

УДК 546.16:543.2

ОСОБЛИВОСТІ ВМІСТУ ФТОРУ В СИСТЕМІ ҐРУНТ–РОСЛИНИ

В. Тригуб

*Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65057, Україна*

Визначено залежність вмісту фтору в рослинах від його вмісту в ґрунті. Запропоновано нову методику оцінки фторного забруднення рослин методом безпосереднього визначення активного фтору в рослинному соці за допомогою фтор-селективного електрода.

Ключові слова: фтор, система ґрунт–рослини, оцінка фторидного забруднення.

Фтор належить до найпоширеніших елементів у природі і є в складі як літосфери, так і всіх компонентів біосфери. Аналіз літературних даних свідчить про те, що фтор належить до елементів, які мають усебічну дію на живі організми, і для нормальної життєдіяльності він необхідний у чітко лімітованих кількостях. Найбільш виражений вплив фтору на метаболізм рослин виявляється в таких реакціях: зменшення темпів поглинання кисню; порушення респіраторної діяльності; зменшення асиміляції (поживних речовин); зменшення вмісту хлорофілу; пригнічення синтезу крохмалю; пригнічення функції пірофосфатази; зміна метаболізму клітинних органел; пошкодження клітинних мембран; руйнування ДНК і РНК; синтез фторацетату – найбільш токсичного сполучення фтору [1–3, 12].

Тому важливим є вивчення транслокації фтору із ґрунту в рослини. Залежність вмісту фтору в рослинах від його вмісту в ґрунті, умови його поглинання з ґрунтів дотепер дослідженні мало. Сьогодні нема єдиної думки щодо динаміки фтору в системі ґрунт–рослини [8, 9, 11].

Наявні методи визначення валового фтору в рослинах є складними і не відображають залежності саме активного, найбільш токсичного фтору для рослин. Ми запропонували принципово нову методику оцінки фторного забруднення рослин методом безпосереднього визначення активного фтору в рослинному соці за допомогою фтор-селективного електрода.

Об'єктом дослідження був фтор у взаємопов'язаній системі ґрунт–рослини.

Завдання досліджень: визначити залежність вмісту фтору в рослинах від його вмісту в ґрунті; розробити метод визначення активного фтору в клітинному соці рослин та оцінити фторне забруднення досліджуваних рослин.

Загальної думки дослідників із приводу залежності вмісту фтору в рослинах від його вмісту в ґрунтах досі не вироблено. О. Виноградов, наприклад, вважає: якщо таке збагачення і відбувається, то воно незначне. Експерименти Р. Габовича [3] засвідчили, що вміст фтору в рослинах за умов внесення в ґрунт суперфосфату 200 кг/га підвищується незначно. У разі внесення в ґрунт 1 000 кг/га суперфосфату вміст фтору в рослинах різко зростає. Отже, більшість дослідників вважає, що вміст фтору в рослинах не залежить від його вмісту в ґрунтах. Очевидно, цей висновок не є досить обґрун-

тованим, оскільки зазначені автори користуються результатами визначення в ґрунтах фтору, малодоступного для рослин. Що ж стосується визначення вмісту рухомих форм, і зокрема, воднорозчинних, то це питання вивчене мало.

Методи визначення валового фтору в рослинах, які є сьогодні, надзвичайно трудомісткі й потребують спеціальної підготовки та обробки рослинних зразків (подрібнення, озолення, сплавлення, вилуговування) [4, 5, 10]. Крім складності, ці методи не зовсім відображають чітку картину накопичення його в рослинах у разі внесення фторовмісних добрив і меліорантів, не завжди правильно відображають залежність фтору в рослинах від його вмісту в ґрунтах. З огляду на це, ми поставили собі за мету знайти простіший метод визначення активного фтору в соці рослин. Методика визначення активних іонів Na, K, Ca, Cl, NO₃ в соці рослин відома [6].

Для дослідження взято різні культурні рослини: кукурудзу, пшеницю, овес, горох. Ці рослини подрібнювали, за допомогою преса витискали клітинний сік з їхньої кореневої та окремо зеленої маси. Потім до аліквотної частини досліджуваного соку додавали цитратний буфер і за допомогою фторидного електрода визначали вміст активного фтору. Вміст фтору в клітинному соці обчислювали за допомогою відкаліброваного графіка.

Правильність методу перевіряли на численних проаналізованих зразках рослин за методом уведено-знайдено.

