

УДК 631.95

Н. А. Макаренко

д. с.-г. н.

О. В. Іваненко

аспірант

Інститут агроекології та біотехнології УААН, м. Київ

ВПЛИВ ДОБРИВ НА ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТУ ТА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ ЗА ВМІСТОМ ФТОРУ

В статті викладено результати дослідження поведінки одного з потенційно небезпечних елементів – фтору у сірому лісовому ґрунті при вирощуванні пшениці та ріпаку. За результатами біологічної та екотоксикологічної оцінки запропоновано оптимальні варіанти внесення мінеральних добрив у короткій польовій сівозміні.

Постановка проблеми

Тривале і систематичне використання мінеральних добрив, які містять домішки фторидних сполук, часто спричиняє збагачення ґрунтів розчинними формами елемента. Різним типам ґрунтів притаманна неоднакова здатність накопичувати фтор; концентрація розчинних форм елемента інколи може перевищувати граничнодопустиму концентрацію (ГДК) в декілька разів. Акумуляція фтору супроводжується зміною фізико-хімічних властивостей ґрунту, в тому числі порушенням структури, зміною вмісту і складу гумусу тощо. Високі рівні забруднення розчинними фторидами можуть здійснювати токсичний вплив на ґрунтову мікрофлору. Надлишковий вміст фтору в рослинах може мати фітотоксичний ефект, що спричинює виникнення вторинних ефектів, дисбалансу росту і розвитку рослин і негативно позначається на їх продуктивності та якості врожаю.

Мінеральні добрива як обов'язковий елемент сучасних агротехнологій, при певних умовах можуть бути причиною погіршення екологічного стану ґрунтів, санітарно-гігієнічних показників якості сільськогосподарської продукції, забруднення природних вод біогенними і токсичними елементами.

Адекватну оцінку екотоксикологічної небезпеки фторидного забруднення можна одержати лише в умовах польових дослідів. Тому для прогнозування такої небезпеки фторидного забруднення агроecosystem і призначеної для споживання сільськогосподарської продукції актуальним є визначення не тільки джерел надходження сполук елемента, але і вміст його у ґрунті та перехід до сільськогосподарських рослин при застосуванні мінеральних добрив.

Аналіз останніх досліджень

Фтор є досить розповсюдженим елементом у земній корі; його середній вміст складає 0,0625 % [1]. Кларк фтору в ґрунті становить 200 мг/кг, у рослинах – 0,02–24 мг/кг [2], а середній вміст елемента в ґрунтах коливається від 50 до 400 мг/кг при середньому значенні 320 мг/кг [1, 3].

Фтор є найбільш активним елементом групи галогенів і характеризується високим окислювальним потенціалом,

електропровідністю, енергією зв'язку з іншими елементами. За екотоксикологічною класифікацією, згідно ДОСТ 17. 4. 1. 02-83, фтор належить до першого класу небезпеки, тому високі концентрації цього елемента можуть несприятливо позначатись на життєдіяльності рослинних і тваринних організмів, а також на здоров'ї людини [4, 5].

Вміст фтору в ґрунтах сільськогосподарського призначення коливається від 0,015 % до 0,032 % [2, 6]; на концентрацію цього елемента в ґрунтах певним чином впливає характер материнської породи та реакція ґрунтового розчину [7].

Вважається, що найбільш вагомим джерелом зростання вмісту фтору в ґрунтах є внесення (особливо, тривале) фосфорних мінеральних добрив. За оцінками різних авторів, щорічно з фосфоровмісними добривами в ґрунт надходить від 2 до 30 кг фтору на гектар, що збільшує загальний вміст елемента на 3–5 % за рік [8]. Застосування різних доз мінеральних добрив, які містять фторидні сполуки, не завжди зумовлює вірогідне підвищення загального вмісту фтору в ґрунтах, але у більшості випадків призводить до збагачення ґрунтів розчинними формами елемента [9]. Для більшості ґрунтів Поліської і Лісостепової зони переважаючим процесом є накопичення рухомих сполук фтору у верхніх шарах, а також високий вміст кислоторозчинного фтору в орному і підорному шарах з поступовим зменшенням його вмісту до глибини 80–100 см [4].

