

ДІАГНОСТУВАННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО СТАНУ СИСТЕМИ "ГРУНТ – РОСЛИНА" В АГРОЦЕНОЗАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

В. І. Чабан, С. П. Клявзо, кандидати сільськогосподарських наук;

О. Ю. Подобед

ДУ Інститут зернових культур НААН України

Досліджено мікроелементний стан системи "грунт – рослина" при вирощуванні пшениці озимої в зоні Степу України. Для вмісту рухомих форм Zn, Mn характерне суттєве варіювання і зниження його значень впродовж вегетації озимини. Аналогічні закономірності щодо вмісту ME простежуються не тільки в ґрунті, але й у вегетативній масі рослин пшениці озимої. Встановлено (за КБП) одну з важливих особливостей зернової культури в напрямку вибіркового поглинання ME. Отримані високі ($r > 0,70$) кореляційні зв'язки між вмістом ME в рослинах на початкових фазах розвитку (кущення – трубкування) і вмістом їх у зерні, що є підставою для діагностування та оперативного коригування мікроелементного живлення рослин пшениці у відповідний період.

Ключові слова: чорнозем, забезпеченість, мікроелементи, пшениця озима.

У структурі зерновиробництва провідне місце посідає пшениця озима, питома вага якої у валовому зборі зерна становить 48 % [1, 2, 3]. Тому пошук шляхів підвищення її урожайності залишається пріоритетним завданням і його вирішення можливо домогтися шляхом удосконалення агротехнологічного рівня виробництва, у тому числі й за рахунок оптимізації мінерального живлення. Вміст елементів живлення у ґрунті є одним з критеріїв оцінки агроecологічних умов при вирощуванні сільськогосподарських культур [4]. Поряд з макроелементами (N, P, K, Ca, Mg, S) важливе значення у живленні рослин належить і мікро-елементам (ME). Однак в сучасних умовах відсутність якісних попередників, мінімальні обсяги внесення мінеральних добрив при дефіциті органічних призводять до порушення процесів живлення рослин. Ці негативні фактори на фоні прояву посушливості клімату суттєво впливають на рівень урожайності озимини і якість продукції, стримуючи тим самим реалізацію генетичного потенціалу продуктивності сортів інтенсивного типу. Для вирішення цих питань актуальним є контролювання мікроелементного стану в системі "грунт – рослина" упродовж вегетаційного періоду [5, 6, 7]. Виходячи з вищевикладеного, мета досліджень полягала у встановленні закономірностей динаміки вмісту мікроелементів (ME) у чорноземі звичайному та з'ясуванні особливостей їх накопичення рослинами пшениці озимої протягом вегетаційного періоду.

Дослідження проводили у 2010–2014 рр. у стаціонарних та короткотермінових дослідах лабораторій родючості ґрунтів (Ерастівська дослідна станція), сівоzмінах і природо-охоронних системах обробітку ґрунту (Розівська дослідна станція). Розглядали варіанти: без добрив, з мінімальним, оптимальним, підвищеним рівнем живлення рослин та органічну, мінеральну, органо-мінеральну системи удобрення. Ґрунтовий покрив дослідних ділянок – чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий і легкоглинистий, з середньозваженим вміст гумусу 4,0-4,3 та 4,9–5,1 % відповідно до гранулометричного складу.

Методи досліджень – польовий, лабораторно-аналітичний, статистичний. Одночасно відбирали зразки ґрунту з орного (0–20 см) шару згідно з ДСТУ 4287:2004 [8] по фазах розвитку рослин пшениці озимої: весняне кущення, трубкування, колосіння, повна стиглість зерна і зразки рослин за прийнятими в агрохімії методиками.

Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунті визначали в ацетатно-амоній буферній витяжці з рН 4,8 (ДСТУ 4770.1-4770.9:2007) методом атомно-абсорбційної спектروفотометрії на приладі С-115М1 [9, 10, 11, 12].

Визначення вмісту мікроелементів (Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd) у вегетативній масі, соломі та зерні пшениці озимої здійснювали після мінералізації рослинних зразків

методом сухого озолення [13] з дальшою обробкою розчином азотної кислоти за методикою ЦІНАО [14] на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115М1 з атомізацією в повітряно-ацети-леновому полум'ї.

