУ). Такий підхід сприяє збагаченню ґрунтів азотом, фосфором, покращенню їх структури та родючості.

Мета. Оцінка впливу ЕГУ на якісний і кількісний склад органічних екстрактів (гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків, курячого посліду) та впливу отриманих добрив на морфометричні показники проростків кукурудзи і вміст пігментів фотосинтезу.

Методика реалізації. Обробка органічних субстратів ЕГУ проводилась на імпульсному генераторі потужністю 5кВт. Визначення вмісту амонію у добривах – з реактивом Неслера, фосфатів – методом Лоурі–Лопеса, нітратів – з реактивом Грісса, гумінових кислот – УФ/Віс-спектроскопією. Морфометричні показники, вміст пігментів фотосинтезу проростків кукурудзи визначали на 7-му добу.

Результати. Обробка ЕГУ сприяла збільшенню вмісту фосфатів, нітратів (15–60%), амонію (8–14%) і гумінових кислот (50–58%) у добривах. Як наслідок, за дії оброблених добрив із курячого посліду і копролітів підвищувалися морфометричні показники проростків порівняно з варіантами без обробки ЕГУ (маса коренів – на 160–200%). За впливу усіх органічних добрив після дії ЕГУ підвищувався також вміст пігментів фотосинтезу в рослинах: вміст каротиноїдів зростав на 8,7% за використання курячого посліду і на 10% для копролітів.

Висновки. Обробка органічних відходів із гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків та курячого посліду методом ЕГУ є ефективним підходом до одержання екологічно безпечних добрив, які характеризуються високим вмістом фосфатів, нітратів і амонію, що є сприятливим фактором при вирощуванні рослин, зокрема на ранніх стадіях. За дії органічних добрив з екстрактів з курячого посліду і копролітів істотно підвищувалися морфометричні показники проростків кукурудзи щодо контролю. Результати досліджень свідчать про перспективи продовження досліджень ефективності методу ЕГУ в різних галузях, зокрема для очищення і збагачення ґрунтів, обеззараження промислових стоків тощо.

Ключові слова: органічні добрива; електрогідралічний удар; проростки кукурудзи.

Вступ

Унаслідок хімізації світового агропромислового комплексу, що спричиняє зменшення продуктивності сільськогосподарських рослин і забруднення ґрунтів, а також відносно високої вартості органічних добрив суттєво зменшується їх використання [1, 2]. У той же час застосування відходів тваринництва, які утворюються щороку, зокрема гною великої рогатої худоби, ускладнюється необхідністю їх тривалої ферментації (2–3 роки). При використанні ж електро-

гідралічного удару (ЕГУ) процес надходження поживних речовин із органічних добрив до рослин можна значно пришвидшити.

ЕГУ – це процес, що базується на створенні всередині рідини імпульсного високовольтного розряду, який супроводжується надвисоким тиском у зоні його дії [1, 3]. При ЕГУ формується канал розряду з високою температурою. В каналі, який має невеликий переріз, виникає інтенсивне локальне розігрівання рідини, в якому конденсується енергія перегрітого іонізованого газу і пари. При інтенсив-

ному виділенні енергії швидкість розширення каналу може перевищити швидкість звуку, внаслідок чого формується ударна хвиля. Окрім цього, компоненти цього розряду стимулюють зміну енергетичного стану та хімічної структури речовин і суспензій, що приводить до швидкого переходу їх компонентів у рідину [4].

Встановлено, що хімічні реакції у ґрунтах і воді після обробки ЕГУ перебігають швидше, що пояснюється підвищеною активністю ферментів (порівняно з природними процесами без обробки) [5, 6].

Мета нашого дослідження – оцінити вплив ЕГУ на якісний і кількісний склад органічних екстрактів (гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків, курячого посліду) та вплив отриманих добрив на морфометричні показники проростків кукурудзи і вміст пігментів фотосинтезу.