Під час вивчення особливостей вмісту фтору в системі ґрунт-рослина ми не ставили перед собою конкретного завдання обчислити абсолютний вміст фтору в тих або інших рослинах, що є продуктами харчування місцевого населення. Перед нами було загальне завдання – простежити головні закономірності розподілу активного фтору в культурних рослинах у зв'язку із вмістом його в ґрунтах, а також вплив фосфогіпсу на вміст фтору в рослинах.

На дослідній ділянці відібрано зразки кукурудзи, гороху, вівса і пшениці. Фтор визначали в клітинному соці цих рослин (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст фтору в ґрунтах і клітинному соці рослин

Варіант досліджу	Вміст фтору в ґрунті, мг/кг			Фтор у рослинах, мг/л			
	валовий	кислото-розчинний	водо-розчинний	кукурудза, стебло, коріння	горох, стебло	овес, стебло, коріння	пшениця, колоски
Зрошення, контроль							
Норн.	319,2	13,78	1,33	<u>0,06</u>	0,14	<u>0,11</u>	0,16
Н	345,8	16,63	1,19	0,12		0,20	
Зрошення +фосфогіпс (12 т/га)							
Норн.	334,4	19,95	2,23	<u>0,12</u>	0,18	<u>0,15</u>	0,74
Н	345,8	13,54	2,95	0,48		0,48	
Зрошення + фосфогіпс (12 т/га) +гній (60 т/га)							
Норн.	-	16,07	1,43	<u>0,16</u>	0,15	<u>0,12</u>	0,29
Н	-	12,83	1,38	0,36		0,42	

З табл. 1 бачимо, що внесення фосфогіпсу привело до значного збільшення активного фтору в соці всіх досліджуваних рослин: у 0,5–2,0 рази – у стеблах, 2,5–4,0 рази – у коренях, більш ніж у 4 рази – у колосках пшениці. Вміст фтору на варіанті фосфогіпсу + гній має проміжне значення між контрольним варіантом і варіантом, де вносили тільки чистий фосфогіпс. Ця ж закономірність виявлена і під час визначення фтору в ґрунтових зразках і лізіметричних водах.

З аналізу табл. 1 можна зробити висновок, що вміст активного фтору в соці рослин прямо залежить від його вмісту в ґрунтах. Причому в рослинах фтор накопичується в значно більших кількостях, ніж у ґрунтах.

Для поглибленої характеристики ґрунтів використано розрахунки показників рівнів забруднення їх фтором, запозичені у В.Б. Ільїна і М. Д. Степанової [7]. Показник накопичення елемента – це його валовий вміст у досліджуваному ґрунті, співвіднесений з валовою кількістю в неудобреному ґрунті; показник активного забруднення аналогічний до такого показника для рухливих форм фтору; і ґрунтовий бар'єр, або показник захисних можливостей ґрунту, – це співвідношення показника активного забруднення до показника накопичення фтору. З показника накопичення фтору в удобрених ґрунтах бачимо, що відбувається збільшення вмісту елемента, про що свідчать значення показника, які перевищують одиницю. Цей показник дає уявлення про розмір надходження фтору-забруднювача в ґрунт.

Показник активного забруднення ґрунтів розрахований для двох рухливих форм фтору: водорозчинного і кислоторозчинного (табл. 2).

Таблиця 2

Показники накопичення активного забруднення і ґрунтовий бар'єр фтору в чорноземах південних Дунай-Дністровської зрошувальної системи

Горизонт	Накопичення	Активне забруднення		Ґрунтовий бар'єр	
		1	2	1	2
Зрошення					
A _{орн.}	0,84	1,5	2,15	1,79	2,56
A _{підорн.}	0,83	0,88	1,80	1,06	2,17
Зрошення, гіпсування					
A _{орн.}	0,88	2,26	3,01	2,57	3,42
A _{підорн.}	0,83	0,84	2,23	1,01	2,69

Примітка: 1 – водорозчинний фтор, 2 – кислоторозчинний.

За показником активного забруднення водорозчинним фтором виділяється орний горизонт (0–30 см) – 1,5–2,26, в підорному (30–40 см) цей показник нижчий – 0,84–0,88. Показник активного забруднення за кислотнорозчинним фтором значно перевищує одиницю, особливо на гіпсуванні. Показник активного забруднення свідчить про накопичення в ґрунті сполук фтору-забруднювача, які можуть надходити в харчовий ланцюг, що дуже небезпечно.

Показник захисних можливостей ґрунтів (ґрунтовий бар'єр) використовують для порівняння здатності різних ґрунтів зберігати елементи-забруднювачі, які надходять у малорухомій формі або переводити їх у таку форму. Автори в поняття “буферність ґрунту” вкладають інший зміст, ніж здатність ґрунту перешкоджати зміні її реакції (рН) під дією кислот і лугів, а в разі надходження в неї елементів-забруднювачів запобігати накопиченню їхніх рухливих форм.