Відомо, що мікроелементи є найважливішими регуляторами процесів метаболізму живих організмів. Кожен з елементів має свій безпечний діапазон концентрацій, який забезпечує рослинам нормальну життєдіяльність. Основним фактором, що впливає на накопичення МЕ рослинами є забезпеченість ґрунту рухомими формами елементів живлення. Як пока-зали результати досліджень, вміст легкокорозчинних Mn, Zn, Cu, Co в орному шарі ґрунту варіював у широких межах – залежно як від фази розвитку, так і рівня живлення (табл. 1).

1. Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунті по фазах розвитку пшениці озимої, мг/кг

Фаза розвитку	Zn	Mn	Cu	Co
Кущення	<u>0,58*</u> 0,30–1,00	<u>54,7</u> 25,7–97,0	<u>0,17</u> 0,13–0,25	<u>0,47</u> 0,41–0,60
Вихід у трубку	<u>2,22</u> 1,42–3,85	<u>92,6</u> 72,4–109,7	<u>0,21</u> 0,16–0,25	<u>0,48</u> 0,43–0,58
Колосіння	<u>0,41</u> 0,23–0,70	<u>47,5</u> 16,8–87,0	<u>0,15</u> 0,11–0,21	<u>0,40</u> 0,31–0,46
Повна стиглість	<u>0,46</u> 0,23–0,88	<u>46,7</u> 19,8–83,8	<u>0,15</u> 0,12–0,19	<u>0,35</u> 0,27–0,47

* Чисельник – середній вміст; знаменник – коливання вмісту (min-max).

Вивчення динаміки вмісту МЕ у ґрунті свідчить, що максимальні значення рухомих сполук Zn, Mn, Cu, Co були у початковий період розвитку рослин (трубкування) з різким, а для окремих елементів поступовим зниженням у фазі колосіння. Причому, коливання їхньої кількості впродовж вегетації досягало 1,4–5,0 разів. Найбільш суттєві відмінності рухомості елементів у ґрунті по фазах розвитку рослини відмічено для Zn. Так, у фазі весняного кущення середній вміст елементу становив 0,58 мг/кг, у фазі виходу в трубку його концент-рація збільшувалася в 3,8 раза (2,22 мг/кг), а в фазах колосіння і повної спілості – зменшу-валася до 0,41–0,46 мг/кг. Кількісні зміни його в ґрунті зумовлені високою потребою рослин озимини саме в даному елементі живлення. Це підтверджується даними статистичного аналізу, які свідчать, що варіювання вмісту легкокорозчинного Zn у ґрунтах в основному зумовлене його динамікою в часі (сила впливу 88 %).

Марганець належить до елементів, здатних різко змінювати рухомість під впливом зовнішніх факторів, зокрема рівня мінерального живлення. Кількісні значення Mn за вегета-цію рослин змінювались від 92,6 мг/кг у фазі трубкування до 46,7 мг/кг при настанні повної стиглості зерна, або майже в 2 рази. Результати статистичної обробки даних показують, що внесення мінеральних добрив сприяло достовірному збільшенню (на 41 %) рухомості Mn по всіх фазах розвитку рослин порівняно з контролем. При цьому сила впливу фактора живлення на вміст Mn в ґрунті становила 52 %, а фактора розвитку рослини – 31 %.

Показники вмісту міді і кобальту коливались порівняно у незначних межах та слабо змінювались під впливом добрив. Їхні кількісні значення впродовж вегетації знижувались на 37–40 % (з 0,21 до 0,15 та з 0,48 до 0,35 мг/кг ґрунту відповідно). За результатами диспер-сійного аналізу достовірний вплив на вміст легкокорозчинних форм Cu та Co більшою мірою визначався періодом розвитку рослин ($F_{\phi} > F_T$ при рівні вірогідності 5 %).

