

Ірина Юрїївна Борецька,

аспірантка кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0002-6140-3191, e-mail: ira.boretska2017@gmail.com

Ольга Іванівна Романюк,

кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділення
фізико-хімії горючих копалин

Інститут фізико-органічної хімії і вуглекімії імені Л.М. Литвиненка

Національної академії наук України, Україна

orcid.org/0000-0002-6249-2683, e-mail: romaniuk@ua.fm

Джура Наталія Миронівна,

кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0001-9170-6014, e-mail: nataliya.dzhura@lnu.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ГУМАТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР НА НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

Анотація. У час воєнного сьогодення важливими є дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту з використанням енергетичних культур. Одним із найперспективніших агентів фітореMediaції є гумати, які можуть покращувати адаптаційні властивості рослин у стресових умовах.

Мета роботи – встановити оптимальні концентрації розчинів гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння енергетичних рослин для підвищення їхньої стресостійкості й урожайності з подальшим використанням у комплексному підході фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

Відібрано енергетичні рослини, стійкі до нафтового забруднення та придатні для виробництва як рідкого, так і твердого біопалива. Серед досліджених культур – буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), ріжій посівний (*Camelina sativa*), сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.), овес посівний (*Avena sativa* L.), просо лозоподібне (switchgrass (*Panicum virgatum* L.)), жито посівне (*Secale cereale*). Визначено оптимальні концентрації водних розчинів гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння цих рослин. Показано залежності початкових ростових параметрів енергетичних культур від концентрацій розчинів гуматів 0,1–0,4 г/л.

Встановлено, що *M. officinalis*, *S. Saccharatum*, *A. sativa*, *P. virgatum*, *C. sativa* та *S. cereale* за впливу фульвіталу на нафтозабрудненому ґрунті проявляють видоспецифічні властивості. Фульвітал Плюс за концентрації 0,1–0,4 г/л переважно не покращує ростові показники рослин, винятком є *Avena sativa*, у якого спостерігали незначне збільшення висоти пагона за концентрації фульвіталу 0,4 г/л.

Гуміфілд Форте за концентрації 0,1–0,2 г/л стимулює ріст пагонів *A. sativa* та *P. virgatum* в умовах нафтозабрудненого ґрунту, але зменшує ріст коріння цих рослин. Неоднозначну реакцію спостерігали і для *Sorghum saccharatum*. Найкращі результати досягнуті за використання Гуміфілду Форте в концентраціях 0,1–0,2 г/л для передпосівної обробки насіння *M. officinalis* та *S. cereale*.

Така передпосівна обробка Гуміфілдом Форте в кількості 0,1–0,2 г/л є оптимальною для підвищення стресостійкості й урожайності *Melilotus officinalis* і *Secale cereale* за комплексного підходу фітореємедіації нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

Ключові слова: нафтозабруднені ґрунти, енергетичні рослини, гумати (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс).

ВСТУП

В Україні в екологічному масштабі існують дві основні проблеми: постійне збільшення площ забруднених земель і пошук альтернативних джерел енергії. У цьому напрямі перспективними є дослідження фітотерапії ґрунту за використання енергетичних культур. Створення комплексної методології відновлення земель України, порушених унаслідок воєнних дій і забруднених паливно-мастильними матеріалами, нафтопродуктами, та розроблення технологій відновлення ґрунтів за участі енергетичних культур є актуальним завданням сьогодення [1; 9].

Однак успішне проведення фітореємедіації нафтозабруднених ґрунтів є непростим завданням через гідрофобність і високу токсичність нафти, значне порушення водоповітряного балансу та співвідношення основних мікроелементів Карбону та Нітрогену у ґрунті, що робить неможливим зростання більшості рослин [2; 11]. Перспективним у цьому плані є використання у фітореємедіаційних технологіях різноманітних агентів реємедіації, зокрема гуматів, для підвищення адаптаційних властивостей рослин [3–8; 11].

Гумінові добрива природного походження здатні підвищувати стійкість рослин до різних несприятливих чинників зовнішнього середовища [8; 11] (заморозки, засухи, дії пестицидів), відновлювати родючість ґрунту, підвищувати врожайність культур, покращувати харчову цінність продукції та її екологічну чистоту [5], знижувати витрати на отримання врожаю, підвищуючи рентабельність сільськогосподарського виробництва [4; 7; 11].