Головними ґрунтовими компонентами, які створюють такого роду “буферність”, є тонкодисперсні мінеральні частки й органічна речовина ґрунту. Відомо, що головні глинисті мінерали мають більше точок, які несуть негативний заряд, і менше – з позитивним. Тому для елементів-забруднювачів з позитивним зарядом лише 20 % адсорбованих іонів можуть бути на поверхні мінералів, а більша їхня частина проникає в міжплощинний простір і стає малодоступною для рослин. Якщо ж у ґрунт потрапляють хімічні елементи-забруднювачі з негативним зарядом (тобто в аніонній формі), яким є фтор, то захисна роль мінеральних часток буде менш ефективною, оскільки адсорбційні можливості стосовно аніонів унаслідок меншої кількості точок, які несуть позитивний заряд, невеликі. Якщо мікроелементи-забруднювачі, які є в катіонній формі, можуть існувати в ґрунті переважно у вигляді солей гумусових кислот з катіонами, а також утягувати в комплексні сполуки головно хелатного типу, то аніон фтору здатний утворювати з гумусом лише комплексні сполуки хелатного типу. Звідси випливає, що елементи-забруднювачі, які існують у вигляді катіонів, можуть вивільнитися зі сполук з гумусовими (гуміновими і фульвокислотами) речовинами внаслідок обмінної реакції. Для вивільнення аніонів (у нашому випадку мікроелемента фтору), тобто для розриву хелатного зв'язку потрібна додаткова енергія.

Отже, передусім завдяки гумусові та глинистим мінералам ґрунт повинен мати значну буферність, яка частково гальмуватиме рух фтору з ґрунту в рослини. Також варто враховувати, що ґрунт відрізняється від рослинних організмів тим, що він позбавлений здатності повного самовідновлення й самоочищення. А в міру накопичення елементів-забруднювачів (фтору) його властивості можуть поступово погіршитися, і настане момент, коли вони вже не виявляються. Як бачимо з табл. 2, ґрунтовий бар'єр у кількісному вираженні змінюється у всіх досліджених ґрунтах як для водорозчинного, так і кислоторозчинного фтору від 1,01 до 3,42.

Внесення фосфогіпсу сприяло значному накопиченню фтору в рослинах, вирощених на удобрених варіантах, порівняно з контролем (табл. 3). Рослини накопичують більше фтору у всіх органах.

Оскільки показник загального забруднення більший від одиниці, то кількість фтору, внесеного в ґрунт, може спричинити пригнічення даних рослин. Про це особливо свідчать показники активного забруднення кореня і колосся (4,0 і 4,63, відповідно). Показники активного забруднення стебел – 1,29–2,00.

Показник “бар'єр системи” пов'язаний із захисними можливостями рослин і буферною здатністю ґрунту. Він сприяє оцінці обстановки, яка складається в ґрунті й у першій ланці харчового ланцюга внаслідок накопичення елемента-забруднювача. Рослинному організму потрібно прикласти більше зусиль, щоб захистити себе від вторгнення небажаного елемента-забруднювача, якщо ґрунт має слабку буферну здатність.

Як бачимо з табл. 3, бар'єр системи ґрунт–рослина, розрахований для водо- і кислоторозчинного фтору, свідчить про вищі можливості таких органів рослин, як стебло, у разі водорозчинного фтору, оскільки бар'єр системи для цих органів вищий (1,13–1,75), ніж для коріння – (0,94) і колосків (0,49). У разі кислоторозчинного фтору бар'єр системи вищий (0,65–2,33) для всіх органів. Отримані дані свідчать про різну здатність системи ґрунт–рослина (орган) протистояти забрудненню харчового ланцюга.

В органах рослин кукурудзи, гороху, вівса і пшениці показник внутрішньотканинного забруднення значно перевищував одиницю – безперечний доказ забруднення фтором усіх вивчених органів. Бар'єр системи засвідчує мінімальну здатність, можливо, і нездатність, особливо стебел, протистояти забрудненню харчового ланцюга.