Відповідно до групування ґрунтів за вмістом рухомих форм МЕ (за Важеніним) для

сільськогосподарських культур з невисоким виносом мікроелементів (зернові колосові), зональні чорноземи характеризуються високою забезпеченістю марганцем і низькою – цинком. Така градація наявних в ґрунті елементів має місце впродовж усіх фаз розвитку рослин пшениці озимої. В той же час простежується перерозподіл забезпеченості ґрунтів рухомими формами міді і кобальту за вегетаційний період рослин: забезпеченість Cu трансформувалась у низьку, а Co – у середню. Тобто вирощування на такому агрофоні сортів інтенсивного типу повинно супроводжуватись обов'язковим застосуванням мікродобрив.

Формування елементного складу рослин залежить від ґрунтово-кліматичних умов, застосування добрив та інших факторів. Отже, досить повне уявлення про рівень мінерального живлення культури можна отримати, спираючись одночасно як на результати ґрунто-вої, так і рослинної діагностики.

Визначення хімічного складу вегетативної маси пшениці озимої свідчать, що вміст МЕ змінювався впродовж вегетаційного періоду і суттєво залежав від дії добрив (табл. 2).

2. Вміст мікроелементів у рослинах пшениці озимої по фазах розвитку мг/кг

Фаза розвитку	Zn	Mn	Cu	Co
Кущення	<u>3,10*</u> 1,74–5,30	<u>28,2</u> 18,5–45,0	<u>2,55</u> 1,55–4,19	<u>0,81</u> 0,53–1,22
Вихід у трубку	<u>13,8</u> 8,97–18,7	<u>42,0</u> 34,8–47,6	<u>5,63</u> 4,35–6,47	<u>0,72</u> 0,64–0,78
Колосіння	<u>1,62</u> 0,77–3,91	<u>3,84</u> 5,62–16,7	<u>2,34</u> 1,66–3,05	<u>0,40</u> 0,33–0,49
Повна стиглість солома)	<u>2,28</u> 0,65–6,72	<u>8,28</u> 0,73–28,8	<u>0,93</u> 0,15–3,26	<u>0,35</u> 0,14–0,68
Повна стиглість (зерно)	<u>21,7</u> 10,5–43,6	<u>23,9</u> 12,1–47,6	<u>3,17</u> 1,43–7,20	<u>0,35</u> 0,10–0,70

* Чисельник – середній вміст; знаменник – коливання вмісту (min-max).

Згідно з отриманими результатами середні показники вмісту Zn, Mn в рослинах були найвищими у фазі виходу в трубку і становили 13,8 і 42,0 мг/кг з коливанням по варіантах дослідів в межах 8,97–18,7 та 34,8–47,6 мг/кг відповідно, що підтверджує важливе фізіоло-гічне значення елементів при закладанні і формуванні генеративних органів. У фазі колосіння відбувалось зменшення їхніх кількісних значень в 8–11 разів. Вміст міді та кобальту в рослинах знижувався з 5,63 до 2,34 та з 0,72 до 0,40 мг/кг (в 2,4 та 1,8 разів відповідно). Дисперсійний аналіз показав достовірний вплив на вміст Zn, Mn, Cu у вегетативній масі озимини більшою мірою фізіологічного стану розвитку, ніж добрив. Концентрація кобальту у фазі виходу в трубку і колосіння в різних варіантах живлення змінювалась слабо і коливалась у незначних межах (0,64–0,79 та 0,33–0,49 мг/кг).

Найнижчий вміст всіх елементів у вегетативній масі озимини був у фазі колосіння, коли процеси приросту біомаси відзначаються високою інтенсивністю, що зумовлено, в основному, явищем «ростового» розбавлення.

