

## АГРОХІМІЯ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВО

УДК 546.711:731.438:573.4

В.М. Світовий, І.Д. Жиляк

### Ферум і манган у чорноземі опідзоленому та вирощеній на ньому пшениці озимій

*Уманський національний університет садівництва,  
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., 20305, Україна*

Встановлено, що валовий вміст та вміст рухомих сполук мангану в чорноземі опідзоленому не перевищує гранично допустимих концентрацій. При цьому ґрунт має помірно високий валовий вміст сполук феруму. Виявлено, що валовий вміст сполук феруму та мангану у вегетуючих рослинах знаходиться у межах оптимального рівня. Передбачено, що недоцільно застосовувати мікродобрива з ферумом та манганом на чорноземі опідзоленому під час вирощування пшениці озимію.

**Ключові слова:** ферум, манган, ґрунт, пшениця озима.

V.M. Svitovy, I.D. Zhylyak

### Iron and Manganese in Soil and Winter Wheat

*Uman National University of Horticulture,  
1, Instyutska Str., Uman, Cherkasy reg., 20305, Ukraine*

Gross content and mobile compounds of manganese content in the soil does not exceed the maximum permissible concentration. Soil has moderately high gross content of iron compounds. Winter wheat contains the optimal gross content of iron and manganese compounds. Apply fertilizer with iron and manganese on soil inappropriate.

**Key words:** iron, manganese, soil, winter wheat.

*Стаття постуила до редакції 10.04.2014; прийнята до друку 25.12.2014.*

#### Вступ

Ґрунт – це вельми специфічний компонент біосфери, який виступає як природний буфер, що контролює перенесення хімічних первнів та сполук в атмосферу, гідросферу та живі організми. Ґрунт є основним джерелом надходження мікропервнів у харчові ланцюги [1].

Доктор Лайнус Полінг, лауреат Нобелівської премії з хімії (1954 р.), стверджував: «Ви можете прослідкувати вплив мінералів під час кожного захворювання або патологічному стані людини» [2].

Термін «важкі» застосовують для металів, питома маса яких перевищує 5000 кг/м<sup>3</sup>, хоча існує й інше означення, згідно з яким до важких металів належить понад 40 хімічних первнів із атомною масою вище 50 ат.од. Серед важких металів виділяють біологічно важливі мікропервні,

що входять до складу ферментативних систем та біорегуляторів найважливіших фізіологічних процесів у живих організмах. Разом з тим, надлишкова кількість мікропервнів спричиняє токсичний вплив на біоту. Їхня токсична дія виявляється за певних концентрацій, які регламентуються законодавством як гранично допустимі концентрації (ГДК) [3]. Ферум і манган та їх сполуки відносять до четвертого класу шкідливості [4].

Розв'язанню проблеми надходження важких металів у ґрунт і рослини присвячено багато наукових досліджень [5-7]. Однак, ця проблема залишається недостатньо вивченою у плані безпечності для людей чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та пшениці озимію, вирощеної на ньому, за вмістом сполук феруму та мангану. Потребує подальших досліджень і проблема забезпеченості ферумом і манганом пшениці озимію для росту та розвитку рослин, під час вирощування їх на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому.

**Метою роботи** було визначення забезпеченості ґрунту та рослин пшениці озимої сполуками феруму та мангану та виявлення їх безпечності для людей за умови тривалої відсутності внесення добрив.

## I. Експериментальна частина

**Об'єкт дослідження.** Досліджували ґрунт та рослини озимої пшениці, яка вирощувалась на ділянках дослідної сівозміни Уманського національного університету садівництва, де понад 45 років не вносили добрив. Ділянки дослідної сівозміни розташовані в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Середньо-Дніпровсько-Бузького округу Лісостепової правобережної провінції України. Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі. Фізико-хімічні властивості ґрунту: ступінь обмінної кислотності ( $pH_{KCl}$ ) – 5,3, гідролітична кислотність – 3,32 смоль/кг ґрунту, сума обмінних основ – 31,4 смоль/кг ґрунту, ємність вбирання – 34,7 смоль/кг ґрунту, ступінь насиченості ґрунту основами – 90,5 %. Властивості ґрунту і рельєф дослідного поля за своїми особливостями відповідають ґрунтовим різновидам помірно-континентальної східноєвропейської фації, в межах якої можуть бути розповсюджені отримані в досліді результати.