Вплив тривалого застосування фосфорних добрив на забрудненість елементів середовища фтором висвітлений у літературі доволі повно. Але недостатньо представлені відомості про рівні забруднення фтором ґрунтів та біологічних об'єктів внаслідок систематичного використання мінеральних добрив, до складу яких входить фтор [10].

Дані щодо залежності між вмістом різних форм фтору у ґрунтах та поглинання його рослинами, є фрагментарними. Відомо, що фтору притаманна низька біологічна доступність – коефіцієнти накопичення фтору рослинами коливаються від 0,2 до 3,9 мг/кг [10]. Даних з фітотоксичності фтору також недостатньо. Відомо, проте, що надлишок фтору може спричинити зміну активності ферментів, ушкодження клітинних мембран, пригнічення росту кореневої системи. Це призводить до ряду вторинних ефектів, наприклад, дефіциту необхідних елементів, гормонального дисбалансу, інгібування фотосинтезу, порушення водного режиму та рухомості фотоасимілятів, що, в свою чергу, спричиняє зниження росту та продуктивності рослин [9]. Встановлено, також, що поглинання рослиною фтору є видовою ознакою, і рослини відрізняються за ступенем чутливості до підвищених рівнів вмісту фтору [9].

Серед більшості авторів усталеною є думка стосовно відсутності прямої залежності між накопиченням фтору в рослинах і вмістом його розчинних сполук в ґрунтах. Переважна кількість дослідників вважає, що накопичення сполук фтору відбувається головним чином у вегетативній масі, а переносу елемента до репродуктивних органів практично не спостерігається [11, 12].

Біологічна активність фтору та висока токсичність його сполук роблять актуальними дослідження поведінки фтору в об'єктах середовища, встановлення рівня їх забрудненості цим елементом у відповідності до екотоксикологічних нормативів, вивчення процесів накопичення і перерозподілу сполук фтору, насамперед, в ґрунтах як ключових ланках агроєкосистеми.

Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводились на базі відділення агроєкології Інституту агроєкології та біотехнології УААН протягом 2003–2004 рр. Процеси накопичення, міграції, транслокації фтору в системі ґрунт-рослина вивчали у польовій трипільній сівозміні (північний Лісостеп України) при вирощуванні пшениці озимої та ріпаку озимого. Агротехніка вирощування культур – загальноприйнята для даної зони. Дослідження проводилися у наступних варіантах: пшениця яра – 1) контроль, 2) $N_{120}P_{100}K_{100}$, 3) $N_{60}P_{50}K_{50}$ + побічна продукція + сидерат, 4) $N_{40}P_{10}K_{10}$ + побічна продукція + сидерат; ріпак ярий – 1) контроль, 2) $N_{120}P_{60}K_{60}$, 3) $N_{60}P_{30}K_{45}$ + побічна продукція + сидерат, 4) $N_{10}P_{10}K_{10}$ + побічна продукція + сидерат.

Ґрунт дослідної ділянки – сірий лісовий, супіщаний слабogleюватий на перемитій карбонатній супіщаній морені.

Рослинні зразки відбиралися у фазі повної стиглості, аналізували генеративні органи (зерно). Зразки ґрунту були відібрані одночасно з рослинними зразками, пошарово через 20 см до глибини 100 см.

У лабораторних умовах визначення вмісту фтору у ґрунті та рослинах проводили потенціометричним методом з попередньою екстракцією зразків. Для вилучення *рухомих* (водорозчинних (ВФФ)) форм фтору з ґрунту використовували дистильовану воду, *потенційно-рухомих* (лугорозчинних (ЛФФ)) та *кислоторозчинних* (КФФ) – екстрагенти 0,1 N NaOH та 0,01 N HCl відповідно. Фтор з *рослин* вилучали за допомогою екстрагента 1,0 N HClO₄. Для вирівнювання іонної сили розчину використовували буфер TISAB (pH=5,0-5,5).