Узагальнення даних вмісту МЕ в зерні та солоні пшениці озимої уможливило встановити особливості розподілу елементів між основною і побічною продукцією (табл. 2), а співставлення їх з результатами, наведеними в літературних джерелах, свідчить, що показники мікроелементного складу варіювали у межах, характерних для культури. За кількісною характеристикою найбільші значення МЕ в зерні належали Mn та Zn (23,9 та 21,7 мг/кг), значно меншим було накопичення міді й кобальту. Такий розподіл є наслідком неоднакової біофільності елементів і специфіки їх функціонального призначення. Генеративні органи рослин озимої пшениці накопичували в 3 рази більше Mn, Cu та в 10 разів – Zn, ніж вегета-тивні. Значна кількість Zn, Mn, Cu, які беруть активну участь у біохімічних реакціях, концентрується саме в зерні. Також слід вказати, що їхній вміст в основній продукції відзнача-чався більшою стабільністю – коефіцієнт варіації був на середньому рівні ($V = 22-33 \%$), тимчасом як для соломи він був високий ($V = 55-76 \%$),

що свідчить про вплив комплексу факторів (грунтово-кліматичні, генетичні, рівень живлення) на доступність елементів.

Дані вмісту МЕ в рослинах озимої пшениці дають можливість встановити генетично зумовлені особливості культури щодо вибіркового засвоювання елементів за вирощування її в умовах північного Степу. Використання будь-якого елемента рослиною означає його залучення в біологічну міграцію, але, оскільки фізіологічне значення елементів неоднакове, то й інтенсивність цього процесу різна. Дана закономірність підтверджується коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП) елементів рослинами. Вважається, що при КБП > 1 елементи накопичуються рослинами, при < 1 тільки захоплюються, причому, як ступінь накопичення, так і ступінь захоплення значно різняться між собою залежно від фази розвитку (табл. 3).

3. Коефіцієнти біологічного поглинання (КБП) мікроелементів по фазах розвитку рослин пшениці озимої

Варіант	Zn	Mn	Cu	Co
Весняне кущення				
Контроль	0,43	0,44	0,81	0,42
Мінеральні добрива	0,71	0,54	1,28	0,49
Вихід у трубку				
Контроль	3,30	0,97	4,54	0,85
Мінеральні добрива	5,40	1,54	6,00	1,18
Колосіння				
Контроль	0,15	0,11	0,96	0,32
Мінеральні добрива	0,21	0,18	1,25	0,39
Повна стиглість (солома)				
Контроль	0,20	0,07	1,17	0,23
Мінеральні добрива	0,37	0,09	1,99	0,49
Повна стиглість (зерно)				
Контроль	25,3	2,8	14,8	1,73
Мінеральні добрива	29,0	4,2	16,4	1,98

На початковому етапі розвитку рослин озимини більшість металів належать до групи слабого біологічного поглинання і розмістити їх можна наступним чином: Cu > Zn > Mn > Co. Аналогічна залежність простежувалась у фазі колосіння. За найбільш інтенсивного використання МЕ, а саме в фазі трубкування, і збереження значущості указанного вище ряду елементів (Cu > Zn > Mn > Co) показники КБП для міді і цинку були > 3.

Найвищі значення КБП (>3) відмічені в зерні для таких елементів, як Zn, Cu, Mn, дещо менші (>1) вони для Co. Встановлена загальна закономірність зростання КБП для мікроелементів на фоні внесення мінеральних добрив на всіх етапах розвитку рослин пшениці озимої за сильного, середнього і слабого рівня біологічного поглинання.

З метою встановлення залежностей між показниками, які характеризують мікроелементний стан ґрунтів та інтенсивність їхнього переходу в рослини, нами був проведений математичний аналіз на підставі коефіцієнта кореляції (r). Отримані зв'язки можуть слугувати для більшості елементів надійним критерієм діагностики їхнього вмісту в ґрунті за ступенем акумуляції в основній та побічній продукції озимини, що уможливорює вивести статистично суттєві залежності між цими показниками. Встановлено, що достовірний прогноз вмісту окремих МЕ в рослинах за даними ґрунтової діагностики можливо одержати спираючись на рівняння лінійної регресії. Отримано високі (r > 0,70) кореляційні зв'язки між вмістом у ґрунті і рослинах пшениці озимої таких біогенних елементів, як Zn, Mn, Cu, Co, у відповідні фази їхнього розвитку. Високий достовірний кореляційний зв'язок у системі "ґрунт – рослина" характерний для цинку. Однаково чітко він проявлявся як у фазах кущення, так і трубкування та колосіння (табл.

4).