Вплив гуматів на рослини має складний багатоступінчастий характер і охоплює весь період вегетації рослин. З гуміновими речовинами (азотовмісні високомолекулярні оксикарбонові кислоти) у рослину надходять елементи мінерального живлення: Нітроген, Фосфор, Калій, Кальцій, Сульфур, багато мікроелементів, а також амінокислоти та вітаміни. Відомо, що гумінові препарати стимулюють ріст і розвиток рослин і покращують якість рослинної продукції завдяки збільшенню вмісту хлорофілу, продуктивності фотосинтезу та транспірації, підвищенню синтезу білків і вуглеводів [6–8; 11].

Гуміфілд і фульвітал є поліфункціональними препаратами з біозахисними властивостями, що забезпечують активний ріст і розвиток культури, формування високого та якісного врожаю, підвищують стресостійкість рослин до несприятливих умов довкілля [8; 11].

Використання гуматів у фітореємедіаційних технологіях забруднених ґрунтів є перспективним для підвищення адаптаційних властивостей рослин, отже, показників ефективності реємедіації.

Актуальним для дослідження залишається практично не вивчене питання впливу гуматів на ефективність вирощування енергетичних культур на нафтозабруднених ґрунтах. Саме тому метою роботи було встановлення оптимальної концентрації

розчинів гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння енергетичних рослин для підвищення їхньої стресостійкості й урожайності з подальшим використанням у комплексному підході фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Важливим етапом у розробці фітореMediaційних технологій є підбір найбільш придатних рослин. Проаналізовано енергетичні культури, стійкі до різних видів забруднення, які можуть бути використані для виробництва як рідкого, так і твердого біопалива [9]. Серед досліджених культур – буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), ріжій посівний (*Camelina sativa*), сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.), овес посівний (*Avena sativa* L.), просо лозоподібне (switchgrass (*Panicum virgatum* L.)), жито посівне (*Secale cereale*).

Установлювали оптимальні концентрації гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння цих енергетичних рослин. Перед висіванням у ґрунт насіння замочували у водних розчинах гуматів за концентрації 0,1; 0,2; 0,4 г/л протягом 24 годин. Дослідження проводили як на умовно чистому ґрунті (контроль), так і на забрудненому 5% нафти. У дослідах використовували нафту Бориславського родовища, густиною 0,86 г/мл.

У лабораторних умовах вивчали залежність початкових ростових параметрів енергетичних рослин від концентрацій розчинів гуматів. Проби ґрунту поміщали в чашки Петрі в кількості 20 г і зволожували водою (до вологості 33,3%). Насіння рослин, попередньо оброблене гуматами, розкладали в чашки Петрі та ставили в термостат за температури +24 °С для пророщування. Через 3 доби визначали схожість насіння, а через 5 діб – морфометричні показники проростків енергетичних культур (довжину коренів і висоту пагонів).

Серії дослідів проводили не менше ніж у трикратній повторності, за кількості об'єктів вимірювання не менше ніж 60 для кожної концентрації. Статистичну обробку даних здійснено за критерієм Стьюдента з достовірністю $\geq 0,95$ ($P < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТИ

Безпосередній вплив нафти на рослинний покрив проявляється в тому, що сповільнюється ріст рослин, порушуються функції фотосинтезу та дихання, з'являються різні морфологічні зміни, страждають коренева система, листки, стебла та репродуктивні органи [9].

Шкідливий екологічний вплив смолянисто-асфальтенових компонентів на ґрунтові екосистеми зумовлений не стільки хімічною токсичністю, скільки порушенням водно-повітряного балансу, зменшенням вологості ґрунту, блокуванням доступності мінеральних речовин унаслідок гідрофобізації поверхні ґрунтових частинок важкими фракціями вуглеводнів, пригнічення біологічних процесів. Якщо нафта просочується згори, її смолянисто-асфальтенові компоненти сорбуються у верхньому гумусовому горизонті, міцно цементують його [10–12]. Зрозуміло, що за таких умов зростання більшості рослин є утрудненим. Одним із шляхів покращення адаптаційних властивостей фітореMediaнтів є використання гумінових добрив природного походження, які позитивно впливають на ріст і розвиток рослин.