Вірогідність одержаних даних визначали за загальноприйнятими у сільськогосподарських дослідженнях методами математико-статистичного аналізу [13].

Результати досліджень

У результаті досліджень було встановлено, що вміст усіх форм фтору характеризувався переважним (80–94 %) накопиченням у верхніх шарах ґрунтового профілю (0–40 см). З переходом до нижніх горизонтів ґрунту концентрації фтору дещо зменшувались, але характер змін для різних форм фтору дещо відрізнявся. Найбільш різке зниження концентрації у підорних шарах ґрунту було відмічено для КФФ, що пов'язане, скоріш за все, з міграційними процесами, оскільки саме кислоторозчинні форми вважаються найбільш рухомими сполуками фтору [9].

При дослідженні впливу різних доз мінеральних добрив на вміст і перерозподіл в ґрунтовому профілі сполук фтору при вирощуванні

пшениці ярої було встановлено, що вміст водорозчинних сполук фтору (ВФФ) в різних шарах ґрунту змінювався від 0,04 до 2,24 мг/кг, лугорозчинних форм (ЛФФ) – від 0,51 до 3,39 мг/кг, кислотрозчинних форм фтору (КФФ) – від 0,15 до 4,44 мг/кг. Найбільша відмінність за вмістом ВФФ спостерігалась у шарі 40–60 см, де підвищення концентрації становило 9–12 % у варіантах з внесенням високих ($N_{120}P_{100}K_{100}$) і середніх ($N_{60}P_{50}K_{50}$) доз добрив відповідно. Максимальне зростання вмісту ВФФ в шарі ґрунту 40–60 см відбувалось при внесенні низьких доз добрив – на 88 % порівняно з контролем; на більшій глибині зафіксоване різке зниження вмісту ВФФ. Таке ж різке зменшення концентрацій фтору на глибині 60–80 см спостерігалось і для КФФ та ЛФФ в усіх варіантах дослідів (рис.1).

Подібний характер розподілу сполук фтору дає підстави припускати існування адсорбційного бар'єру, що перешкоджає міграційним процесам за рахунок зв'язування у важкорозчинні сполуки із закріпленням у підорних шарах [7].

При вирощуванні ярого ріпаку в усіх варіантах спостерігалось збільшення вмісту всіх форм фтору порівняно з пшеницею ярою. Концентрації фторидів варіювали у межах 2,14–7,65 мг/кг (ВФФ), 1,20–7,48 мг/кг (ЛФФ), 1,06–5,88 мг/кг (КФФ). Спостерігалось переважне накопичення ВФФ та КФФ на глибині 40–60 см (5,20–6,17 мг/кг). У шарах ґрунту 60–80 см та 80–100 см відбувалось різке зниження вмісту фторидів (у 1,9–2,6 рази) порівняно з їх концентраціями у шарі 40–60 см. Подібна тенденція зберігалась і при внесенні різних доз мінеральних добрив. Значно підвищився вміст ВФФ та КФФ у верхньому кореневмісному шарі ґрунту при застосуванні низьких ($N_{10}P_{10}K_{10}$) і середніх ($N_{60}P_{30}K_{45}$) доз мінеральних добрив – на 26–27 % та 21–28 % відповідно. У шарі 20–40 см зростання вмісту ВФФ було найбільшим при внесенні максимальної дози мінеральних добрив (22 %), застосування середніх і низьких доз мінеральних добрив супроводжувалось збільшенням вмісту фторидів у ґрунті на 11 % на 10 % відповідно. Вміст КФФ у цьому шарі ґрунту зростав на 11 % при застосуванні високих доз добрив та на 26 % – при внесенні низьких доз. Порівняно з контролем, дещо підвищувались концентрації ВФФ у підорному шарі ґрунту (20–40 см) – на 70 % при використанні низьких доз добрив, на 22–24 % при застосуванні середніх та високих доз НРК. Для КФФ таке зростання обмежувалось 5–7 % при внесенні низьких та високих доз добрив і вміст цієї форми фторидів майже не змінювався при застосуванні середніх доз. Вміст лугорозчинних форм фтору в цілому змінювався неістотно. Таким чином, переважне накопичення всіх форм фторидів відбувалось у верхньому орному та підорному шарах ґрунту (рис.1).

