

АНАЛІЗ ДІЇ ПРЕПАРАТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ТА ДЕГРАДАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ГЕРБІЦИДІВ

Кібаров О.І., Трохименко Г.Г.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Центральний, 3, 54029, м. Миколаїв
kibarovoleg9@gmail.com

У дослідженні представлений аналіз дії існуючих добрив та органічних добавок, які сприяють біодеградації залишків гербіцидів у ґрунті та забезпечують стабільний ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Розглянуто можливість та ефективність застосування таких препаратів для біоремедіації забруднених ґрунтів, а також специфіку поєднання таких препаратів з гербіцидами та іншими агрохімікатами. Також у роботі представлено дослідження дії експериментального біостимулятора на основі гумінових і фульвових кислот у комбінації з гербіцидами як суцільної, так і селективної дії. Основними методами дослідження є експеримент, порівняння та аналіз.

У цій роботі під словом «біостимулятор» мається на увазі будь-яка речовина або мікроорганізм, який застосовується до рослин для підвищення ефективності живлення, стійкості до абіотичного стресу та/або якості врожаю, незалежно від вмісту поживних речовин. Застосування біостимуляторів рослин у виробництві може зменшити застосування традиційних пестицидів і хімічних добрив і підвищити якість і врожайність сільськогосподарських культур, що сприяє сталому розвитку сільського господарства. Глибоке розуміння механізму та ефекту різних є дуже важливим для того, як розумно та ефективно застосовувати такі препарати у практиці рослинництва.

Мета цієї роботи полягала у аналізі та узагальненні основних класифікацій біостимуляторів росту рослин, а також демонстрації результату дослідження антистресової дії експериментального біостимулятора «БіоФульво» на фітоіндикатор *Sorghum drummondii*. Водночас було узагальнено вплив застосування таких препаратів на схожість насіння, енергію розсади, урожайність та якість. *Ключові слова*: забруднення ґрунту, відновлення ґрунту, біоремедіація, стимулятори росту, гербіциди, фульвові кислоти, гумінові кислоти.

Analysis of the effect of agricultural products for soil bioremediation and degradation of herbicides residues. Kibarov O., Trokhymenko G.

The study presents an analysis of the action of existing fertilizers and organic additives that promote the biodegradation of herbicide residues in the soil and ensure stable growth and development of crops. The possibility and effectiveness of using such preparations for bioremediation of contaminated soils are considered, as well as the specifics of combining such preparations with herbicides and other agrochemicals. The work also presents a study of the action of an experimental biostimulant based on humic and fulvic acids in combination with herbicides of both continuous and selective action. The main research methods are experiment, comparison and analysis.

In this work, the word «biostimulant» means any substance or microorganism that is applied to plants to increase the efficiency of nutrition, resistance to abiotic stress and/or crop quality, regardless of the nutrient content. The use of plant biostimulants in production can reduce the use of traditional pesticides and chemical fertilizers and increase the quality and yield of crops, which contributes to the sustainable development of agriculture. A deep understanding of the mechanism and effect of various is very important for how to reasonably and effectively use such drugs in crop production practice.

The purpose of this work was to analyze and summarize the main classifications of plant growth biostimulants, as well as to demonstrate the result of a study of the anti-stress effect of the experimental biostimulant «BioFulvo» on the phytoindicator *Sorghum drummondii*. At the same time, the effect of the use of such drugs on seed germination, seedling vigor, yield and quality was summarized. *Key words*: soil contamination, soil restoration, bioremediation, growth stimulants, herbicides, fulvic acids, humic acids.