Таблиця 3

Вміст фтору в системі ґрунт–рослина

Частина (орган рослини)	Фтор, мг/л	Активне забруднення	Бар'єр системи ґрунт–рослина	
			1	2
Зрошення, контроль				
Кукурудза				
стебло	0,06			
коріння	0,12			
Горох, стебло	0,14			
Овес				
стебло	0,11			
коріння	0,20			
Пшениця, колоски	0,16			
Зрошення, гіпсування				
Кукурудза				
стебло	0,12	2,0	1,13	1,51
коріння	0,48	4,0	0,57	0,75
Горох, стебло	0,18	1,29	1,75	2,33
Овес				
стебло	0,15	1,37	1,65	2,20
коріння	0,48	2,4	0,94	1,25
Пшениця, колоски	0,74	4,63	0,49	0,65

Примітка: 1 – воднорозчинний фтор, 2 – кислоторозчинний фтор.

Отже, показник захисних можливостей ґрунту можна використовувати для порівняння здатності різних ґрунтів зберігати елементи-забруднювачі, які надходять у малорухомій формі або переводити їх у таку форму. Варто пам'ятати, що, на відміну від живих організмів ґрунт, позбавлений здатності повного самовідновлення й самоочищення. В міру накопичення в ньому елементів-забруднювачів його буферні властивості поступово погіршуватимуться, і може настати момент, коли вони не виявляться.

Другий показник – бар'єр системи – тісно пов'язаний з буферною здатністю ґрунту і з захисними можливостями рослин. Захисні можливості рослин стали для кожного виду і відновлюються зі зміною генерації. Цей показник дає змогу оцінити загалом умови, які склалися в ґрунті й у першій ланці харчового ланцюга в разі накопичення в ґрунті елементів-забруднювачів. Чим меншу буферну здатність щодо фтору має ґрунт, тим більших зусиль потрібно докласти рослинному організмові, щоб захистити клітини від вторгнення небажаних компонентів.

Як бачимо, вміст активного фтору в соці рослин прямо залежить від його вмісту в ґрунтах. Причому в рослинах інтенсивність накопичення фтору значно більша, ніж у ґрунтах. Різні види рослин та їхні органи неоднаково поглинають фтор.

Тому, необхідний тривалий моніторинг вмісту фтору в ґрунті та рослинах. Пропонуємо ввести у перелік показників, які підлягають обов'язковому контролю в разі сертифікації рослинної продукції, і фтор, який виявляє високу токсичну дію на організми тварин і людей.

1. *Виноградов А.П.* Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Наука, 1952. 80 с.

2. *Власюк П.А.* Биологические элементы жизнедеятельности растений. К.: Наук. думка, 1969. 516 с.

3. Габович Р.Д. Фтор и его гигиеническое значение. М.: Медгиз, 1957. 251 с.
4. Гоголев Н.И., Тригуб В.И. Накопление фтора в почвах и растениях на юго-западе Украины // Мелиорация и водное хоз-во. 1992. № 1. С. 28–29.
5. Головкова Т.В., Краснова М.Н. Определение валового фтора в почве с помощью ионселективного электрода // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 1988. Вып. 42. С. 19–22.
6. Горбунов Н.И., Юдина Л.П., Зарубина Т.Г. Активность некоторых ионов в соке растений // Почвоведение. 1982. №6. С. 141–144.
7. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение // Почвоведение. 1979. № 11. – С. 61–67.
8. Кудзин Ю. К., Пашова В. Г. О содержании фтора в почве и растениях при длительном применении удобрений // Почвоведение. 1970. № 2. С. 30–35.
9. Пашова В. Т. Фтор в почве и растениях // Агрохимия. 1980. № 10. С. 165–171.
10. Седова Е.В., Шаймухаметова А.А., Соколова Н.В. и др. Поступление фтора в почву и растения и методы его определения // Агрохимия. 1984. № 6. С. 113–120.
11. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва-растение. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1997. 78 с.
12. Школьник Н.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 323 с.

FEATURES OF THE CONTENT OF FLUORINE IN SYSTEM SOIL-PLANTS

V. Trygub

*Odessa I.I. Mechnikov National University
Dvoryanskaya St., 2, UA – 65026 Odesa, Ukraine*

Dependence of the content of fluorine in plants from its content in soil is determine. The new method of an assessment of fluorine pollution of plants by a method of direct definition of active fluorine in vegetative juice by fluorine-selective electrode is offered.

Key words: fluorine, system soil-plants, an assessment of fluorine pollution.

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЯ

В. Тригуб

*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, м. Одесса, 65057, Украина*

Определено зависимость содержания фтора в растениях от его содержания в почве. Предложена новая методика оценки фторного загрязнения растений методом непосредственного определения активного фтора в растительном соке с помощью фтор-селективного электрода.

Ключевые слова: фтор, система почва–растения, оценка загрязнения фтором.

Стаття надійшла до редколегії 16.10.2007

Прийнята до друку 20.09.2008