**Методика досліджень.** У дослідженнях екстракцію рухомих форм важких металів з ґрунту проводили 0,2 н розчином хлоридної кислоти аналогічно методу Кірсанова [8] для визначення рухомих форм фосфору та калію в одній витяжці. Цю витяжку було обрано з огляду на те, що хлоридна кислота широко використовується як екстрагент рухомих форм первнів з ґрунтів для методу атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою [9-11]. Зразки ґрунту відбирали з орного шару (0-20 см), висушували до повітряно-сухого стану та подрібнювали до розміру 2 мм. До наважки ґрунту (10 г) додавали 50 мл 0,2 н розчину хлоридної кислоти та струшували 15 хв. Суспензію фільтрували, а фільтрат використовували безпосередньо для атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою. Зразки вегетуючих рослин озимої пшениці відбирали у фазі викидання колоса. Повністю відбирали надземну частину рослини, висушували до повітряно-сухого стану та подрібнювали до розміру частинок 2 мм. Зерно пшениці збирали у фазу повної стиглості, висушували і подрібнювали. Підготовлені зразки ґрунтових витяжок, вегетуючих рослин і зерна передавали у спеціалізовану лабораторію, де досліджувались на атомно-емісійному спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою.

## II. Результати та обговорення

Ферум – життєво необхідний біомікропервень. Він бере участь в окисно-відновних процесах, що

протікають у рослинах, так як він здатний переходити з окисненої форми в закисну і навпаки. Ці властивості займають центральне місце в біологічних властивостях цього мінералу. Додаткова потреба сполук феруму для дорослої людини становить: для чоловіків 8-10 мг; для жінок 15-20 мг [12]. Разом з тим, надлишок феруму в раціоні може бути шкідливим для людини. Науковці повідомили про зв'язок між високим споживанням феруму та підвищеним ризиком хронічних захворювань, таких як серцево-судинні, діабет другого типу та раку шлунково-кишковикого тракту [13].

Кларк феруму в земній корі складає 4,65 мас. %. У ґрунтах ферум присутній, головним чином, у вигляді оксидів та гідроксидів, що знаходяться у формі невеликих часточок або зв'язаних з поверхнею певних мінералів. Загальний вміст у ґрунті  $Fe_2O_3$  коливається в дуже широких межах: від 0,5-1,0 мас. % у кварцево-піщаних ґрунтах і 3-5 мас. % у ґрунтах на лесах, до 8-10 мас. % у ґрунтах на елювії щільних феромагнезійних порід та до 20-50 мас. % у фералітних ґрунтах і латеритах тропіків. У ґрунтах також часто спостерігаються ферумні конкреції і прошарки [14]. У ґрунті ділянок даного досліді валового феруму виявлено на рівні 75390 мг/кг ґрунту (табл. 1). Аналогічні результати отримано також іншими науковцями на чорноземах типових малогумусних на лесовидному суглинку [15]. Такий вміст у ґрунті валового феруму за групуванням, запропонованим Ю.Н. Водяницьким, слід віднести до помірно високого [16]. Проте, ГДК для валового вмісту феруму та його рухомих форм у ґрунті не регламентується [17].