Постановка проблеми. Світове споживання гербіцидів зараз досягає приблизно одного мільйона тонн на рік, в основному завдяки розширенню їх використання для боротьби з бур'янами у сільському господарстві. Широке використання гербіцидів викликало занепокоєння щодо впливу їх залишків на здоров'я людини та екологію ґрунту. Гербіциди не лише викликають запалення у тонкому та товстому кишечнику людини, але й негативно впливають на мікро-

біом ґрунту та пов'язане з ним функціонування екосистеми. Поглиблені дослідження того, як залишки гербіцидів модифікують ґрунтову мікрофлору та змінюють едафотоп, мають вирішальне значення для майбутнього сталого сільського господарства та добробуту суспільства. Ґрунтові екосистеми за своєю суттю багатофункціональні та багатомірні. Функції ґрунту включають регулювання клімату, первинну продуктивність, секвестрацію вуглецю, постачання

поживних речовин та їхній кругообіг, підтримку біорізноманіття, а також очищення води та регулювання її якості. Ці функції впливають на збільшення довгострокових порушень у компонентах навколишнього середовища та людських потреб, наслідком яких є інтенсифікація використання сільськогосподарських земель, хімізація продукції сільськогосподарського виробництва, накопичення забруднювачів і зміна клімату. Застосовані гербіциди атразин і ацетохлор пригнічували активність ґрунтових ферментів і функції клітинної рухливості, клітинних процесів, передачі сигналів, реплікації та відновлення, а також енергетичного метаболізму. Деякі типи залишків гербіцидів на короткий термін впливають на окислення та відновлення сірки, зменшують поглинання фосфору, зменшують мінералізацію вуглецю та пригнічують фіксацію азоту, змінюючи загальні функції ґрунту [13].

Актуальність дослідження. Із розвитком виробництва та збільшенням чисельності населення зростає необхідність збільшення сільськогосподарської продукції з меншими затратами ресурсів. Біостимулятори рослин є одним із найбільш відомих стійких рішень, враховуючи їх природне походження та їхній потенціал замінити звичайні методи ведення сільського господарства. Біостимулятори, такі як гумінові речовини, гідролізати білка, екстракти морських водоростей, мікроорганізми та їхні консорціуми, мають доведений потенціал для покращення росту рослин, збільшення врожайності культур та якості врожаю, а також біоремедіації ґрунтів. Однак багатомолекулярна природа та різноманітний склад комерційно доступних біостимуляторів створює проблеми при спробі з'ясувати основні механізми їхньої дії.

Хоча більшість публікацій зосереджено на широкому спектрі впливу біостимуляторів на сільськогосподарські культури [14, 15], останні дослідження на молекулярному рівні почали розкривати механізми, що запускаються певними продуктами на клітинному та генному рівнях. Розуміння молекулярної взаємодії самих препаратів та їхнього синергічного або кумулятивного ефектів може призвести до подальшого вдосконалення методів захисту культурних рослин та біоремедіації ґрунтів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Оскільки наукове співтовариство закликає до більшої стійкості ведення сільського господарства, створення екологічно чистих агросистем, дослідження природних засобів боротьби з бур'янами та збільшення врожайності як альтернативи традиційним хімічним методам, існує необхідність дослідження дії біостимуляторів на основі гумусових речовин у поєднанні з гербіцидами та створення оптимальної схеми використання таких препаратів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гумінові і фульвові кислоти або гумінові речовини

вже деякий час діють як біостимулятори з доведеною біологічною дією. Вони складаються з органічних сполук, отриманих у результаті розкладання мертвої біоти в ґрунтах. Гумінові кислоти (ГК) є дуже гетерогенними у своїй молекулярній комбінації та здебільшого несприйнятливими до мікробного розкладання. На сьогоднішній день існує значна кількість досліджень щодо аналізу впливу цих речовин на здорове функціонування рослин та загальну біоремедіацію ґрунту. Коли мова йде про рослини, вплив ГК на ріст може бути непрямим, починаючи від збільшення мікробної популяції, покращення здатності до катіонного обміну та буферних властивостей ґрунту, підвищення доступності та мобілізації поживних речовин у ґрунті та покращення структури ґрунту [1]. Прямий вплив здійснюється на молекулярні механізми, таких процесів як фотосинтетична активність, синтез білка та ферментативна активність, а також на фітогормони. Зважаючи на те, що ГК є багатфункціональними біостимуляторами, все ще існує потреба у подальших дослідженнях щодо їхньої ефективності та способу дії.

Гумінові кислоти мають гормоноподібну поведінку, причому найбільш поширеною є наявність ауксину, молекул, що імітують ту саму функцію або взаємодію із сигнальними сисемами рослинних гормонів. Однак, було також виявлено, що ГК збільшує експресію пероксидази (POD), яка, як зазначається, бере участь у метаболізмі ауксину [2]. В останніх дослідженнях було показано, що позакореневе внесення ГК покращує врожайність у різних генотипів *Brassica napus*. Крім того, спостерігається збільшення вмісту хлорофілу, яке могло бути пов'язане зі збільшенням швидкості фотосинтезу та активності ферменту «RuBisCO» (Рибулозобісфосфаткарбоксилаза). Попередні дослідження показали, що деякі ГК не містять важливих для розвитку рослин компонентів, оскільки складаються переважно з вуглецю, водню та кисню [3].

Подібно до гумінових кислот, фульвокислоти складаються з великої кількості карбоксильних груп (COOH), а також мають велику кількість фенольних сполук і низьку кількість ароматичних структур. У той час як більшість досліджень на сьогоднішній день описує вплив фульвокислот у поєднанні з гуміновими або екстрактами морських водоростей, деякі дослідження вивчали вплив фульвокислот окремо на ріст рослин. Наприклад, було виявлено, що біостимулятори на основі фульвових кислот покращують проростання ярої пшениці (*Triticum aestivum*), ячменю (*Hordeum vulgare*) і цукрового буряка (*Beta vulgaris*), а також збільшують довжину пагонів і суху вагу пагонів і коренів. У тому самому дослідженні показано покращення якості зерна та врожайності ярої пшениці, а також загальної врожайності цукрових буряків. Низька молекулярна маса ФК дозволяє їм проникати крізь пори мембран і, утворюючи комплекси з катіонами, це може призвести до тран-

спортування поживних речовин у клітину [4]. Крім того, було виявлено, що фульвокислоти сприяють змінам у коренях *Medicago sativa*, посилюючи регуляцію генів, зв'язаних з біологічними процесами метаболізму азоту, транспортерів поживних речовин і гідролаз. Інші дослідження спостерігали збільшення вмісту ліпідів, що корелює з використанням жирних кислот, оскільки ці речовини, здавалося б, активізували гени, які пов'язані з біосинтезом ліпідів, а також інші гени, які пов'язані з транспортерами калію, деградацією крохмалю та метаболізмом рослин [5]. Як зазначалося раніше, абіотичний стрес має великий вплив на результати сільськогосподарської діяльності. Подібно до гумінових кислот, фульвокислоти також можуть відігравати потенційну роль біостимуляторів у боротьбі з абіотичним стресом. Наприклад, посуховий стрес призводить до швидкого накопичення активних форм кисню у рослинній тканині, викликаючи різноманітні негативні ефекти на клітинному рівні, які можуть бути послаблені функцією аскорбінової кислоти. Примітно, що застосування фульвокислот покращує аскорбат, глутатіон і флавоноїди шляхом активації генів, пов'язаних з їх метаболізмом, пом'якшуючи негативні наслідки стресу від посухи.

Інші дослідження показали, що використання фульвокислот у комбінації з нафтодеструкторами (роду *Bacillus*) при вуглеводному забрудненні ґрунту важкими нафтовими фракціями (нафтошлам) справляло виражений позитивний ефект на ріст та врожайність рослин [6]. Найбільш чутливими показниками фітотоксичності ґрунту були енергія проростання насіння та накопичення рослинної біомаси. Аналіз фітотоксичності показав (Таблиця 1), що через 3 місяці з використанням нафтодеструкторів токсичність у комбінації з фульвокислотами знизилася на 21,46–33,76%, а у варіанті без них – на 8,93–17,47%.

Застосування фульвокислот дозволяє покращити параметри росту рослин, збільшити вміст фотосинтетичних пігментів, каротиноїдів, загальних фенолів, флавоноїдів та концентрацію макроелементів.

Незважаючи на те, що деякі автори класифікують інокуляти мікроорганізмів як біодобрива, їх цілком можна назвати біостимуляторами. Біостимулятори на основі грибів і бактерій можуть зіграти певну роль у пом'якшенні впливу сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище, наприклад,

позитивно впливаючи на біорізноманіття ґрунту. Крім того, мікроорганізми відіграють ключову роль у філосфері, ризосфері та ендосфері рослин, збільшуючи доступність певних поживних речовин і полегшуючи їх поглинання, причому симбіоз між ними є ключовим фактором їх еволюції. Більшість мікроорганізмів, які прямо чи опосередковано взаємодіють з рослинами, називаються бактеріями, що сприяють росту рослин, що включає як вільноживучі бактерії в ґрунті, так і ризобактерії, які колонізують ризосферу. Цим мікроорганізмам приписують кілька функцій, включаючи синтез регуляторів росту рослин і солюбілізацію неорганічних поживних речовин. Види агрономічно корисних мікроорганізмів, такі як *Arthrobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhodococcus* spp., *Enterobacter* spp., *Ochrobactrum* spp., *Acinetobacter* spp., *Bacillus* spp., *Rhizobium* spp., *Streptomyces* spp. активно вивчалися з метою дослідження їхньої потенційної ролі як біостимуляторів, причому деякі з них уже комерціалізовані [7].

У випадку *Bacillus* spp., ці бактерії діють не тільки як біофунгіциди, сприяючи здоров'ю рослин і ґрунту, але також як біостимулятори завдяки виробленим метаболітам і солюбілізації основних поживних речовин до більш простих форм для поглинання коренем. Ці мікроорганізми також пов'язані з виробництвом речовин, що стимулюють ріст, таких як цитокініни, спермідини, гібереліни та ін. У нещодавніх дослідженнях було виявлено, що *Bacillus pumilus* збільшує вміст поживних речовин у плодах і врожайність плодів томатів (*Solanum lycopersicum*), а у поєднанні з *Pseudomonas putida* спостерігалось збільшення врожаю здорових плодів. Три штами *Bacillus velezensis* також досліджували на пшениці (*Triticum aestivum*), де вони позитивно впливали на ранній розвиток, підвищуючи концентрацію макро- та мікроелементів у рослині у тепличних умовах [8]. Крім того, ті самі автори виявили збільшення врожайності зерна пшениці, вирощеної в умовах низького вмісту азоту, при інокуляції *Bacillus velezensis*. Фактично, хоча обмежена доступність азоту в ґрунті може погіршити ріст рослин, деякі *Bacillus* spp. штами здатні виробляти його з атмосферного N₂, що призводить до підвищення врожаю та посилення росту рослин. Крім того, недавні дослідження [9] повідомили, що *Bacillus megaterium* може пом'якшити негативний вплив на ріст коренів у пшениці, спричинений високими концентраціями азоту

Таблиця 1

Фітотоксичний ефект нафтозабрудненого ґрунту за використання нафтодеструкторів, % [6]

Концентрація фульвокислот	Концентрація нафтошламу		
	60%	70%	80%
1%	66,24	78,54	97,95
0,2%	69,35	87,80	98,48
0%	82,53	91,07	100

в ґрунті, що може бути пов'язано з використанням азоту самими бактеріями. Ця подвійність функцій штамів *Bacillus* відкриває можливість багатопільового використання, оскільки як низькі, так і високі концентрації азоту у ґрунті впливають на ріст рослин і врожайність.

Що стосується грибів, то один із найбільш перспективних видів належить до роду *Trichoderma*. Незважаючи на те, що вони зазвичай асоціюються з біопестицидами, штами *Trichoderma* spp. набувають все більшого інтересу як біостимулятори завдяки їхній здатності підвищувати стійкість до абіотичних стресів і збільшувати ріст рослин, стимулювати розвиток і підвищувати врожайність. Нещодавні дослідження [10] показали вплив біостимуляторів на основі *Trichoderma virens* GV41 як у салаті, так і в руколі, спостерігаючи збільшення вмісту фенолу та антиоксидантної активності та покращену ефективність використання азоту в салаті, припускаючи їх потенційне підвищення родючості ґрунту. Дослідження з використанням штамів *Trichoderma* та їх біоактивних метаболітів, окремо або в поєднанні, повідомили про збільшення росту рослин сої, а також вмісту жирних кислот і мінералів у її насінні. Також було показано, що *Trichoderma harzianum* T22 має біостимулюючі властивості у пшениці, збільшуючи свіжу вагу колоска та суху вагу пагонів за нормальних умов, одночасно збільшуючи кількість стебел, суху вагу та свіжу вагу колоска за умов водного стресу [11]. Повідомляється, що цей штам *Trichoderma* впливає на збільшення біомаси пшениці в умовах низької доступності азоту, що може свідчити про підвищення стресостійкості. Подібним чином інші автори спостерігали збільшення поглинання азоту і врожайності в салаті з використанням біостимуляторів «*Trichoderma virens* GV 41». Було також показано, що «*Trichoderma saturnisporum*» покращує схожість, підвищує врожайність, а також призводить до кращої якості плодів дині [12]. Крім загальних висновків про збільшення біомаси, врожайності, поглинання поживних речовин, вмісту антоціанів і антиоксидантів, протеомний аналіз показав підвищені рівні білків, які беруть участь у метаболізмі вуглеводів, гліколізі та спиртовому бродінні. Ці роботи відображають проблеми недооцінки усього різноманіття молекулярних ефектів біостимуляторів, бо саме вони відкривають шлях для подальшого застосування біостимуляторів у сільському господарстві.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Антистресова дія фульвових і гумінових кислот проявляється також у роботі з пестицидами. Застосування їх разом із протруювачами зменшує інгібуючий вплив на проростання зародка насіння, підвищує темпи зростання та розвитку рослин. Тому існує необхідність подальших досліджень дії таких препаратів у поєднанні з гербіцидами як селективної, так і суцільної дії.

Новизна. У роботі представлені дослідження можливої антистресової дії біостимулятора на основі фульвових і гумінових кислот у поєднанні з бактеріями «*Bacillus amyloliquefaciens*» на фітоіндикатор *Sorghum drummondii* (суданська трава).

Методологічне або загальнонаукове значення. Розуміння взаємодії гумінових і фульвових кислот з діючими речовинами популярних гербіцидів надасть можливість розробити оптимальну схему використання таких препаратів та забезпечити безпечне застосування протруювачів у сільському господарстві.

Основний матеріал. Для дослідження впливу фульвових кислот у сприянні біодеградації гербіцидів був використаний експериментальний препарат «БіоФульво», який виготовляється у процесі переробки органічної сировини (висівки, дробина, зерновідходи, солодові паростки, тощо), тому він віднесений до екологічно безпечних. У складі добрива переважають фізіологічно активні низькомолекулярні фульвокислоти – від 150 до 200 г/л, вміст гумінових кислот до 10 г/л, у сухому залишку міститься більше 900 г/кг органічної речовини. Враховуючи, що у складі добрива переважають фульвові кислоти, можна стверджувати про їхню значну фізіологічну активність та позитивну дію на ріст і розвиток сільськогосподарських культур.

У дослідженні застосовувались гербіциди селективної дії (Хізалофоп-П-етил, Метолахлор, Прометрин), а також неселективні (Калійна сіль гліфосату). На рис. 1 можна побачити відсоток схожості оброблених гербіцидами рослин та препаратом «БіоФульво» у різних концентраціях.

Рослини, які були оброблені пестицидами та 10% розчином «Біофульво», не проросли, за винятком декількох випадків, у яких рослини загинули на 12–19 день дослідження. У середньому, 10% розчин «БіоФульво» загальмував розвиток рослин приблизно у 1,5 рази. Однак, 5% розчин препарату значно зменшив інгібуючу дію гербіцидів як суцільної, так і селективної дії на розвиток фіто-індикатора (рис. 2).

Якщо аналізувати винятково вплив біостимулятора на ріст рослини (таблиця 2), то можна побачити, що 5% розчин препарату пригнічував розвиток рослини приблизно на 16%, а 10% розчин – у півтори рази. Кількість і якість паростків варіювалася приблизно однаково у всіх досліджуваних комбінаціях.

Отже, препарат на основі фульвових кислот позитивно впливав на відсоток схожості та показники росту оброблених рослин, але при більшій концентрації, у більшості випадків, мав інгібуючий вплив на фітоіндикатор за рахунок підвищення рН ґрунту. Тому, при використанні таких препаратів слід враховувати тип оброблюваного ґрунту, його властивості, а не тільки кумулятивний ефект дії препаратів.

Головні висновки. Враховуючи неминучі наслідки абіотичного стресу через забруднення ґрунту пестицидами, біостимулятори можуть забез-



Рис. 1. Відсоток схожості рослин, які були оброблені пестицидами та препаратом «БіоФульво»

Середня висота рослин, оброблених гербіцидами, мм

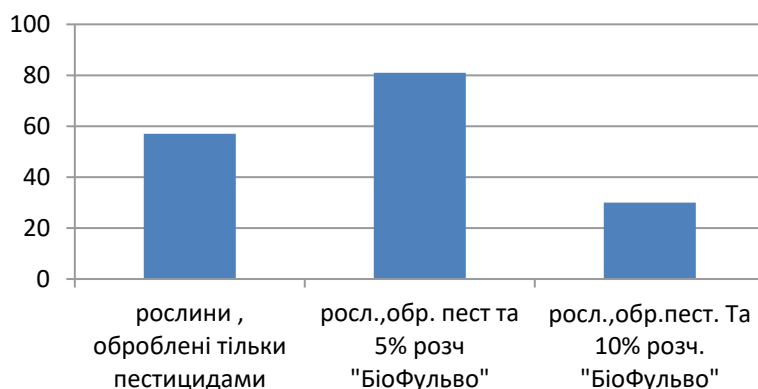


Рис. 2. Результати впливу препарату «БіоФульво» на ріст рослин, оброблених пестицидами

Таблиця 2

Вплив досліджуваних гербіцидів та біостимулятора на ріст і розвиток фітоіндикатору *Sorghum drummondii*

Розвиток фітоіндикатору (у см)					
Рослини, які поливалися лише водою		Рослини, які поливалися водою та 5% розчином «БіоФульво»		Рослини, які поливалися водою та 10% розчином «БіоФульво»	
Горщик № 1	190 см	Горщик № 1	150 см	Горщик № 1	137 см
Горщик № 2	153 см	Горщик № 2	147 см	Горщик № 2	117 см
Горщик № 2	138 см	Горщик № 3	139 см	Горщик № 3	106 см

печити рішення для пом'якшення впливу пестицидів на стан та властивості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарської продукції. Незважаючи на це, варто враховувати низку факторів: ефекти можуть відрізнятися між видами сільськогосподарських культур, процесами екстракції/виробництва біостимуляторів і співвідношення їхніх компонентів. Біологічно активні речовини можуть відрізнятися за принципом дії, а різні біостимулятори можуть діяти

по-різному на один і той самий вид рослини. Таким чином, розширення знань молекулярних механізмів дії препаратів, може відкрити низку можливостей для більш ефективного використання цих продуктів. Потенціал цих продуктів для підвищення стійкості сільського господарства та підвищення продовольчої безпеки може бути реалізований завдяки колективній співпраці наукового співтовариства та виробників сільськогосподарської продукції.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дослідження допоможуть краще розуміти механізм взаємодії фульвових і гумінових кислот з гербіцидами зазначених класів

та розробити оптимальну схему використання та комбінацій подібних біостимуляторів для досягнення більш ефективного результату для відновлення ґрунту та ефективного ведення агровиробництва.