Матеріали і методи

У роботі використано екстракти з органічних добрив: гною великої рогатої худоби – (H_2O – 77,3 %, органічна речовина – 20,3 %, N – 0,50 %, P_2O_5 – 0,23 %, K_2O – 0,59 %, CaO – 0,40 %); копролітів дощових черв'яків (H_2O – 78 %, містять $Ca_3(PO_4)_2$ – до 55–60 %); курячого посліду (КП) – (H_2O – 56,6 %, органічна речовина – 25 %, N – 1,6 %, P_2O_5 – 1,5 %, K_2O – 0,8–1,0 %, CaO – 2,4 %). Дослідні екстракти сушили в сушильній шафі за 105 °С, подрібнювали, брали наважки по 1 г, розчиняли в 100 мл дистильованої води, настоювали протягом 15 хв при перемішуванні. Процес обробки субстратів ЕГУ проводили на імпульсному генераторі потужністю 5кВт [3]. Половину розчинів обробляли ЕГУ протягом 5 хв, інші залишали необробленими. Як контроль використовували дистильовану воду. Вміст амонію визначали з використанням реактиву Неслера [7], вміст фосфатів – методом Лоурі–Лопеса [8], вміст нітратів – із реактивом Грісса [9]. Вміст гумінових кислот визначали методом УФ/Віз-спектроскопії на спектрометрі UVmini-1240 Shimadzu (Японія) за калібрувальним графіком (за стандартними розчинами). Вимірювання адсорбції кислот проводили у кварцевих кюветах (10 мм) за 465 нм, розчинник – дистильована вода [10].

Для визначення морфометричних показників проростки вирощували у вегетаційній

кімнаті (у чашках Петрі) на світлі люмінесцентних ламп із періодом освітлення 12 год/добу за 20 °С (у трикратній повторності). Дослідні витяжки додавали в кожен чашку, 20 мл/10 насінин кукурудзи. Морфометричні показники вимірювали на 7-му добу [11]. Вміст пігментів фотосинтезу визначали у спиртових екстрактах рослин і розраховували за формулами Холма–Веттштейна [12]. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програмного пакета Microsoft Excel, визначаючи середнє арифметичне, стандартну похибку [13].

Результати

На першому етапі роботи було визначено вміст фосфатів, амонію, нітратів і гумінових кислот в екстрактах органічних добрив до та після їх обробки ЕГУ (рис. 1–4).

Як видно з рис. 1, після обробки ЕГУ вміст фосфатів в отриманих з гною добривах збільшувався не істотно: для курячого посліду зростав на 8,2 %. Разом із тим спостерігалось істотніше підвищення вмісту нітратів у одержаних добривах: на 13,7 % для копроліту, на 16,7 % для гною і на 61 % для курячого посліду (рис. 2).

Після обробки органічних добрив методом ЕГУ вміст амонію також підвищувався: для гною – на 10,4 %, для копроліту – на 14,3 % і для курячого посліду – на 7,8 % (рис. 3).

Результати досліджень свідчать про значне підвищення вмісту гумінових кислот в органічних добривах після обробки ЕГУ: за використання копроліту – на 50,5 %, гною – на 54,5 %, курячого посліду – на 58,3 % (рис. 4).

Наступним етапом були порівняльні дослідження впливу одержаних органічних добрив (до та після обробки ЕГУ) на морфометричні показники рослин і вміст пігментів фотосинтезу (рис. 5–8).

Встановлено, що довжина пагонів проростків кукурудзи за використання гною і курячого посліду, оброблених ЕГУ, дещо зменшувалась порівняно з необробленими субстратами, проте для копроліту цей показник підвищувався на 460 % (рис. 5). Своєю чергою, довжина кореня у варіанті з екстрактом гною, обробленим ЕГУ, також зменшувалась, залишаючись незмінною за використання курячого посліду, проте підвищувалась на 160 % за дії копроліту (рис. 5).

Результати показують, що маса пагонів за використання добрива з гною, обробленого ЕГУ, зменшувалася порівняно з необробленим субстратом, зростала з обробленим курячим послідом на 25,6 %, а з копролітами – у 4 рази (рис. 6). На відміну від пагонів, маса коренів, у варіантах з усіма дослідженими органічними добривами, обробленими ЕГУ, підвищувалась (порівняно з необробленими): для гною – на 160 %, для курячого посліду – на 10 %, для копроліту – 200 % (рис. 6).

Дослідження вмісту пігментів фотосинтезу – хлорофілів – у рослинах показали, що їх загальний вміст за дії органічних добрив, оброблених ЕГУ, у всіх досліджених варіантах підвищувався порівняно з необробленими субстратами або був на рівні контролю (рис. 7).

Вміст каротиноїдів у проростках кукурудзи при застосуванні органічних добрив, оброблених ЕГУ (порівняно з необробленими), підвищувався на 8,7 % за використання курячого посліду та на 10 % для копролітів (рис. 8).

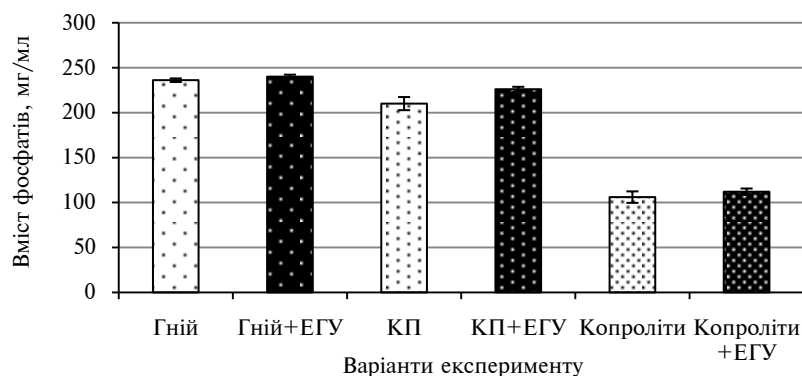


Рисунок 1: Вміст фосфатів у органічних добривах до та після обробки електрогідрравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

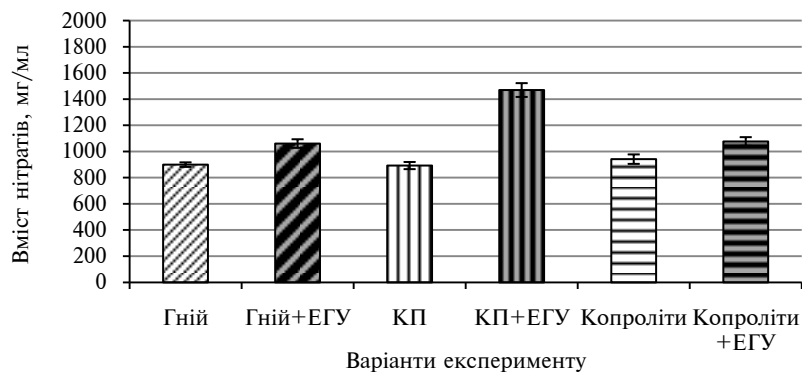


Рисунок 2: Вміст нітратів у органічних добривах до та після обробки електрогідрравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

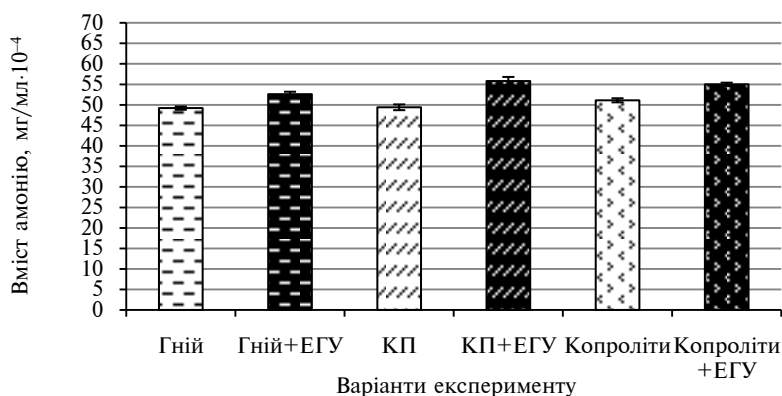


Рисунок 3: Вміст амонію у органічних добривах до та після обробки електрогідрравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