Таблиця 1

Вміст феруму та мангану в ґрунті та пшениці озимій

Хімічний первень	Вміст, мг/кг сухої речовини			
	Ґрунт		Пшениця	
	валовий	рухома форма	зелена маса	зерно
Mn	730,0	140,45	70,0	36,5
Fe	75390,0	19,728	68,3	30,6

Кількість розчинного феруму складає лише незначну частину від його загального вмісту в ґрунтах. За вірогідними міграційними формами ферум та манган відносяться до катіонних первнів, що у водних розчинах створюють вільні катіони [18]. Розчинні неорганічні форми феруму включають:  $Fe^{3+}$ ,  $Fe(OH)_2^+$ ,  $Fe(OH)_2^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe(OH)_3^-$ ,  $Fe(OH)_4^{2-}$ . Рухомість феруму у ґрунтах в основному визначається розчинністю аморфних водних оксидів  $Fe^{3+}$  та  $Fe^{2+}$ . Однак, у горизонтах, що багаті на органічну речовину, ферум знаходиться переважно у хелатній формі. Як правило, концентрація феруму у ґрунтових розчинах за звичайних рівнів pH змінюється від 30 до 550 мкг/л, а в дуже кислих ґрунтах вона може досягати 2000 мкг/л. Мінімальний вміст розчинного феруму формується за лужних значень pH. Саме тому кислі ґрунти більш збагачені роз-

чинними неорганічними сполуками феруму, ніж нейтральні та лужні. Було встановлено, що концентрація  $\text{Fe}^{2+}$  більше за 500 мг/кг у ґрунтовому розчині являлася токсичною для проростків рису [19]. Вважається, що критичний окисаційно-відновний потенціал для надходження в рослини  $\text{Fe}^{2+}$  лежить між 300 мВ і 100 мВ за рН 6 і 7, і -100 мВ за рН 8 [20].

У чорноземі звичайному малогумусному феруму рухомих сполук виявляли на рівні 27,6 мг/кг ґрунту [21]. За умов даного дослідження феруму рухомих сполук у чорноземі опідзоленому виявлено на рівні 19,7 мг/кг ґрунту. В даний час оптимальні та токсичні рівні феруму рухомих сполук у чорноземних ґрунтах у цілому мало вивчені [22].

Оптимальний вміст феруму у вегетуючих рослинах пшениці озимої знаходиться в межах 21-100 мг/кг [23, 24]. За умов даного дослідження вегетуючі рослини озимої пшениці на час викидання колосу мали валового феруму 68,3 мг/кг сухої речовини. Таким чином, можна стверджувати, що в рослинах сформувався оптимальний вміст валового феруму і немає потреби вносити ферум з добривами.

За [25, 26] у зерні пшениці валового феруму знаходили 29-55 мг/кг сухої речовини. У даному дослідженні валовий вміст феруму в зерні пшениці складав 30,6 мг/кг сухої речовини, що є звичним рівнем валового вмісту феруму в зерні пшениці, що вирощена на чорноземних ґрунтах України [27]. ГДК валового вмісту феруму в зерні пшениці не регламентується [28].

Кларк мангану в земній корі складає 0,1%. Внаслідок кристалохімічної близькості мангану до трьох найважливіших петрогенних первнів (Fe, Mg, Ca), він широко представлений як ізоморфна домішка в породотвірних мінералах (олівінах, гранітах, слюді, карбонатах). Значну кількість мангану містять ферум-манганові конкреції. Поведінка мангану в ґрунтах досить складна і залежить від багатьох чинників головними з яких є: рівень кислотності та окисаційно-відновний потенціал. Підвищення кислотності ґрунту та обмежений доступ у ґрунтові шари атмосферного кисню, висока вологість сприяють швидкій розчинності ґрунтового мангану, в результаті чого він стає рухливим. Водночас окисаційний манган стає недоступним для багатьох культур [29]. Варто відзначити, що надлишок рухомого мангану може вплинути негативно на загальний стан рослин. Відома токсична дія даного мікропервіня на культури, які ростуть на сильноокислих ґрунтах [30].

Манган у рослинах виступає компонентом ферментативних систем, що регулюють окисаційно-відновні реакції. Манган бере участь у процесах фотосинтезу, дихання, у вуглеводному і білковому обміні, у синтезі вітамінів, у т.ч. й вітаміну С.