Література

1. Gerke J. Review Article: The Effect of Humic Substances on Phosphate and Iron Acquisition by Higher Plants: Qualitative and Quantitative Aspects. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2021;184:329–338.
2. Elmongy M.S., Wang X., Zhou H., Xia Y. Humic Acid and Auxins Induced Metabolic Changes and Differential Gene Expression during Adventitious Root Development in Azalea Microshoots. *HortScience.* 2020;55:926–935.
3. Jannin L., Arkoun M., Ourry A., Lâiné P., Goux D., Garnica M., Fuentes M., Francisco S.S., Baigorri R., Cruz F., et al. Microarray Analysis of Humic Acid Effects on Brassica napus Growth: Involvement of N, C and S Metabolisms. *Plant Soil.* 2012;359:297–319.
4. Canellas L.P., Olivares F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. Humic and Fulvic Acids as Biostimulants in Horticulture. *Sci. Hortic.* 2015;196:15–27.
1. Priya B.N.V., Mahavishnan K., Gurumurthy D.S., Bindumadhava H., Upadhyay A.P., Sharma N.K. Fulvic Acid (FA) for Enhanced Nutrient Uptake and Growth: Insights from Biochemical and Genomic Studies. *J. Crop Improv.* 2014;28:740–757.
5. Vladyslav Nedoroda, Ganna Trokhymenko, Oleh Kibarov : Analysis of the feasibility of using fertilizers based on fulvic acids in bioremediation of contaminated soil, 2024.
6. Zhao D., Zhao H., Zhao D., Zhu X., Wang Y., Duan Y., Xuan Y., Chen L. Isolation and Identification of Bacteria from Rhizosphere Soil and Their Effect on Plant Growth Promotion and Root-Knot Nematode Disease. *Biol. Control.* 2018.
7. Nguyen M.L., Glaes J., Spaepen S., Bodson B., du Jardin P., Delaplace P. Biostimulant Effects of Bacillus Strains on Wheat from in Vitro towards Field Conditions Are Modulated by Nitrogen Supply. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2019;182:325–334.
8. Nguyen M.L., Spaepen S., du Jardin P., Delaplace P. Biostimulant Effects of Rhizobacteria on Wheat Growth and Nutrient Uptake Depend on Nitrogen Application and Plant Development. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2019;65:58–73.
9. Visconti D., Fiorentino N., Cozzolino E., Woo S.L., Fagnano M., Roupheal Y. Can Trichoderma-Based Biostimulants Optimize N Use Efficiency and Stimulate Growth of Leafy Vegetables in Greenhouse Intensive Cropping Systems? *Agronomy.* 2020;10:121.
10. Silletti S., Di Stasio E., Van Oosten M.J., Ventorino V., Pepe O., Napolitano M., Marra R., Woo S.L., Cirillo V., Maggio A. Biostimulant Activity of Azotobacter chroococcum and Trichoderma harzianum in Durum Wheat under Water and Nitrogen Deficiency. *Agronomy.* 2021;11:380.
11. Fernando D., Milagrosa S., Francisco C., Francisco M. Biostimulant Activity of Trichoderma saturnisporum in Melon (Cucumis melo) *HortScience.* 2018;53:810–815.
12. P. Chávez-Ortiz, Y. Tapia-Torres, J. Larsen, F. García-Oliva: «Glyphosate-based herbicides alter soil carbon and phosphorus dynamics and microbial activity», *Appl. Soil Ecol.*, 169 (2022).
13. De Pascale S., Roupheal Y., Colla G. Plant Biostimulants: Innovative Tool for Enhancing Plant Nutrition in Organic Farming. *Eur. J. Hortic. Sci.* 2018;82:277–285.
14. Rodrigues M., Baptistella J.L.C., Horz D.C., Bortolato L.M., Mazzafera P. Organic Plant Biostimulants and Fruit Quality—A Review. *Agronomy.* 2020;10:988.