4. Регресійна залежність для Zn в системі "грунт – рослина"

Фаза розвитку	Рівняння регресії	Коефіцієнт регресії
Кущення	$Y^* = 44,19X^{**} - 1,18$	$r = 0,95$
Вихід у трубку	$Y = 1,42 - 0,92X$	$r = -0,99$
Колосіння	$Y = 20,6 - 1,75X$	$r = -0,92$

* Вміст Zn в рослинах, мг/кг. ** Вміст Zn в ґрунті, мг/кг.

Аналогічна закономірність відповідно до фази розвитку відмічена для Cu ($r = -0,99; -0,94; 0,97$). Для інших елементів значення коефіцієнтів кореляції істотно змінюються від низьких до високих.

За результатами статистичного аналізу встановлені високі достовірні кореляційні зв'язки ($r = 0,97-0,99$) між вмістом Zn, Mn, Cu, Co в рослинах у фазі кущення та зерні. Високими ($r = 0,76-0,87$) вони були у фазі колосіння. Оскільки для всіх досліджених елементів високі коефіцієнти кореляції отримано на початкових етапах органогенезу, то діагностику слід проводити в цей період.

Таким чином, вміст рухомих форм Zn, Mn, Cu, Co у чорноземі звичайному достовірно варіює упродовж вегетації пшениці озимої. Найбільша кількість цих елементів відмічена в початковій фазі розвитку з суттєвим зниженням при настанні повної стиглості. Рухомість цинку знижувалась в 5,5–6,2; марганцю – 1,3–4,3; міді і кобальту – 1,2–1,6 рази, що пов'язано як з використанням елементів рослинами, так і їхнім переходом у важкодоступні форми.

Встановлено (за КБП) генетично зумовлені особливості культури щодо вибіркового поглинання ME, а відтак і потребу в них впродовж вегетації: кущення і трубкування – $Cu > Zn > Mn > Co$ та колосіння – $Cu > Co > Zn > Mn$, що свідчить про різну біофілію елементів і функціональне призначення.

Отримано високі ($r > 0,70$) кореляційні зв'язки між вмістом біогенних елементів (Zn, Mn, Cu, Co) в системі "грунт – рослина" та "рослина – зерно" у фазі кущення і трубкування, що слугує підставою для проведення діагностування та оперативного коригування мікроелементного живлення.

Бібліографічний список

1. Програма "Зерно України – 2015". – К.: ДІА, 2011. – 48 с.
2. Розвиток зернового господарства України / М. Г. Лобас. – К.: НВАТ Агроінком, 1997. – 452 с.
3. Економіка виробництва зерна (з основами організації і технології виробництва): [моногр.] / [Бойко В. І., Лебідь Є. М., Рибка В. С. та ін.]; за ред. В. І. Бойка. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 400 с.
4. Агроэкологическая оценка земель Украины и размещение сельскохозяйственных культур / Под ред. В. В. Медведева. – К.: Аграр. наука, 1997. – 164 с.
5. Агрохімічне забезпечення землеробства України на період до 2020 року / За ред. С. А. Балюка, А. С. Заршняка, М. В. Лісового. – Х.: КП Міськдрук, 2013. – 58 с.
6. Церлинг В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: [справочник] / В. В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
7. Диагностика стану хімічних елементів системи ґрунт – рослина / За ред. А. І. Фатеєва, В. Л. Самохвалової. – Х.: КП Міськдрук, 2012. – 146 с.
8. Якість ґрунту. Відбирання проб: 4287:2004. – [Чинний від 2004-04-30]. – К.: Держспожив-стандарт України, 2005. – 9 с. – (Національний стандарт України).
9. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії: ДСТУ 4770.1:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 9 с. – (Національний стандарт України).
10. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-

- ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.6:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 9 с. – (Національний стандарт України).
11. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.5:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 9 с. – (Національний стандарт України).
 12. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.2:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 9 с. – (Національний стандарт України).
 13. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов: ГОСТ 26929-86. – [Введен в действие с 01.12.1986]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 13 с. – (Міждержавний стандарт СНД, діє в Україні).
 14. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов, Э. П. Махонь-ко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: ЦИНАО, 1992. – 62 с.