Ми апробували водні розчини Фульвіталу Плюс і Гуміфілду Форте за концентрації 0,1; 0,2; 0,4 г/л для передпосівної обробки насіння фіторемедіантів – *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Camelina sativa*, *Sorghum saccharatum* (L.) Pers., *Avena sativa* L., switchgrass (*Panicum virgatum* L.), *Secale cereale*.

З'ясовано, що за вирощування *Melilotus officinalis* на незабрудненому ґрунті фульвітал стимулює ріст кореня на 40% та висоту пагона на 16% за концентрації 0,1 г/л (рис. 1).

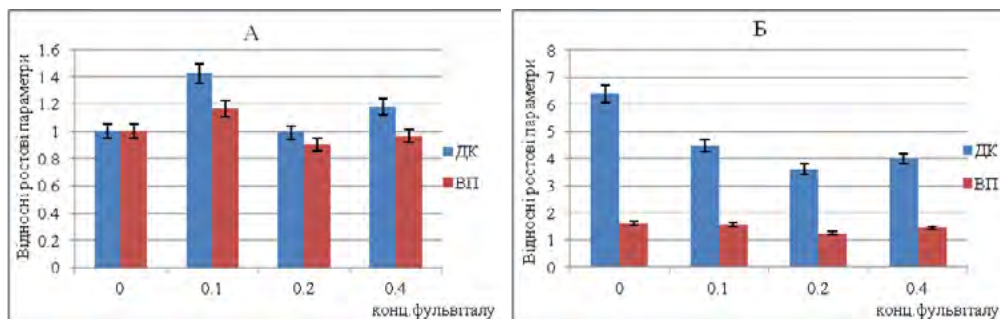


Рис. 1. Вплив фульвіталу на ростові показники *Melilotus officinalis* L., %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

За концентрації фульвіталу 0,4 г/л відбувається збільшення довжини кореня на 17%, але зменшення висоти пагона на 5%. За концентрації 0,2 г/л спостерігається зменшення висоти пагона на 10%, а довжина кореня залишається на рівні з контролем.

Водночас за вирощування буркуну на нафтозабрудненому ґрунті за концентрації фульвіталу 0,2–0,4 г/л не відбувається стимуляції росту рослини, навпаки, спостерігається зменшення ростових параметрів як кореня, так і пагона (рис. 1-Б).

Подібну тенденцію спостерігали і для сорго цукрового (рис. 2-Б): за концентрації фульвіталу 0,2–0,4 г/л не відбувається стимуляції росту кореня та пагона на нафтозабрудненому ґрунті.

Під час вирощування *Sorghum saccharatum* на умовно чистому ґрунті фульвітал за концентрації 0,4 г/л стимулював ріст кореня на 240%, а висоту пагона на 350%. За концентрації гумату 0,1–0,2 г/л його дія була практично не помітною (рис. 2-А).

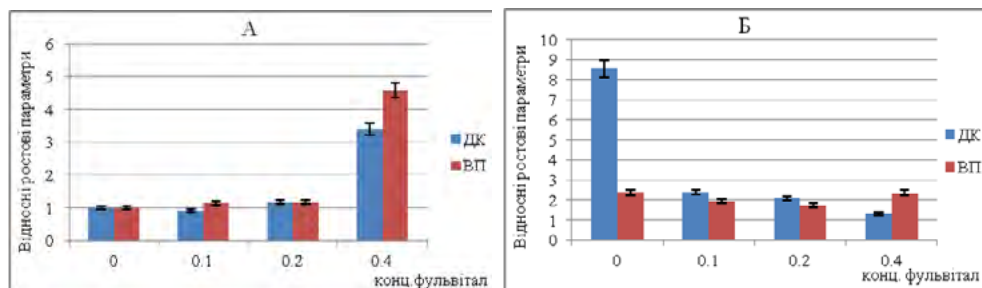


Рис. 2. Вплив фульвіталу на ростові показники *Sorghum saccharatum*, %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

Виявлено, що для *Avena sativa* в незабрудненому ґрунті фульвітал за концентрації 0,4 г/л стимулював ріст кореня на 18% та висоту пагона на 2%. За концентрації фульвіталу 0,1–0,2 г/л спостерігали зменшення ростових параметрів як кореня, так і пагона. У разі пророщування вівса посівного на нафтозабрудненому ґрунті за впливу фульвіталу 0,4 г/л відносна висота пагона дещо збільшувалася (на 4%), тоді як довжина кореня зменшувалась. Тобто застосування фульвіталу не дало позитивного ефекту під час пророщування вівса посівного на нафтозабрудненому ґрунті (рис. 3).

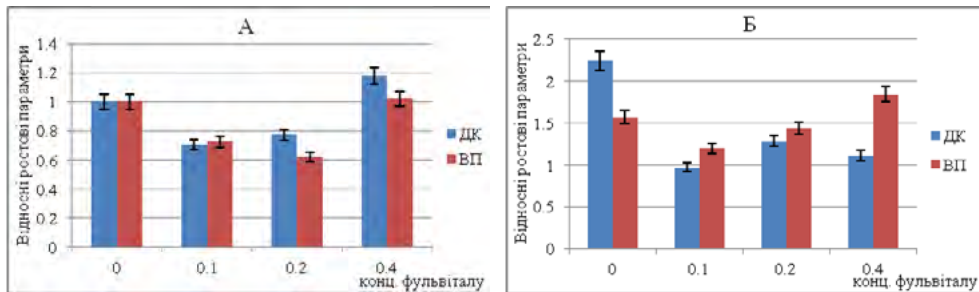


Рис. 3. Вплив фульвіталу на ростові показники *Avena sativa*, %
 А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

Показано, що за вирощування рижію посівного в незабрудненому ґрунті за концентрації фульвіталу 0,1–0,4 г/л висота пагона в усіх варіантах була на рівні з контролем, а довжина кореня знижувалась (рис. 4). Під час вирощування фіторемедіанта на нафтозабрудненому ґрунті рижій не проростав, а застосування фульвіталу не стимулювало ріст рослин.

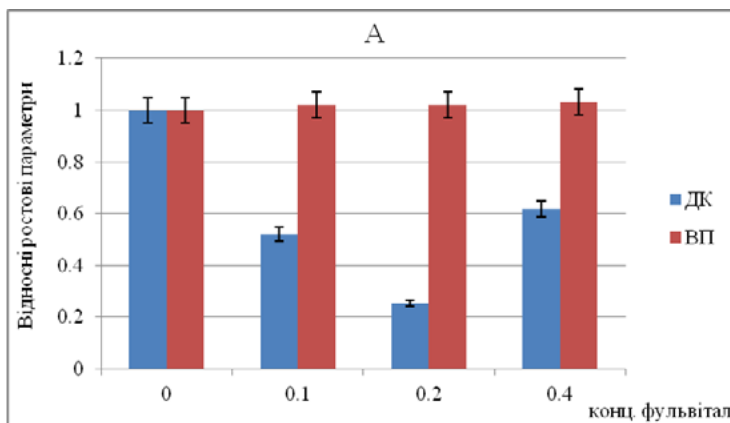


Рис. 4. Вплив фульвіталу на ростові показники *Camelina sativa*
 за умов росту на незабрудненому ґрунті (контроль)

Отже, досліджувані фіторемедіанти *Melilotus officinalis*, *Sorghum saccharatum*, *Avena sativa*, *Panicum virgatum*, *Camelina sativa* за впливу фульвіталу на нафтозабрудненому ґрунті проявляють видоспецифічні властивості. На нафтозабрудненому ґрунті за

впливу фульвіталу концентрації 0,1–0,4 г/л ростові показники цих рослин переважно не змінювались, за винятком вівса посівного, де спостерігали незначне збільшення висоти пагона за концентрації фульвіталу 0,4 г/л.

Аналогічні дослідження проведено з Гуміфілдом Форте. На умовно чистому ґрунті за впливу Гуміфілду Форте 0,1 г/л (передпосівна обробка насіння) у буркуну лікарського спостерігали збільшення довжини кореня на 50% та зменшення висоти пагона на 50% (рис. 5-А). За концентрації гумату 0,2 г/л довжина кореня збільшувалась на 22%, а висота пагона зменшувалась на 18%. За концентрації Гуміфілду Форте 0,4 г/л відбувалося зменшення ростових параметрів як кореня, так і пагона.

Під час вирощування фіторемедіанту на нафтозабрудненому ґрунті гуміфілд у концентраціях 0,1, 0,2 та 0,4 г/л стимулював висоту пагона буркуну на 85, 96 і 69% відповідно, а довжина кореня за концентрації гумату 0,1 г/л залишається на рівні з контролем. За концентрації 0,2 та 0,4 г/л гуміфілду довжина кореня буркуну зменшувалась (рис. 5-Б).

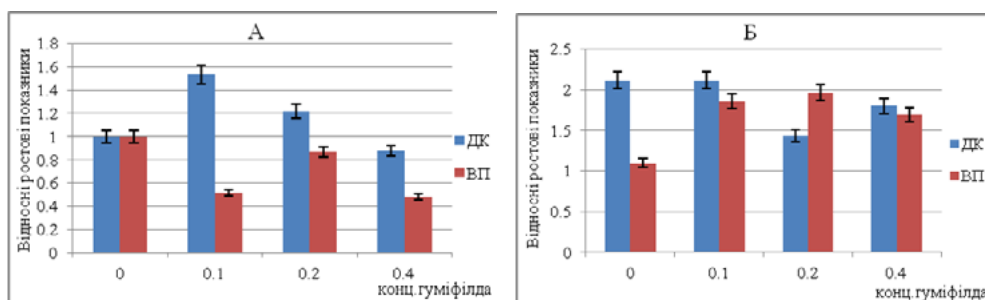


Рис. 5. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Melilotus officinalis*, %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

Отже, найкращі ростові показники в буркуну лікарського досягаються в разі використання Гуміфілду Форте в концентрації 0,1–0,2 г/л для передпосівної обробки насіння.

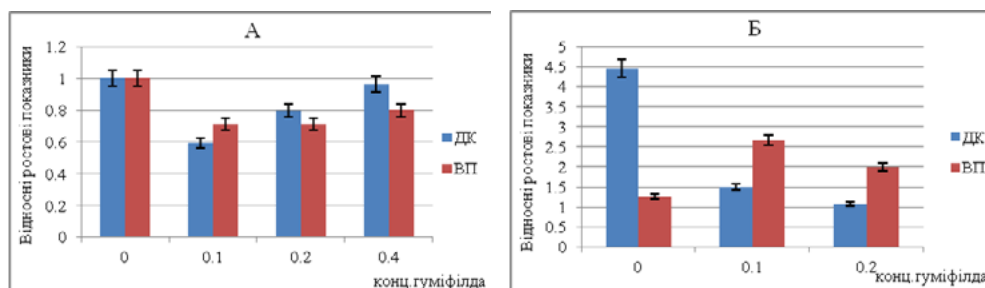


Рис. 6. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Panicum virgatum*, %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

На нафтозабрудненому ґрунті довжина кореня проса лозоподібного (*Panicum virgatum* L.) за концентрації Гуміфілду Форте 0,1 та 0,2 г/л зменшилась відповідно на 296 і 339% (рис. 6-Б). Висота ж пагона була більшою на 140 і 74% відповідно (рис. 6-Б). За концентрації 0,4 г/л просо лозоподібне не проросло.

На умовно чистому ґрунті (рис. 6-А) за концентрації Гуміфілду Форте 0,1, 0,2 і 0,4 г/л довжина кореня проса зменшилась на 41, 21 і 4% відповідно; зменшилась також висота пагона на 29, 29 і 20% відповідно.

Отже, використання Гуміфілду Форте для передпосівної обробки насіння проса лозоподібного не дало бажаного ефекту.

Під час вирощування сорго цукрового в незабрудненому ґрунті за впливу Гуміфілду Форте спостерігали стимулювання росту кореня за концентрації 0,1 та 0,4 г/л на 23 та 48%, але водночас знижувалась висота пагона на 27 і 2%. У разі концентрації 0,2 г/л ростові параметри рослин зменшувались.

Під час вирощування сорго на нафтозабрудненому ґрунті за впливу гуміфілду спостерігали стимулювання росту кореня за концентрації 0,4 г/л на 123%, але висота пагона знижувалась на 121%. За концентрацій 0,1 і 0,2 г/л також спостерігали зниження ростових параметрів сорго цукрового.

Отже, за високої концентрації (0,4 г/л) Гуміфілд Форте виявляє стимулюючу дію на ріст кореня сорго цукрового (рис. 7-А, 7-Б).