Порівняння концентрацій фтору, одержаних в досліді, з встановленими в Україні нормативами, свідчить про екотоксикологічну безпеку стану досліджуваного ґрунту. Вплив підвищених доз мінеральних добрив на вміст і перерозподіл в ґрунті сполук фтору виявився незначним і не призводив до істотного погіршення екотоксикологічного стану ґрунту.

Максимальні значення вмісту фторидів у більшості варіантів перевищували контрольні показники, але становили при цьому лише біля 1/3 ГДК. Таким чином, істотного забруднення ґрунту сполуками фтору при інтенсивному застосуванні мінеральних добрив під пшеницю ярою та ріпаком ярим не відбувалось.

Більшість авторів не підтверджують наявності прямого зв'язку між вмістом водорозчинних форм фтору в ґрунтах і вмістом елемента у сільськогосподарських рослинах [9]. Проте, є данні щодо існування залежності між поглинанням фтору рослинами та вмістом його розчинних форм у ґрунтах, у зв'язку з чим пропонується вважати вміст легкорозчинних сполук фтору в ґрунтах найбільш інформативним показником їх стану [14].

Водорозчинна форма Лугорозчинна форма Кислоторозчинна форма

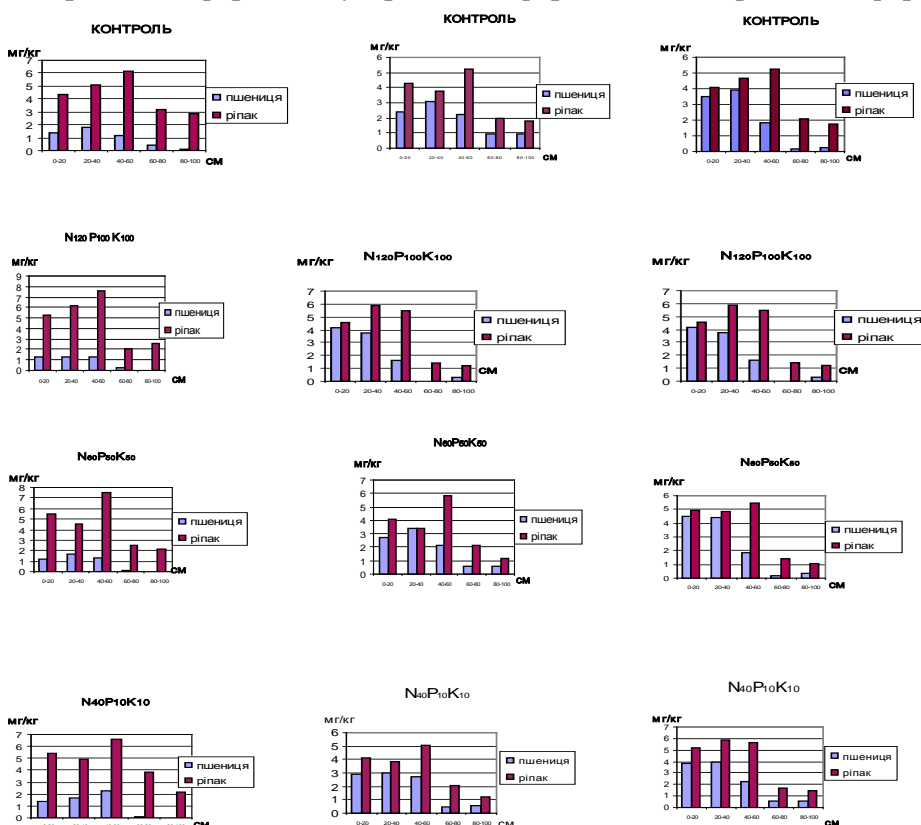


Рис 1. Розподіл рухомих та потенційно-рухомих форм фтору за профілем сірого лісового ґрунту залежно від удобрення

Отримані результати показали незначну залежність між вмістом фтору у зерні пшениці та вмістом водорозчинних (ВФФ) та кислоторозчинних (КФФ) форм фтору у кореневмісному (0-20 см) шарі ґрунту (рис. 2).

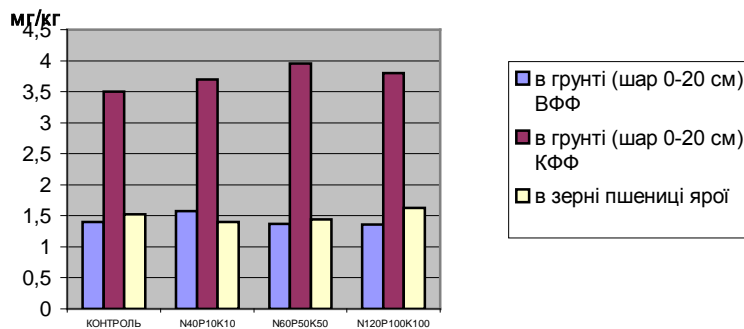


Рис. 2. Вплив добрив на вміст фтору (ВФФ, КФФ) у сірому лісовому ґрунті (шар 0-20 см) та в зерні пшениці ярої

Межі коливання вмісту фтору в зерні пшениці у різних варіантах досліджу були незначними – від 1,40 до 1,63 мг/кг (при вмісті на контролі 1,53 мг/кг). При застосуванні низьких ($N_{40}P_{10}K_{10}$) і середніх ($N_{60}P_{50}K_{50}$) доз добрив сумісно з органічними рештками та сидератами вміст фтору в зерні порівняно з контролем дещо зменшувався (на 9,0–9,4 %); у варіанті із внесенням високої дози добрив ($N_{120}P_{100}K_{100}$) концентрація сполук фтору в зерні зростає на 7 %. В цілому, вміст фтору в зерні пшениці ярої не перевищував діючого МДР, тобто якість зерна за вмістом фтору відповідала екотоксикологічним нормативам.

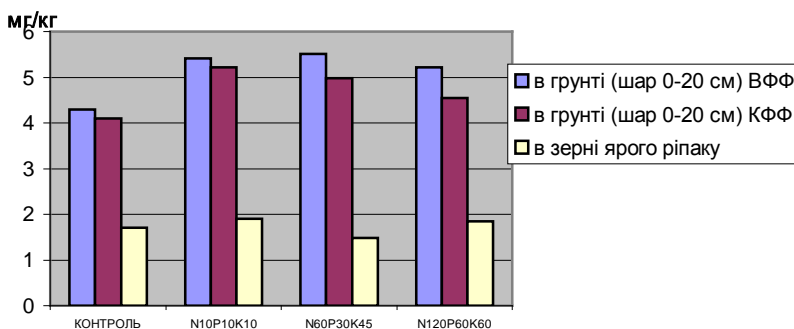


Рис. 3. Вплив добрив на вміст фтору (ВФФ, КФФ) у сірому лісовому ґрунті (шар 0-20 см) та в зерні ріпаку ярого

Дослідження процесів нагромадження фтору ріпаком ярим показали деяке підвищення концентрації елемента при внесенні високих доз NPK (9 % відносно контролю). При застосуванні середніх доз добрив ($N_{60}P_{30}K_{45}$), навпаки, відбувалось зниження вмісту фтору порівняно з контролем на 15 % (рис. 3).