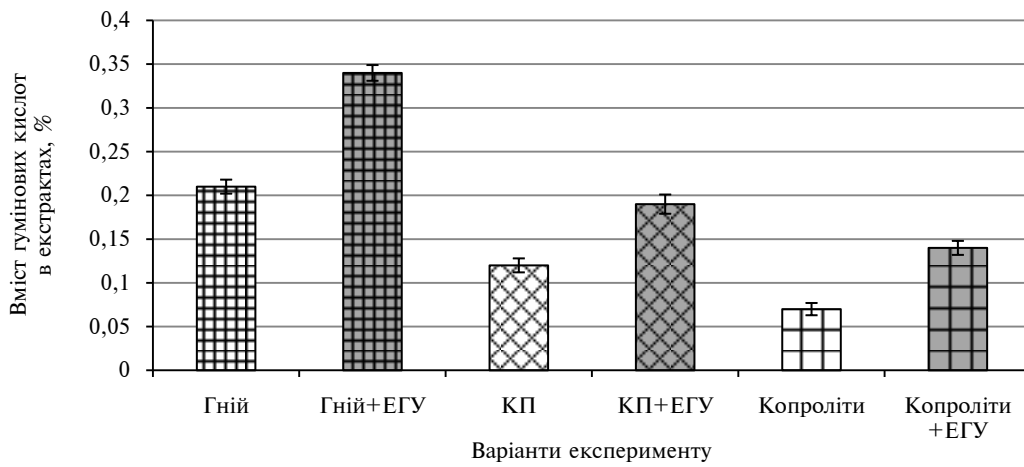


Рисунок 4: Вміст гумінових кислот в органічних добривах до та після обробки електрогідравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

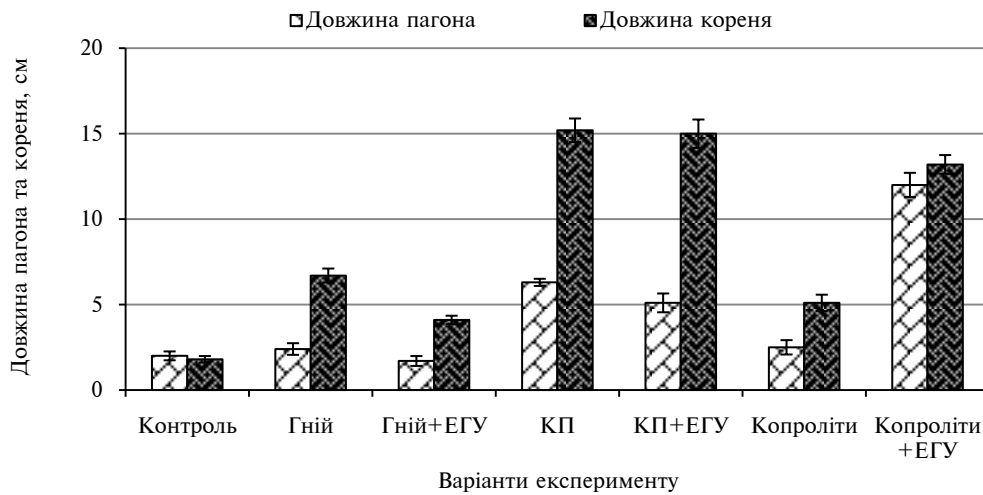


Рисунок 5: Довжина коренів і пагонів проростків кукурудзи за дії органічних добрив після обробки електрогідравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

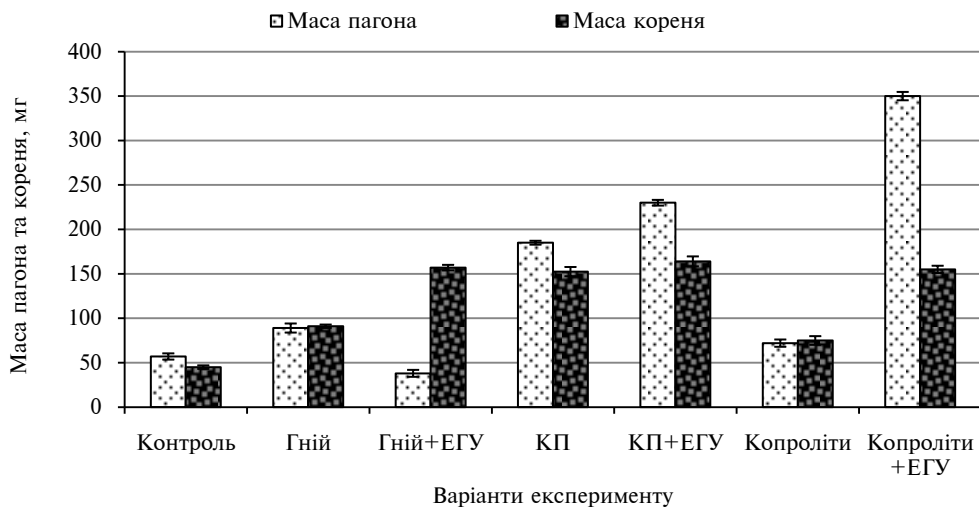


Рисунок 6: Маса коренів і пагонів проростків кукурудзи за дії органічних добрив після обробки електрогідравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

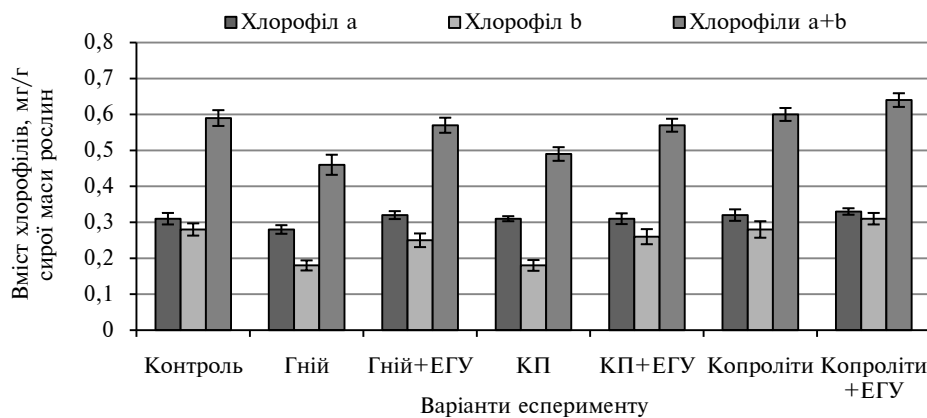


Рисунок 7: Вміст хлорофілів у проростках кукурудзи за дії органічних добрив після обробки електрогідравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

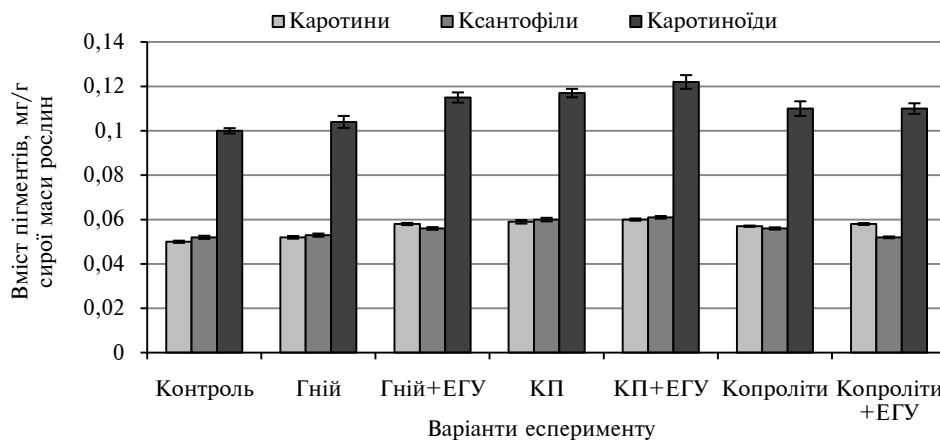


Рисунок 8: Вміст пігментів фотосинтезу у проростках кукурудзи за дії органічних добрив після обробки електрогідравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

Обговорення

Натепер застосування ефективних органічних добрив у агротехнологіях дає змогу зменшити обсяги внесення мінеральних добрив. Відомо, що навіть незначне збільшення вмісту фосфатів у добривах, одержаних із органічних витяжок, дає змогу знизити кількість потрібних для рослин мінеральних фосфорних добрив у польових умовах [14, 15]. Результати проведених досліджень показали, що екстракт курячого посліду після обробки ЕГУ виявився найбільш перспективним серед досліджених варіантів – із високим вмістом мінеральних речовин у доступній для рослин формі.

Відомо, що при обробці торфу ЕГУ пригнічується життєдіяльність мікрофлори, проте по закінченню його дії стрімко розвиваються азотфіксувальні мікроорганізми (наприклад, бактерії роду *Azotobacter*) [16–18]. Стимуляція азотфіксувальної діяльності ґрунтових мікроор-

ганізмів – це спосіб дешевого зв'язування атмосферного азоту, який, зокрема, сприяє збагаченню ґрунту гуміновими кислотами (ГК). Відомо, що ГК є основним компонентом найважливішої складової частини органічної речовини ґрунту – гумусу. Завдяки своїм біологічним властивостям ГК більш доступні для кореневої системи рослин. Як біополімери вони забезпечують високу ємність катіонного та аніонного обміну, хелатну здатність, можуть стимулювати ріст, забезпечувати азотне та зольне харчування рослин [19, 20].

Також, за даними японських учених [21], використання ЕГУ позитивно впливає на стійкість рослин до ураження фітопатогенами, зокрема *Ralstonia solanacearum* – збудником ураження розсади томатів (*Solanum lycopersicum*), та підвищує продуктивність рослини. Це підтверджує ефективність цього методу для рослинництва та є важливим внеском в екологічно безпечне рослинництво.

Встановлено підвищення вмісту мінеральних речовин і гумінових кислот в органічних екстрактах, оброблених ЕГУ, у доступних для рослин формах, що можна використати для зменшення кількості мінеральних добрив для живлення рослин [22, 23].

При вирощуванні сільськогосподарських культур важливими показниками, що вказують на підвищення врожайності та зниження негативного впливу довкілля, є ростові параметри та вміст пігментів фотосинтезу в рослинах. Так, у роботі [24] досліджено вплив ЕГУ на проростання насіння пшениці та ранні стадії вегетативного росту в умовах стресу: посухи і засолення. Було показано збільшення поглинання води, підвищення схожості насіння та підвищення значення індексу толерантності пагонів і коренів.

Отримані нами результати (див. рис. 5–8) вказують на збільшення ростових показників та вмісту пігментів фотосинтезу в рослинах за дії органічних добрив, оброблених ЕГУ, що свідчить про ефективність запропонованого підходу до добрив природного походження у рослинництві.

Висновки

Встановлено ефективність використання методу ЕГУ для оброблення екстрактів органічних субстратів (гною великої рогатої худоби,

копролітів дощових черв'яків, курячого посліду). Показано, що дія ЕГУ сприяла збільшенню вмісту фосфатів, нітратів (на 15–60 %), амонію (8–14 %) і гумінових кислот (50–58 %) в отриманих добривах. Як наслідок, оброблені добрива із курячого посліду і копролітів сприяли підвищенню морфометричних показників проростків (порівняно з варіантами без обробки ЕГУ): маса коренів збільшувалася на 160–200 %, підвищувався також вміст пігментів фотосинтезу в рослинах: вміст каротиноїдів зростає на 8,7 % за використання курячого посліду і на 10 % – для копролітів. Отже, використання розроблених органічних добрив є позитивним чинником для вирощування рослин (особливо на початкових етапах розвитку), а також сприяє зменшенню кількості внесення мінеральних добрив. Результати досліджень свідчать про перспективи продовження досліджень ефективності методу ЕГУ в різних галузях, зокрема, для очищення і збагачення ґрунтів, обеззараження промислових стоків тощо.

Розкриття інтересів

Олена Карпенко є членом редакційної колегії журналу “Innovative Biosystems and Bioengineering”, не брала участі у редакційному оцінюванні статті та ухваленні рішення про її публікацію. Інші автори не мають конфліктів інтересів, які слід розкрити.

References

- [1] Havrylyuk VA, Demchuk SM. Organo-mineral fertilizers – a comprehensive solution for the use of raw materials. *Agroecol J.* 2013;4:78-81.
- [2] Pahalvi HN, Rafiyya L, Rashid S, Nisar B, Kamili AN. Chemical fertilizers and their impact on soil health. In: Dar GH, Bhat RA, Mehmood MA, Hakeem KR, editors. *Microbiota and biofertilizers. Vol 2.* Cham: Springer; 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-61010-4_1
- [3] Borodinas S, Vasiljev P, Bareikis R, Struckas A, Kasperovicienė J. Algae cell wall disruption by electrohydraulic shock. *J Vibroeng.* 2016;18(4):2508-14. DOI: 10.21595/jve.2016.16472
- [4] Hidenori A, Richard H. *Bioelectrics.* Tokyo: Springer; 2017. DOI: 10.1007/978-4-431-56095-1
- [5] Locke BR, Thagard SM. Analysis and review of chemical reactions and transport processes in pulsed electrical discharge plasma formed directly in liquid water. *Plasma Chem Plasma Process.* 2012;32(5):875-917. DOI: 10.1007/s11090-012-9403-y
- [6] Yi J, Choi J, Jeon B, Jung I, Park D. Effects of a low-voltage electric pulse charged to culture soil on plant growth and variations of the bacterial community. *Agricult Sci.* 2012;3(3):339-46. DOI: 10.4236/as.2012.33038
- [7] Ministry of National Environmental Protection: Nessler's reagent spectrophotometric method for water quality – Determination of ammonia-nitrogen (HJ535-2009). China Environmental Science Press; 2009.
- [8] Lowry OH, Lopez JA. The determination of inorganic phosphate in the presence of labile phosphate esters. *J Biol Chem.* 1946;162(3):421-8. DOI: 10.1016/S0021-9258(17)41386-X
- [9] Campbell WH, Song P, Barbier GG. Nitrate reductase for nitrate analysis in water. *Environ Chem Lett.* 2006;4(2):69-73. DOI: 10.1007/s10311-006-0035-4

- [10] Semeniuk I, Kocubei V, Karpenko O, Midyana H, Karpenko O. Study of the composition of humic acids of different origins. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2019;4:150-6. DOI: 10.32434/0321-4095-2019-125-4-150-156
- [11] Hrytsaenko ZM, Hrytsaenko AO, Karpenko VP. *Methods of biological and agrochemical research of plants and soils*. Kyiv: Nichlava; 2003. 320 p.
- [12] Musienko MM, Parshikova TV, Slavny PS. Spectrophotometric methods in the practice of physiology, biochemistry and ecology of plants. Kyiv: Fitosociocentr; 2001. 49-50 p.
- [13] Kucherenko ME, Babenyuk YD, Voitsitskiy VM. *Modern methods of biochemical research*. Kyiv: Ukrsocioentr, 2001. 424 p.
- [14] Withers PJA, Edwards AC, Foy RH. Phosphorus cycling in UK agriculture and implications for phosphorus loss from soil. *Soil Use Manage*. 2001;17(3):139-49. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2001.tb00020.x
- [15] Boukhalfa-Deraoui N, Hanifi-Mekliche L, Mihoub A. Effect of incubation period of phosphorus fertilizer on some properties of sandy soil with low calcareous content, Southern Algeria. *Asian J Agricult Res*. 2015;9(3):123-31. DOI: 10.3923/ajar.2015.123.131
- [16] Sato M, Ohgiyama T, Clements J. Formation of chemical species and their effects on microorganisms using a pulsed high-voltage discharge in water. *IEEE Trans Ind Appl*. 1996;32(1):106-12. DOI: 10.1109/28.485820
- [17] Furtak K, Gajda AM. Activity and variety of soil microorganisms depending on the diversity of the soil tillage system. In: de Oliveira AO, editor. *Sustainability of agroecosystems*. London: IntechOpen; 2018. DOI: 10.5772/intechopen.72966
- [18] Sumbul A, Ansari RA, Rizvi R, Mahmood I. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi J Biol Sci*. 2020;27(12):3634-40. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.004
- [19] Horova AI, Orlov DS, Shcherbenko OV. *Humic substances. Structure, functions, mechanism of action, protective properties, ecological role*. Kyiv: Naukova Dumka; 1995. 302 p.
- [20] Garmash SM. The influence of natural stimulator of plant growth biohumate on productivity of vegetable cultures. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*. 2009;1:47-50.
- [21] Okumura T, Saito Y, Takano K, Takahashi K, Takaki K, Satta N, et al. Inactivation of bacteria using discharge plasma under liquid fertilizer in a hydroponic culture system. *Plasma Med*. 2016;6(3-4):247-54. DOI: 10.1615/PlasmaMed.2016018683
- [22] Garcia AC, de Souza LG, Pereira MG, Castro RN, Garcia-Mina JM, Zonta E, et al. Structure-property-function relationship in humic substances to explain the biological activity in plants. *Sci Rep*. 2016;6(1):20798 DOI: 10.1038/srep20798
- [23] Shah ZH, Rehman HM, Akhtar T, Alsamadany H, Hamooh BT, Mujtaba T, et al. Humic substances: Determining potential molecular regulatory processes in plants. *Front Plant Sci*. 2018;9:263. DOI: 10.3389/fpls.2018.00263
- [24] Marček T, Kovač T, Jukić K, Lončarić A, Ižaković M. Application of high voltage electrical discharge treatment to improve wheat germination and early growth under drought and salinity conditions. *Plants*. 2021;10(10):2137. DOI: 10.3390/plants10102137

V.I. Baranov¹, L.I. Karpinets², A.R. Banya³, I.V. Semeniuk³, E.V. Karpenko^{3,4}

¹Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

²Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

³Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels of the Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry named after L.M. Lytvynenko, NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

⁴Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ELECTRO-HYDRAULIC EFFECT AS A FACTOR OF INCREASING THE EFFICIENCY OF ORGANIC FERTILIZERS IN AGRO-INDUSTRIAL PRODUCTION

Background. The development of the agro-industrial complex, the intensification of crop production cause soil pollution with the remains of fertilizers and herbicides. Therefore, reducing the amount of mineral fertilizers used, application of modern ecologically safe agricultural technologies is an urgent task. Among promising methods of obtaining organic fertilizers and soil treatment, the method of electrohydraulic effect (EHE) is especially noteworthy. This approach contributes to enriching soils with nitrogen and phosphorus, improving their structure and fertility.

Objective. The aim of the work is evaluation of the effect of EHE on the qualitative and quantitative composition of organic extracts (cattle manure, earthworm coprolites, chicken droppings) and the effect of the obtained fertilizers on the morphometric indicators of corn seedlings and the content of photosynthetic pigments.

Methods. The processing of organic substrates by EHE was carried out on a pulse generator with a power of 5 kW. Ammonia content in fertilizers was determined with the Nesler reagent, phosphates – with the Lowry–Lopez method, nitrates – with the Griess reagent, humic acids – with UV/Vis spectroscopy. Morphometric indicators, the content of photosynthetic pigments of corn seedlings were determined on the 7th day.

Results. EHE treatment contributed to an increase in the content of phosphates, nitrates (by 15–60%), ammonium (8–14%) and humic acids (50–58%) in fertilizers. As a result, the morphometric indicators of seedlings increased compared to variants without EHE treatment (root mass – by 160–200%) under the action of processed fertilizers from chicken droppings and coprolites. Under the influence of all organic fertilizers, the content of photosynthesis pigments in plants also increased after the action of EHE: the content of carotenoids increased by 8.7% when using chicken manure and by 10% for coprolites.

Conclusions. The treatment of organic waste from cattle manure, earthworm coprolites and chicken droppings by the EHE method is an effective approach to obtaining environmentally safe fertilizers characterized by a high content of phosphates, nitrates and ammonium, which is a favorable factor in growing plants, in particular in the early stages. Under the action of organic fertilizers from extracts of chicken droppings and coprolites, the morphometric indicators of corn seedlings significantly increased compared to the control. Our results show promising research on the effectiveness of the EHE method in various fields, in particular for cleaning and enriching soils, decontamination of industrial wastes, etc.

Keywords: organic fertilizers; electrohydraulic effect; maize seedlings.