

Н.М. ДЖУРА, О.М. ЦВІЛИНЮК, О.І. ТЕРЕК

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів, 79005, Україна
biofr@franko.lviv.ua, Gjurana@ukr.net

ВПЛИВ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ВМІСТ МАКРО- ТА МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИНАХ *CAREX HIRTA* L.

Ключові слова: макроелементи, мікроелементи, нафтове забруднення, *Carex hirta*, фізіолого-біохімічні ознаки, стійкість

Вступ

Розвиток нафтової і нафтопереробної галузей промисловості породжує дедалі більше проблем, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища [21, 23, 24]. Бориславське нафтове родовище (БНР), що у Львівській обл. України, — один з найдавніших нафтопромислових центрів світу. Тривалий нафтовидобуток негативно вплинув на всі компоненти екосистем БНР: атмосферне повітря, ґрунт, водні ресурси, рослинний світ тощо. На сьогодні оцінено антропогенні зміни рослинного покриву на території м. Борислава та його околиць. Встановлено видовий склад рослин, стійких до нафтового забруднення, що може бути основою біологічної рекультивациі цих територій. З'ясовано, що довгокореневищні види відзначаються найбільшою стійкістю до несприятливих умов нафтозабруднених екоотопів [6, 21, 22]. Один з таких видів, *Carex hirta* L., — піонер на ґрунтах БНР, є об'єктом наших досліджень.

Для нормальної життєдіяльності рослин необхідний цілий комплекс елементів мінерального живлення, які поглинаються кореневою системою з ґрунту [14, 16, 19]. Збалансованість хімічного складу живих організмів — основна умова їх нормального росту і розвитку [3, 7]. В разі нестачі одних і надлишку інших елементів можливі різні комбінації, які впливають на продуктивність і стійкість рослин. Забезпечення рослин макро- і мікроелементами залежить від їх концентрації у живильному середовищі та впливу факторів навколишнього середовища [2, 19].

Ми досліджували морфо-фізіологічні шляхи адаптації стійкого виду *C. hirta* до нафтового забруднення [4, 5]. Водночас ще не вивченим залишається елементний склад піонерних рослин за дії цього виду забруднення, що може слугувати діагностичним критерієм придатності забруднених територій для біологічної рекультивациі [9].

Згідно з вищенаведеним метою наших досліджень було встановити вміст макро- та мікроелементів у рослинах *C. hirta* для подальшого прогнозування особливостей хімічного складу рослинної маси у процесі біологічної рекультивациі нафтозабруднених ґрунтів.

Методика досліджень

У природних умовах Ботанічного саду Львівського національного університету імені Івана Франка закладено модельні досліді за такою схемою: у посудини з ґрунтом вносили нафту густиною 0,96 г/мл у концентраціях 50 мл нафти на 1 кг ґрунту, що відповідає 48 г/кг, і 100 мл нафти на 1 кг ґрунту — 96 г/кг ґрунту. Через три тижні після внесення нафти у ґрунт (необхідний термін для вивітрювання летких нафтопродуктів) висаджували вегетативні особини *C. hirta* з висотою пагонів $62,5 \pm 1,8$ см. Ґрунт і рослини для досліджень брали з екологічно чистої території м. Борислава. Після двох місяців росту *C. hirta* аналізували ґрунт і вирощені на ньому рослини. У ґрунті визначали вміст фосфору, калію і магнію, у рослинному матеріалі — фосфору, калію, магнію, натрію, заліза, цинку, марганцю, міді.

Макроелементний склад встановлювали після мокрого озолення сухого рослинного матеріалу за загальноприйнятими методиками [1, 18, 25] з наступним визначенням фосфору — за методом Егнера у модифікації Ріхма колориметрично за калібрувальним графіком, калію і натрію — за інтенсивністю забарвлення полум'я у полум'яному фотоколориметрі «AAS 3» при довжині хвилі 766,5 нм, магнію — фотоколориметрично при довжині хвилі 548 нм на приладі «Marcel media elektrofotometer». Мікроелементи визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С-115 у полум'ї суміші ацетилен—повітря [25].

Результати досліджень та їх обговорення

Ми встановили значний вплив нафтового забруднення на вміст основних макроелементів у ґрунті і вирощених на ньому рослинах. Отримані результати представлено на рисунках 1, 2. Дані рис. 1 засвідчують, що у ґрунті за дії нафти 48 г/кг (варіант 2) збільшується вміст фосфору на 9 %, калію — на 20 %, магнію — на 8 % щодо контролю. Забруднення ґрунту 96 г/кг (варіант 3) спричинює зменшення вмісту фосфору на 13 %, калію і магнію — на 11 % відносно контролю.

В рослинному організмі фосфор відіграє важливу роль в обміні жирів, вуглеводів, білків, у процесах дихання і фотосинтезу. В разі його нестачі призупиняється ріст клітин і тканин, затримується перехід до репродуктивної фази розвитку рослин [11, 15]. Ми виявили, що при забрудненні ґрунту 48 г/кг (рис. 2) вміст фосфору зменшується у кореневищах рослин на 23 %, тоді як у пагонах залишається на рівні контролю. При забрудненні ґрунту 96 г/кг вміст фосфору зменшується як у кореневищах (на 34,5 %), так і у пагонах (на 29 %) відносно контролю.

Відомо, що вміст калію у клітинах рослин у 100—1000 разів перевищує його рівень у навколишньому середовищі. Найбільше калію містять тканини з інтенсивним обміном речовин (меристема, камбій, молоді листки, пагони, бруньки) [11, 14, 16]. Встановлено, що за дії нафтового забруднення ґрунту 48 г/кг вміст калію зростає як у ґрунті — на 20 % (рис. 1, варіант 2),

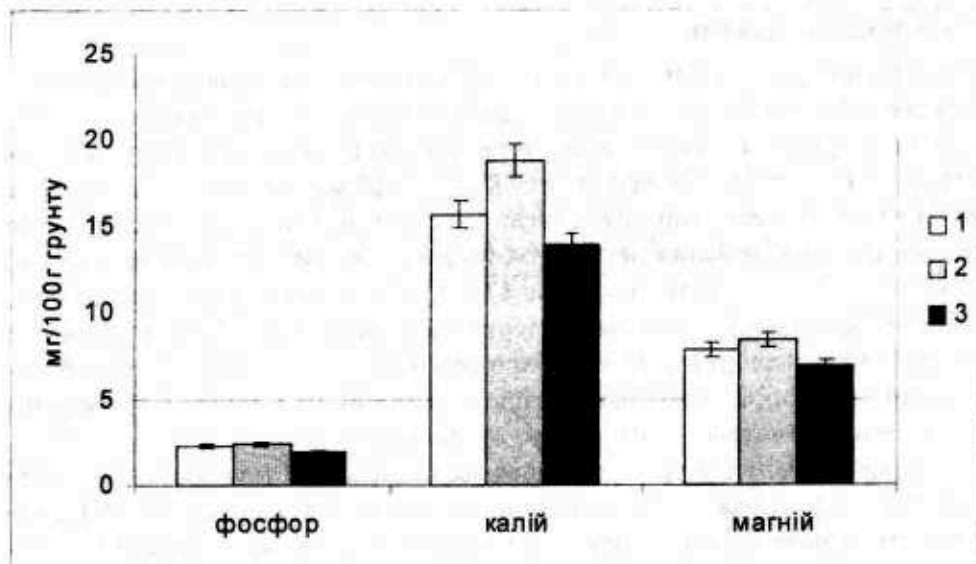


Рис. 1. Вміст фосфору, калію і магнію у ґрунті, на якому росли особини *Carex hirta* L., за дії нафтового забруднення (тут і на рисунках 2–6): 1 – контроль (ґрунт без нафти); 2 – ґрунт з нафтою (48 г/кг); 3 – ґрунт з нафтою (96 г/кг)

Fig. 1. Table of content of phosphorus, potassium and magnesium in oil polluted soils planted with *Carex hirta* L. (mg/100 g soils) (here and on the figures 2–6): 1 – soil with plant without oil; 2 – soil with oil (48 g/kg) without plants; 3 – soil with oil (96 g/kg) without plants

так і у кореневищах – на 17 % і пагонах рослин – на 18 % (рис. 2) щодо контролю. За забруднення ґрунту 96 г/кг зменшується вміст калію у кореневищах на 16,3 %, у пагонах – на 24 % відносно контролю. Стресові чинники (в даному разі – нафтове забруднення) збільшують проникність мембран клітин коренів, іони калію інтенсивно виходять у навколишнє середовище, що є своєрідною неспецифічною стресовою реакцією рослин [7, 8].

У рослині магній виконує багато важливих функцій і необхідний у порівняно великій кількості. Особлива роль належить магнію у складі хлорофілу: там міститься 15–20 % від його загальної кількості [14]. Ми виявили, що вміст магнію у дослідних рослинах за дії нафтового забруднення суттєво знижується (рис. 2). Так, у варіанті 2 його концентрація у кореневищах рослин зменшується на 17 %, у пагонах – на 45 %. У варіанті 3 спостерігається зниження вмісту магнію у кореневищах на 34 %, у пагонах – на 58 % відносно контролю. Зменшення вмісту магнію у рослинах за дії нафтового забруднення призводить до зниження вмісту хлорофілів *a* і *b*, що ми і встановили у попередніх дослідженнях [4]. Таким чином, доведено взаємозв'язок між дефіцитом магнію і вмістом хлорофілів у *C. hirta*. Процес надходження магнію у рослини залежить від ступеня їх забезпечення іншими катіонами. Так, за високого вмісту калію у ґрунті і рослинах рівень магнію, особливо у вегетативних частинах рослин, знижується [14, 16], що й підтверджують наші ре-

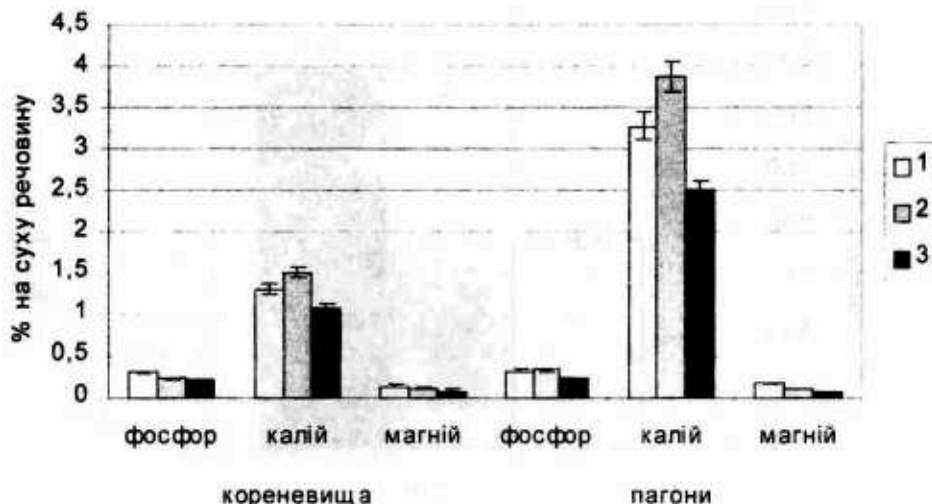


Рис. 2. Вміст фосфору, калію і магнію у двомісячних рослинах *C. hirta* за дії нафтового забруднення ґрунту

Fig.2. Table of content of phosphorus, potassium and magnesium in two-month old *C. hirta* plants under oil pollution of soil, % dry matter

зультати. Отже, в даному випадку спостерігається фізіологічний антагонізм іонів калію і магнію.

Відомо, що до складу нафти у великих кількостях входить натрій. Фітотоксичність ґрунтів спостерігається в разі забруднення їх сировою нафтою з великим вмістом високомінеральних попутних вод. Останні містять високі концентрації солей натрію, які, потрапляючи у ґрунт, можуть накопичуватися, досягаючи токсичних для рослин концентрацій [10, 13].

Наші дослідження засвідчили (рис. 3), що за дії нафтового забруднення вміст натрію у ґрунті зростає майже удвічі. Це суттєво впливає на накопичення натрію рослинами. З даних рис. 4 видно зростання концентрації натрію як у кореневищах, так і у пагонах рослин, однак більшою мірою його накопичують кореневища (у 5 разів), ніж пагони (утричі).

Натрій надходить у клітини рослин пасивно за градієнтом концентрації, що зумовлюється зростанням проникності мембран. Адже стресові чинники (в даному разі — нафтове забруднення) призводять до утворення активних форм кисню, що спричинює часткову дезінтеграцію мембран і збільшення їх проникності [4]. Зазначимо, що транспорт іонів натрію у надземну частину рослини обмежують пояски Каспарі. Досягнувши певної концентрації у клітинах кореня, відбувається викид натрію через плазмалему [11]. Наші дані свідчать про те, що вміст натрію зростає не тільки в кореневищах, а й у пагонах. Інколи $2/3$ необхідного рослинам калію може бути без видимих

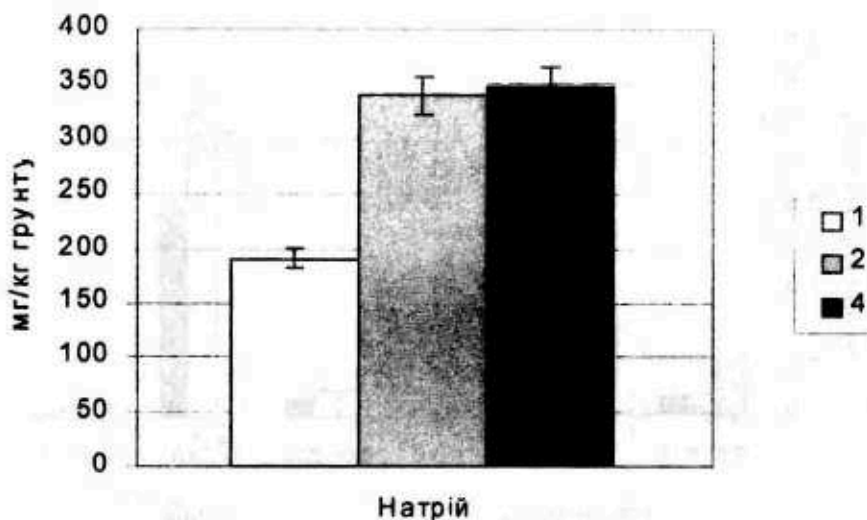


Рис. 3. Вміст натрію у ґрунті, на якому росли особини *C. hirta*, за впливу нафтового забруднення

Fig. 3. Table of content of sodium in oil polluted soils planted with *C. hirta* (mg/kg soils)

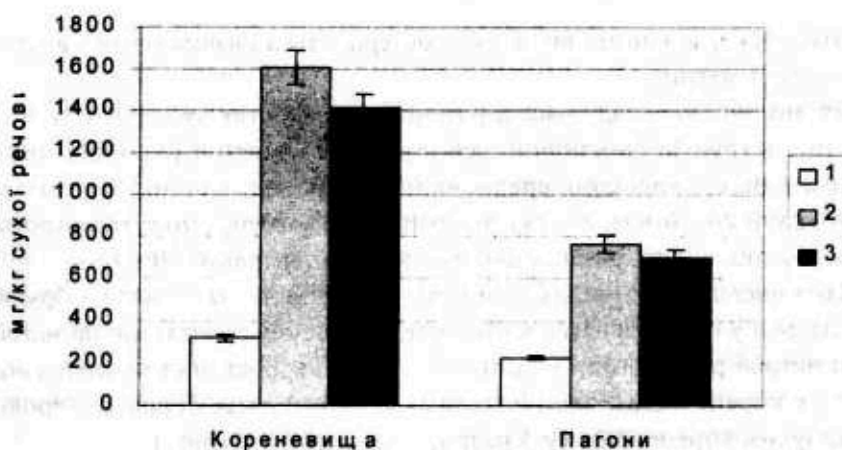


Рис. 4. Вміст натрію у двомісячних рослинах *Carex hirta* за дії нафтового забруднення ґрунту

Fig. 4. Table of content of sodium in two-month old *Carex hirta* plants under oil pollution of soil, mg/kg dry weight

порушень замінено натрієм. Ступінь такої заміни є різним і залежить від виду рослини [11, 14]. Можливо, зростання вмісту натрію у *C. hirta* в умовах нафтового забруднення — це своєрідна специфічна реакція рослин на стрес, що потребує подальших досліджень.

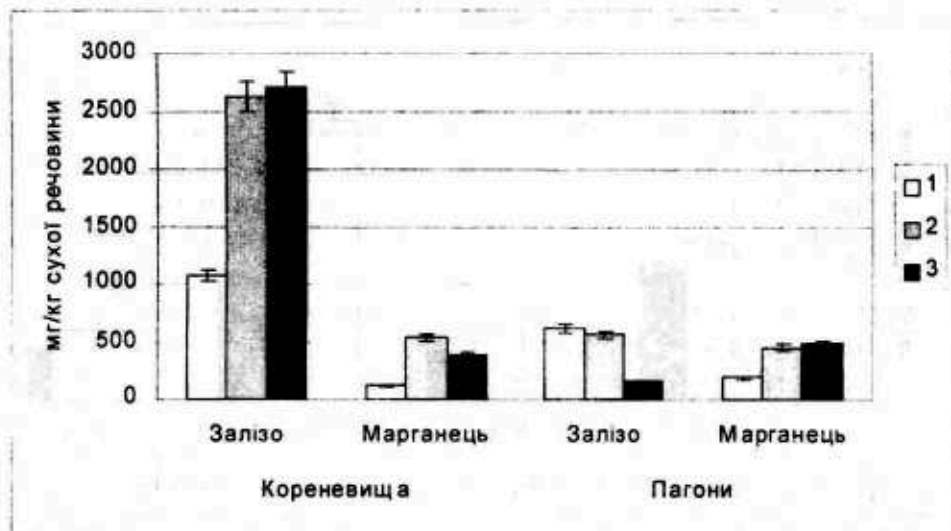


Рис. 5. Вміст заліза і марганцю у двомісячних рослинах *C. hirta* під впливом нафтового забруднення ґрунту

Fig. 5. Table of content of iron and manganese in two-month old *C. hirta* plants under oil pollution of soil, mg/kg dry weight

Важливу роль у житті рослин відіграють мікроелементи, зокрема, з'ясовано їхню участь у процесах адаптації до засолення ґрунтів [2, 3, 7, 17, 20]. Такі елементи, як Fe, Mn, Cu, Mo, Co, входять до складу активних груп, або компонентів простетичних груп ферментів, передусім оксидоредуктаз, які забезпечують процеси фотосинтезу, дихання. Марганець, магній, цинк як кофактори є допоміжними елементами при утворенні хелатів, забезпечують поєднання ферментів або коферментів із субстратами [12, 15]. Залізо входить до складу окремих ферментів і цілих ферментних систем, пов'язаних з окисно-відновними реакціями клітини. Крім процесів фотосинтезу, дихання, його іони беруть участь у відновленні нітратів, біологічній азотфіксації як складові компоненти нітратредуктази та нітрогенази. Важливою функцією заліза в рослинах є його участь у синтезі хлорофілу [14, 15].

Ми вивчали вплив нафти на вміст основних мікроелементів: заліза, марганцю, міді, цинку у рослинах *C. hirta*. Отримані дані представлено на рисунках 5, 6.

Виявлено, що за дії нафтового забруднення вміст заліза у кореневищах рослин (варіанти 2, 3) збільшується у 2,5 рази, тоді як у пагонах (варіант 3) — зменшується у 4 рази відносно контролю. У даному варіанті спостерігалися ознаки дефіциту заліза (пожовтіння окремих листків, зниження вмісту хлорофілів тощо) [4]. З рис. 5 видно, що кореневища дослідних рослин *C. hirta* нагромаджують у 5–18 разів більше заліза (залежно від концентрацій нафти у ґрунті), ніж пагони. Процес надходження іонів металу в надземні частини рослин регулюється захисним фізіологічним бар'єром на межі корінь—пагін.

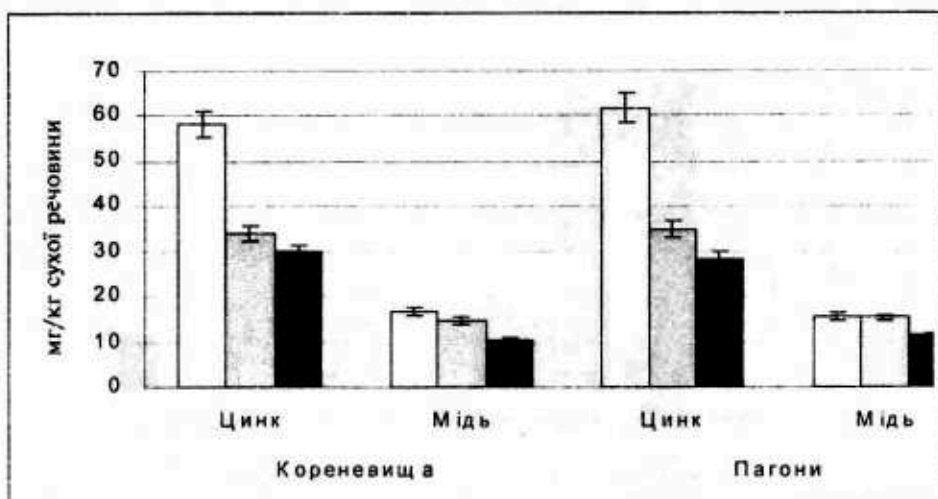


Рис. 6. Вміст цинку і міді у двомісячних рослинах *C. hirta* за дії нафтового забруднення ґрунту

Fig. 6. Table of content of zinc and copper in two-month old *C. hirta* plants under oil pollution of soil, mg/kg dry weight

Очевидно, залізо у великих кількостях міститься у забрудненому нафтою ґрунті. Відомо, що за високих концентрацій мікроелементів у навколишньому середовищі іони металів можуть не тільки адсорбуватися клітинною стінкою кореня, а й нагромаджуватися в ній або осаджуватися на поверхні коренів і не включатися у метаболічні сайти внутрішньоклітинного рівня [12].

Марганець відіграє важливу роль у регулюванні процесів окиснення і відновлення заліза; оптимальне співвідношення заліза до марганцю має становити 2,0–2,5:1,0 [19]. З'ясовано, що за умов забруднення ґрунту нафтою 48 г/кг у кореневищах рослин вміст марганцю збільшується у 4,5 раза, а 96 г/кг — утричі. У пагонах (варіанти 2, 3) концентрація марганцю зростає більш як удвічі щодо контролю. Таким чином, у пагонах рослин за дії нафтового забруднення спостерігається дисбаланс між вмістом заліза і марганцю. Тимчасом як підвищені концентрації марганцю у листках рослин знижують інгібуючу дію NaCl при поглинанні елементів мінерального живлення і стабілізують окисно-відновні реакції фотосинтезу і дихання [3]. Можливо, рослини *C. hirta* регулюють підвищену кількість натрію саме зростанням вмісту марганцю.

Нафтове забруднення впливає також на нагромадження цинку і міді рослинами *C. hirta* (рис. 6). Так, у варіантах 2, 3 вміст цинку зменшується як у кореневищах, так і у пагонах майже удвічі щодо контролю. Нестача цинку різко уповільнює ріст рослин: гальмується поділ клітин, наслідком якого є морфологічні зміни листків, порушення фаз розтягування і диференціації клітин [14, 15]. Саме пригнічення росту і розвитку рослин *C. hirta* за дії різних концентрацій нафти у ґрунті ми встановили у попередніх дослідженнях [4, 5].

Мідь впливає на механізми, які визначають стійкість рослин до несприятливих факторів; регулює окисно-відновні реакції і процеси поглинання фосфору та інших елементів мінерального живлення; контролює баланс вологи, змінюючи проникність судин ксилеми. Дефіцит міді гальмує репродукцію рослин [3]. Показано, що вміст міді (варіант 2) у кореневищах рослин *C. hirta* зменшується не суттєво, тоді як у пагонах залишається на рівні контролю. У варіанті 3 він знижується як у кореневищах (в 1,6 раза), так і пагонах (у 1,4 раза) щодо контролю.

Отже, мікроелементний склад рослин більшою мірою, ніж макросклад, залежить від екологічних умов. Без сумніву, у складі рослин із забруднених ділянок відображаються хімічні особливості субстрату. В екстремальних умовах забруднення ґрунтів нафтою і в рослинах, і у ґрунтах спостерігається дисбаланс практично всіх хімічних елементів. Зміни у складі мінеральних елементів *C. hirta* певною мірою можна вважати специфічними реакціями на дію нафтового забруднення. Однак специфічність механізмів стійкості до надлишку деяких елементів у ґрунті, їх конкретизація для піонерного виду *C. hirta* й умов середовища потребують подальших досліджень.

1. *Агрехимические* методы исследования / Под ред. А.В. Соколова. — М.: Наука, 1975. — 656 с.
2. Барсукова В.С., Гамзикова О.И. Влияние избытка кадмия на содержание макро- и микроэлементов у контрастных по устойчивости сортов пшеницы // Физиол. и биохим. культ. раст. — 2000. — 32, № 1. — С. 47—54.
3. Второва В.Н. Изменчивость элементного состава у представителей родов *Populus*, *Lycium* и *Tamarix* на засоленных почвах // Ботан. журн. — 1993. — 78, №8. — С. 17—32.
4. Джура Н., Цвилюк О., Терек О. Вплив нафтового забруднення ґрунту на морфо-фізіологічні особливості осоки шершаволистої (*Carex hirta*) // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. — 2005. — Вип. 40. — С. 51—58.
5. Джура Н.М., Цвилюк О.М., Терек О.І. Вплив *Carex hirta* на властивості ґрунту, забрудненого нафтою // Мат-ли Всеукр. науково-практ. конф. «Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин». — Дніпропетровськ: ДНУ, 2005. — С. 20.
6. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузяхметов Г.Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы // Вестн. Башкирск. ун-та. — 2001. — № 1. — С. 32—34.
7. *Клеточные* механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Под ред. Е.Л. Кордюм. — Киев: Наук. думка, 2003. — 277 с.
8. Колупаев Ю.Е. Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень). — Харків: Харк. держ. аграр. ун-т, 2001. — 173 с.
9. Махонина Г.И. Химический состав растений на отвалах некоторых месторождений Урала // Растения и промышленная среда. — Свердловск: УРГЦ, 1984. — С. 68—72.
10. Медведева Е.И. Динамика восстановления нефтезагрязненных почв в условиях Среднего Поволжья // Сб. тез конф. молодых ученых «Биология — наука XXI». — Тула, 2002. — Т. 3. — С. 131—132.
11. Медведев С.С. Физиология растений. — С.Пб.: Изд-во С.-П. ун-та, 2004. — 336 с.
12. *Микроэлементы* в растениях. Поступление, транспорт и физиологические функции / Э.В. Рудаков, К.Д. Каракис, Т.Н. Сидорышна и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 184 с.
13. *Микроорганизмы* и охрана почв / Под ред. Д.Г. Звягинцева. — М.: Изд-во МГУ, 1989. — 206 с.

14. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин / С.Я. Коць, Н.В. Петерсон — К.: Логос, 2005. — 150 с.
15. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин: Підручник. — К.: Либідь, 2005. — 806 с.
16. Мусієнко Н.Н., Тернавский А.И. Корневое питание растений. — Киев: Вища шк., 1989. — 203 с.
17. Растения в экстремальных условиях минерального питания: эколого-физиологические исследования / Под ред. М.Я. Школьника. — Л.: Наука, 1983. — 177 с.
18. Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Куницкая Т.А. Методы анализа почв и растений. — Рига: Зинатне, 1987. — 169 с.
19. Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. — Рига: Зинатне, 1982. — 202 с.
20. Степанюк В.В. Влияние высоких доз свинца на элементный состав растений // Агротехника. — 1998. — № 8. — С. 69—76.
21. Цайтлер М.Й. Зміни структури ценопопуляцій *Carex hirta* в умовах нафтового забруднення екотопів на Бориславському нафтовому родовищі // Екол. та ноосферол. — 2000. — 9, № 1—2. — С. 127—132.
22. Цайтлер М.Й. Відновлення рослинного покриву і зміни структури ценопопуляцій трав'яних рослин на нафтозабруднених територіях Бориславського нафтового родовища: Автореф. дис... канд. біол. наук. — Дніпропетровськ, 2001. — 16 с.
23. Цуцаева В.В. Влияние нефтедобывающей промышленности на некоторые компоненты природы Томской области // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. — Пушино, 1984. — С. 208—209.
24. Штина Э.А., Шилова И.И., Неганова Л.Б., Ельшина Т.А. Влияние способов биологической рекультивации земель, загрязненных нефтью, на почвенную альгофлору в условиях таежной зоны // Экология. — 1986. — № 2. — С. 23—30.
25. Lityński T., Jurkowska H., Borlach E. Analiza Chemiczno Rolnicza Gleba i nawozy Przewodnik metodyczny doświadczeń Chemiczno Rolniczych. Wydania czwarte. — Warszawa: Krakowa Państwowe wydawnictwo Naukowe, 1972. — 196 s.

Рекомендує до друку
М.М. Мусієнко

Надійшла 28.02.2006

Н.М. Джура, О.Н. Цвилюк, О.И. Тэрэк

Львовский национальный университет им. И. Франка

ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *CAREX HIRTA* L.

Изучали влияние нефтяного загрязнения на содержание макро- и микроэлементов в растениях. Объектом исследования избрали *Carex hirta* L. — многолетнее травянистое длиннокорневищное растение. Модельные опыты проводили в природных условиях. В сосуды с почвой вносили нефть из расчета 48 и 96 г/кг почвы. Через три недели после внесения нефти на подготовленную почву пересаживали особи *C. hirta*. Контролем служили растения, выросшие на почве без нефти. После двух месяцев роста в растениях определяли содержание макро- и микроэлементов. Установлено, что нефть сильно влияет на элементный состав изучаемого вида. Так, при содержании в почве 48 г/кг нефти в корневищах и побегах растений увеличивается концентрация калия, натрия, марганца и железа (в корневищах) по сравнению с контролем. При воздействии нефти 96 г/кг в растениях уменьшается содержание калия, фосфора, магния, железа (в побегах), цинка и меди. Проведенные исследования подтверждают, что ряд экологических, морфологических и физиолого-биохимических особенностей *Carex hirta* обеспечивают его стойкость к

нефтяному загрязнению. Таким образом, данный вид можно рекомендовать для фиторекультивации территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

Ключевые слова: макроэлементы, микроэлементы, нефтяное загрязнение, *Carex hirta*, физиолого-биохимические качества, стойкость

N.M. Dzhura, O.M. Tsvilynyuk, O.I. Terek

Ivan Franko L'viv National University

INFLUENCE OF SOIL POLLUTION ON MACRONUTRIENT AND MICRONUTRIENT CONTENT IN *CAREX HIRTA* L. PLANTS

We investigated influence of oil soil pollution on the macronutrient and micronutrient content in the plants. Objects of our investigation were *Carex hirta* L. plants — long-rooted grasses. Model experiments carry on in the field condition. Oil were brought into experimental soil 48 and 96 g/soil kg. After three weeks on these soils *C. hirta* plants were transferred. Control — plants, that growth on soil without oil. After two month macronutrient and micronutrient content of plants was studied. It was shown that oil pollution had strong effect on nutrient content of plants. We investigated, that under 48 g/kg oil pollution of soil content of K, Mn, Na, Fe in the roots and shoots increased. Under 96 g/kg oil pollution of soil in the plants decreased K, P, Mg, Fe, Zn and Cu content. In the conclusions of our experiments we conducted that species of *Carex hirta* have ecological, morphological and physiology-biochemical traits and they help it to increase stability to oil pollution. Thus, these species can be recommended for recultivation of soils polluted by oil and oil-products.

Key words: macronutrient, micronutrient, oil pollution, *Carex hirta*, physiology-biochemical traits, plants