Висновки

Основним показником оцінки ефективності агротехнологічних заходів є продуктивність сільськогосподарських культур. Проте, лише комплексна оцінка за результатами оцінки біологічної ефективності сільськогосподарських культур та екотоксикологічних досліджень може дати об'єктивну відповідь відносно ефективності та екологічної безпечності тих чи інших агрономічних заходів.

Аналіз біологічної продуктивності пшениці ярої показав, що застосування одних мінеральних добрив у дозі $N_{120}P_{100}K_{100}$ призвело до підвищення врожаю зерна на 76 %, сумісне застосування $N_{60}P_{50}K_{50}$ та $N_{40}P_{10}K_{10}$ + побічна продукція + сидерат, призвело до підвищення продуктивності відповідно на 29 % та 93 % відносно контролю.

Аналіз продуктивності ріпаку ярого показав аналогічну залежність – максимальне зростання урожаю насіння культури (на 51 % відносно контролю) відбулось при сумісному внесенні мінімальної дози мінеральних добрив $N_{10}P_{10}K_{10}$ + побічна продукція + сидерат.

Проведення комплексної оцінки дає можливість зробити висновок, що при вирощуванні пшениці ярої та ріпаку ярого у коротко ротаційній сівозміні в умовах сірих лісових ґрунтів, характерних для північного Лісостепу, найбільш ефективним та екологічно безпечним буде застосування невисоких доз мінеральних добрив ($N_{40-60}P_{10-50}K_{10-50}$ для пшениці та $N_{10-60}P_{10-30}K_{10-45}$ для ріпаку) сумісно з рослинними рештками та сидератами. При такій системі удобрення у ґрунті не буде спостерігатися тенденція до поступового нагромадження рухомих форм фтору, а продукція буде характеризуватися високою якістю.

Література

1. Кабата-Пендіас А., Пендіас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир 1989. – 439 с.
2. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 276 с.
3. Реуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы: Пер. с рум. К.И. Степанькова / Под ред. В.К. Штефана – М.: Агропромиздат, 1986. – 221 с.
4. Ліщук А. М. Етоксикологічна оцінка небезпечності фтору залежно від ґрунтово-кліматичних умов та застосування мінеральних добрив.: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. – К., 2004. – 19 с.
5. Фтор и его соединения / Под ред. Д. М. Саймона: Изд-во иностран. лит. 1956.– Т. 2. – 495 с.
6. Семендяева Н. В., Жеронкина Л. А. Влияние фтора и фосфора на химический состав овса, возделываемого на солонцах // Агрехимия. – 1998. – №4. – С. 57–63.

7. Кузин К., Пашова В.Т. Фтор в почвах и растениях при систематическом применении суперфосфата // Агрохимия. – 1978. – №12. – С. 92–97.
8. Влияние длительного применения фосфорных удобрений на накопление в почвах и растениях тяжелых металлов и токсических элементов. Потатуева Ю. А., Касицкий Ю. И., Хлистовский А. Д. И др. // Агрохимия. – 1994. – №11. – С. 98–114.
9. Шелепова О. В., Потатуева Ю. А. Агроэкологическое значение фтора // Агрохимия. – 2003. – №9. – С. 78–87.
10. Литвинович А. В., Павлова О. Ю. Фтор в системе почва-растение при применении в сельском хозяйстве средств химизации и загрязнений объектов природной среды техногенными выбросами // Агрохимия. – 2002. – №2. – С. 66–76.
11. Безикова О.А. Влияние уровней водорастворимого фтора в почве на урожай и качество пшеницы // Химия в сельском хозяйстве. – 1997. – №2. – С. 32–33.
12. Долгова Л. Г. Грицан Н.П., Сансай В.М. Фториды и продуктивность зерновых культур // Химизация сельского хозяйства.– 1998. – №6. – С. 25–29.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).– М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
14. Окорков В.В., Абдрахманов М.А. Содержание фтора в почве и растениях при применении средств химизации в степной зоне Казахстана // Агрохимия.– 1994. – №2. – С. 86–95.