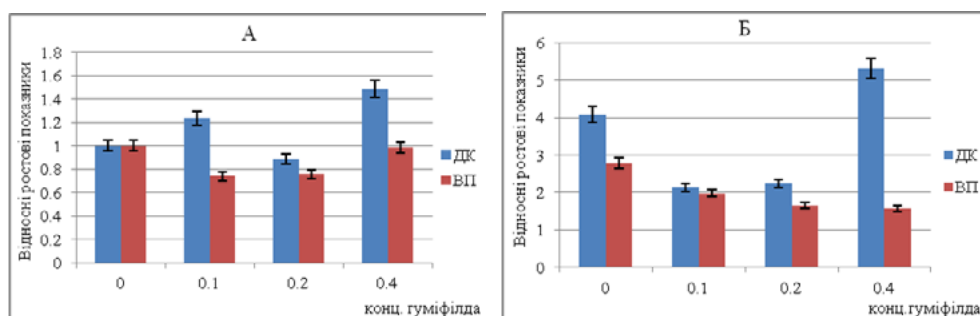


Рис. 7. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Sorghum saccharum*, %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

Установлено, що під час вирощування вівса посівного (*Avena sativa* L.) у незабрудненому ґрунті гуміфілд стимулює ріст кореня за концентрації 0,2 та 0,4 г/л на 24%, але знижує висоту пагона на 12 і 34% відповідно. За концентрації Гуміфілду Форте 0,1 г/л відбувається зменшення ростових параметрів як кореня (на 5%), так і пагона (на 33%).

У разі вирощування *Avena sativa* L. на нафтозабрудненому ґрунті за концентрації Гуміфілду Форте 0,1, 0,2, 0,4 г/л відбулося збільшення висоти пагона на 46, 15 і 117% відповідно (рис. 8-Б). Водночас довжина кореня вівса посівного за концентрації гуміфілду 0,1–0,4 г/л зменшувалась.

Отже, Гуміфілд Форте стимулює ріст пагонів вівса посівного в разі зростання рослин в нафтозабрудненому ґрунті, але дещо зменшує ріст їхнього коріння.

Виявлено, що в разі вирощування жита посівного в незабрудненому ґрунті гуміфілд у концентраціях 0,1, 0,2, 0,4 г/л стимулює ріст кореня на 6, 10 і 9% і незначно зменшує ріст пагона (на 20, 6 і 12% відповідно) (рис. 9-А). У нафтозабрудненому ґрунті найвищі показники зростання кореня та пагона жита досягались у разі концентрації 0,1 г/л (рис. 9-Б). За концентрації ж 0,4 г/л спостерігали збільшення довжини кореня жита на 12%, але зниження висоти пагона на 17%. За концентрації Гуміфілду Форте 0,2 г/л ростові показники жита найнижчі.

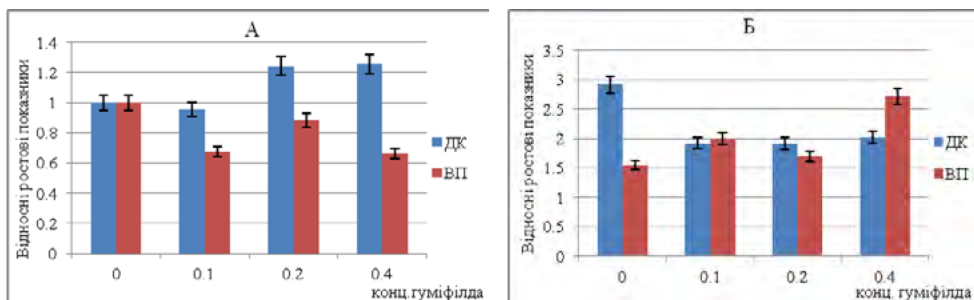


Рис. 8. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Avena sativa* L., %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

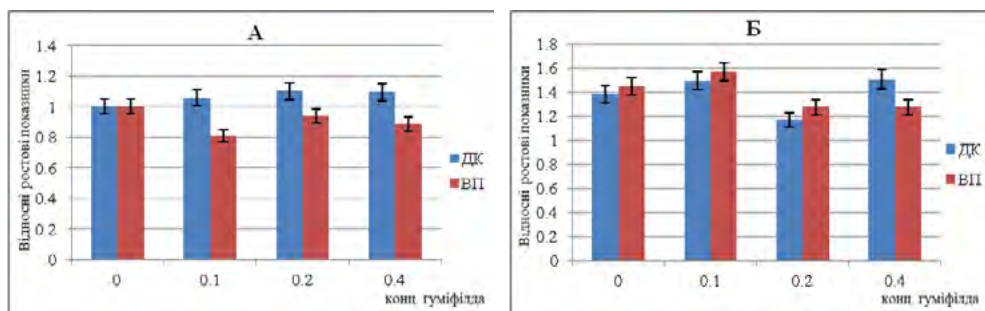


Рис. 9. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Secale cereale*, %.
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

Отже, у нафтозабрудненому ґрунті найкращі ростові показники для жита посівного досягаються за концентрації Гуміфілду Форте 0,1 г/л.

ВИСНОВКИ

Установлено ефективність використання гуматів для передпосівної обробки насіння енергетичних рослин для підвищення їхньої стійкості. З досліджених гуматів (Фульвітал Плюс, Гуміфілд Форте) найкращі результати досягнуто за використання Гуміфілду Форте в концентраціях 0,1–0,2 г/л для передпосівної обробки насіння буркуну лікарського та жита посівного.

Передпосівна обробка насіння Гуміфілдом Форте в кількості 0,1–0,2 г/л може бути використана для підвищення стресостійкості й урожайності *Melilotus officinalis* (L.) Pall. і *Secale cereale* в комплексному підході під час фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фіторе mediaційні аспекти використання енергетичних культур в умовах України / М.І. Кулик та ін. *Agrology*. 2019. С. 65–73.
2. Шевчик Л.З., Романюк О.І. Використання обліпихи крушиновидної для фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 2016. Vol. 6 (3). Р. 472–480.

3. Improving the efficiency of phytoremediation technologies of oil-contaminated soils with the participation of natural sorbents-meliorants / L. Shevchyk-Kostiuk et al. *Scientific Horizons*. 2020. № 23 (10). P. 7–16. [https://doi.org/10.48077/scihor.23\(10\).2020.7-16](https://doi.org/10.48077/scihor.23(10).2020.7-16)
4. Сергієнко В. Рістрегулюючий та захисний ефект гумінових речовин. *Агробізнес сьогодні*. 2001. № 7. С. 26–29.
5. Кубишина Н.С. Формування товарного асортименту підприємства на прикладі компанії «Українські гумати». *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2018. № 15. С. 392–401.
6. Використання гумінових речовин для відновлення ґрунтів у гірничодобувних регіонах / А.І. Горова та ін. *Відновлення біотичного потенціалу агроєкосистем* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпропетровськ : Арбуз, 2015. С. 50–51.
7. Степанюк О. Гумати – погляд сучасності. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 12. С. 24–26.
8. Козаренко Д.О. Застосування гуматів – перспективний метод зменшення хімічного навантаження на агроценози. *Карантин і захист рослин*. 2013. № 8. С. 14–16.
9. ФітореMediaція техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур / І.Ю. Борецька та ін. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>.
10. Джура Н.М., Подан І.Ю. Екологічні наслідки довготривалого нафтовидобутку на Старосамбірському родовищі. *Вісник Львівського університету. Серія «Біологія»*. 2017. Вип. 76. С. 120–127.
11. Подан І.І., Джура Н.М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*. 2019. № 2 (25). С. 182–186.
12. Подан І.І., Джура Н.М. Діагностика і фітореMediaція нафтозабруднених природних і штучних наземних екосистем Старосамбірського нафтового родовища. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences* : Collective monograph. Riga : Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. P. 2. С. 541–556.

REFERENCES

1. Kulyk, M., Halytska, M., Samoilik, M., Zhornyk, I. (2019). Phytoremediation aspects of the use of energy crops in the conditions of Ukraine. *Agrology*. 65–73 [in Ukrainian].
2. Shevchyk, L., Romanyuk, O. (2016). Use of sea buckthorn for phytoremediation of oil-contaminated soils. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 6 (3). 472–480 [in Ukrainian].
3. Shevchyk-Kostiuk, L., Romaniuk, O., Banya, A. (2020). Improving the efficiency of phytoremediation technologies of oil-contaminated soils with the participation of natural sorbents-meliorants. *Scientific Horizons*, 23 (10), 7–16. [https://doi.org/10.48077/scihor.23\(10\).2020.7-16](https://doi.org/10.48077/scihor.23(10).2020.7-16)
4. Sergienko, V. (2001). Restorative and protective effect of humic substances. *Agribusiness today*, № 7. 26–29 [in Ukrainian].
5. Kubyshina, N. (2018). Formation of the product range of the enterprise on the example of the company “Ukrainian gumats”. *Economic Bulletin of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*, № 15. 392–401 [in Ukrainian].
6. Horova, A., Pavlychenko, A., Vysochyn, L. (2015). Use of humic substances for soil restoration in mining regions. *Restoration of the biotic potential of agroecosystems: materials of the II International science and practice conf. Dnipropetrovsk*: 50–51 [in Ukrainian].
7. Stepaniuk, O. (2012). Humaty – a view of modernity. *Agribusiness today*, № 12. 24–26 [in Ukrainian].
8. Kozarenko, D. (2013). The use of humates is a promising method of reducing the chemical load on agrocenoses. *Karantyn i zakhyst roslyn*, № 8. 14–16 [in Ukrainian].

9. Boretska, I., Dzhura, N., Romaniuk, O. (2021). Phytoremediation of technologically polluted soils using energy crops. *Environmental sciences*, № 6 (39). 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11> [in Ukrainian].
10. Dzhura, N., Podan, I. (2017). Environmental consequences of long-term oil production in the Starosambir field. *Visnyk Lvivskoho Universytetu. Ser. biological*, 76. 120–127 [in Ukrainian].
11. Podan, I., Dzhura, N. (2019). The effect of oil pollution and humates on the growth of miscanthus plants. *Environmental sciences*, № 2 (25). 182–186 [in Ukrainian].
12. Podan, I., Dzhura, N. (2020). Diagnostics and phytoremediation of oil-contaminated natural and artificial terrestrial ecosystems of the Starosambir oil field. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences* : Collective monograph. Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2. 541–556 [in Ukrainian].

ABSTRACT

USE OF HUMATES TO INCREASE THE RESISTENCE OF ENERGY CROPS GROWN IN OIL-CONTAMINATED SOILS

In times of war, studying the phytoremediation of soil with the help of energy crops is of great importance. In this regard, one of the most promising remediation agents is humates that can effectively improve the adaptive properties of plants.

The research aim was to establish optimal concentrations of humate solutions (Humifield Forte and Fulvital Plus) for pre-sowing treatment of energy plant seeds to increase their stress resistance and crop capacity, with the aim of using them further in an integrated approach of phytoremediation of oil-contaminated soils with the production of energy biomass.

Energy crops that are resistant to oil pollution and suitable to produce both liquid and solid biofuels were selected. The studied crops include: *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Camelina sativa*, *Sorghum saccharatum* (L.) Pers., *Avena sativa* L., *Panicum virgatum* L.), *Secale cereale*. Optimal concentrations of aqueous solutions of humates (Humifield Forte and Fulvital Plus) for pre-sowing treatment of seeds of these plants were determined. The correlation between initial growth parameters of energy crops and the concentrations of humate solutions of 0,1–0,4 g/l was observed.

It was established that *M. officinalis*, *S. Saccharatum*, *A. sativa*, *P. virgatum*, *C. sativa* and *S. cereale* when exposed to Fulvital in oil-contaminated soil, exhibit species-specific properties. Fulvital Plus in a concentration of 0,1–0,4 g/l mainly does not improve the growth indicators of plants. The exception is *Avena sativa* for which a slight increase in shoot height was observed in a Fulvital concentration of 0,4 g/l.

Humifield Forte in a concentration of 0,1–0,2 g/l stimulates the shoot growth of *A. sativa* and *P. virgatum* in conditions of oil-contaminated soil but reduces the root growth of these plants. A mixed reaction was also observed for *Sorghum saccharatum*. The best results were achieved when using Humifield Forte in concentrations of 0,1–0,2 g/l for pre-sowing seed treatment of *M. officinalis* and *S. cereale*.

Such pre-sowing treatment with Humifield Forte in the concentration of 0,1–0,2 g/l is optimal for increasing stress resistance and crop capacity of *Melilotus officinalis* and *Secale cereale* using an integrated approach of phytoremediation of oil-contaminated soils with obtaining energy biomass.

Key words: oil-contaminated soils, energy plants, humates (Humifield Forte and Fulvital Plus).