За різними оцінками оптимальне споживання сполук мангану людиною знаходиться в діапазоні від 0,9 до 9,4 мг Мп/добу [31].

У ґрунтах України знаходили валового мангану 450-953 мг/кг ґрунту [29, 32]. У досліджуваному ґрунті валового мангану виявлено 730 мг/кг ґрунту, що відповідає фоновому рівню для чорноземних ґрунтів [33,34]. При цьому не перевищується ГДК для валового мангану в ґрунтах (1500 мг/кг ґрунту) [17].

За [27] у чорноземах звичайних малогумусних важкосуглинкових на лесі Степу України науковці виявляли мангану рухомих сполук у межах 42-90 мг/кг ґрунту. В досліджуваному ґрунті мангану рухомих сполук знайдено на рівні 140 мг/кг ґрунту, що відносять до високого забезпечення ґрунту рухомими формами мангану за градацією забезпеченості ґрунтів мікропервніями [35], при цьому не перевищується ГДК для рухомого мангану в ґрунтах з рН 5-6 (40 мг/кг) [17].

Раніше встановлено, що оптимальний вміст мангану у вегетуючих рослинах пшениці озимої у фазі колосіння 66-73 мг/кг сухої речовини [23]. За умов даного дослідження у вегетуючій пшениці озимій у фазі колосіння валового мангану виявлено на рівні 70 мг/кг сухої речовини. Тому, слід констатувати, що рослини пшениці озимої, під час вирощування на чорноземі опідзоленому, містять оптимальний вміст мангану. Таким чином, вносити манган з добривами недоцільно.

За [25-27, 36] у зерні пшениці мангану знаходили в межах 14-54 мг/кг сухої речовини. Вирощене за умов даного дослідження зерно озимої пшениці має вміст валового мангану 36,5 мг/кг сухої речовини. Подібний рівень вмісту валового мангану (34,4 мг/кг ґрунту) знаходили в зерні пшениці, вирощеної на чорноземних ґрунтах України [37]. ГДК валового вмісту мангану в зерні пшениці не регламентується [28].

## Висновки

**1. За умов тривалої відсутності внесення добрив (понад 45 років) валовий вміст та вміст рухомих сполук мангану в чорноземі опідзоленому не перевищує ГДК. При цьому ґрунт має помірно високий валовий вміст сполук феруму, а вміст його рухомих сполук знаходиться на рівні фонових показників для чорноземних ґрунтів.**

**2. Валовий вміст феруму та мангану в зерні пшениці озимої відповідає звичному рівню вмісту цих сполук у зерні пшениці, що вирощена на чорноземних ґрунтах.**

**3. Оптимальний рівень забезпечення сполуками феруму та мангану вегетуючих рослин пшениці озимої у фазі колосіння дає підстави не рекомендувати вносити сполуки феруму та мангану у вигляді мікродобрив, під час вирощування озимої пшениці на чорноземі опідзоленому.**

## Література

1. V. Francesco, Int. J. Env. Res. Public. Health., 8 (2), 358 (2011).
2. H. Thomas, Linus Pauling and the Chemistry of Life (Oxford U. P., New York, 1998).
3. Э.А. Александрова, Н.Г. Гайдукова, Н.А. Кошеленко, З.Н. Ткаченко, Тяжелые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль (КГАУ, Краснодар, 2001).
4. Наказ МНС України 22.03.2012. – № 627. – [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0521-12> (27.01.2014).
5. Р.А. Валерко, Вісник ДАЕУ, (1), 356 (2008).
6. С.В. Куркіна, Міграція важких металів у біотехнологічній системі з виробництва м'яса курчат-бройлерів (Автореф. дис. канд. с.-г. наук, Біла Церква, 2002).
7. М.О. Троїцький, Науково-методичний журнал: МДГУ ім. Петра Могили, серія – Екологія, 167 (179), 37 (2012).
8. ГОСТ 26207-91 (Изательство стандартов, Москва, 1992).
9. William D. Middleton, J. Of Arch. S., (23), 673 (1996).
10. M.R. Carter, E.G. Gregorich, Soil Sampling and Methods of Analysis (CRC Press Taylor & Francis Group, Abingdon, 2006).
11. Н.К. Okoro, Scient. Reports, 1 (3), 1 (2012).
12. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr (Umschau Braus Verlag, Frankfurt, 2000).
13. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals (Food Safety Authority, Parma, 2006).
14. В.А. Ковда, Грунтознавство (Вища школа, Київ, 1988).
15. Ю.В. Буц, О.В. Крайнюк, Проблеми надзвичайних ситуацій. Збір. наук. праць НУЦЗ України, 10, 52 (2009).
16. Ю.Н. Водяницкий, Минералогия почвенного железа (Почв. инст. им. В.В. Докучаева, Москва, 2002).
17. Гигиенические нормативы: ГН 2.1.7.2041–06.
18. С.Р. Крайнов, Геохимия редких элементов в подземных водах (Недра, Москва, 1973).
19. A. Kabata-Pendias, Trace Elements in Soils and Plants (CRC PRESS, Boca-Raton, 2001).
20. S. Gotoh, W.H. Patrick Jr, Soil Sci. Soc. Am. Proc., (38), 66 (1974).
21. Т.Ф. Яковишина, Детоксикація забруднених важкими металами чорноземів звичайних північного степу України (Автореф. дис. канд. с.-г. наук, Житомир, 2006).
22. Ю.П. Танделов, Плодородие кислых почв земледельческой территории Красноярского края (б. и., Красноярск, 2012).
23. В.В. Церлинг, Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник (Агропромиздат, Москва, 1990).
24. E.E. Schulte, Cooperative Extension Service University of Wisconsin-Extension, 3554, 1 (1992).
25. M.S. Zeidan, Jour. of Agric. Sci., 6 (6), 696 (2010).
26. R.P. Narwal, R.S. Malik, R.R. Dahiya, 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 (Brisbane, 2010), с. 1.
27. В.І. Чабан, С.М. Крамарьов, О.Ю. Подобед, Вісник ДДАУ, (2), 77 (2012).
28. ДСТУ 3768–04 (Держспоживстандарт України, Київ, 2004).
29. Н.В. Довганич, І.В. Мазепа, У.О. Мазепа-Крижанівська, Вісник ПНУ ім. В. Стефаника. Серія "Хімія", XIV, 77 (2012).
30. Марганцевые удобрения. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.e-reading.co.uk/chapter.php/78577/22/Petrosyan\\_-\\_Sad\\_i\\_uchastok.\\_Udobreniya\\_i\\_podkormki.html](http://www.e-reading.co.uk/chapter.php/78577/22/Petrosyan_-_Sad_i_uchastok._Udobreniya_i_podkormki.html).
31. G Ellen, E Egmond, Van Loon JW, E. T. Sahertian, K. Tolsma, Food Add. and Contam, (7), 207 (1990).
32. Э.Я. Жовинский, Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины (Наукова думка, Київ, 2002).
33. С.М. Рижук, М.В. Лісовий, Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (Наукова думка, Київ, 2003).
34. Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин, Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами (Агроконсалт, Москва, 1999).
35. М.А. Флоринский, Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий (Центр научн.-техн. информ., пропаганды и рекламы, Москва, 1994).
36. В.Н. Зайцев, Интегрированное влияние удобрений и фунгицида на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на чернозёме обыкновенном (Автореф. дис. канд. с.-г. наук, Ставрополь, 2010).
37. В.П. Кучерявий, Екологія (Світ, Львів, 2001).

**Світовий Валерій Михайлович** – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри хімії.

**Жиляк Іван Дмитрович** – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії.