

УДК 631.4.879

М.О. Горін, Г.Ф. Ольховський

Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

## СПОЖИВАННЯ ОРГАНАМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ МАКРО- І МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ПОЖИВНОГО РЕЖИМУ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО

*Викладено результати піонерних досліджень на стаціонарних полігонах розміщення хімічних елементів у зерні, вегетативних органах пшениці та ґрунті. Виявлено однакову послідовність елементів у зерні пшениці, вирощеній на двох поживних фонах – контролі і варіанті агрохімічного окультурювання чорнозему. Мінімальні концентрації в продовольчому зерні елементів з групи небезпечних забруднювачів надають підстави для високих оцінок екобезпеки пшеничної продукції, вирощеної на різних агрохімічних фонах чорнозему типового.*

*Ключові слова: хімічні елементи, важкі метали, мікроелементи, чорнозем, озима пшениця, органи рослин, листя, зерно, добрива, екологічна оцінка, забруднення.*

**Постановка проблеми.** Як відомо, рослини здатні поглинати з навколишнього середовища (передусім з ґрунту) майже всі хімічні елементи періодичної системи, однак безумовно необхідними (фізіологічно та біохімічно запитаними) є лише частина відомих елементів – усього 19 макро- і мікроелементів [1-5]. Питання про розподіл і локалізацію цих елементів живлення по органах вирощуваних рослин, а разом з тим і вплив такого розподілу на врожайність та якість продовольчої продукції є однозначно актуальним, але все ще залишається без переконливої відповіді. Сказане спонукало авторів дослідити закономірності надходження з ґрунту (чорнозем типовий) та локалізації в органах найважливішої продовольчої рослини, якою є поза сумнівом озима пшениця, ряду елементів, які споживаються переважно у формі катіонів (крім калію, який тут не розглядається). Серед досліджених елементів особливо прискіпливу увагу було приділено важким металам (ВМ), серед яких є біогенні мікроелементи (Zn, Cu, Mn, Co та ін.) і біоцидні забруднювачі ґрунтів, рослинної продукції, біосфери в цілому (Pb, Cd та ін.). Отримання на чорноземних ґрунтах високих і біологічно повноцінних урожаїв озимої пшениці унеможлиблюється без науково обґрунтованих систем удобрення, які повинні враховувати екологічні аспекти цієї проблеми, що, власне, й надихнуло авторів продовжити виклад результатів піонерних польових досліджень та аналізів, виконаних на новітньому обладнанні кафедри агрохімії факультету ґрунтознавства МДУ ім. М.В. Ломоносова [3].

**Мета досліджень** – порівняти вміст біогенних та абіогенних елементів, зокрема важких металів (ВМ) в озимій пшениці на різних за поживним режимом варіантах чорнозему типовому саме в екологічному аспекті, який актуалізувався за сучасних умов землегосподарювання, ускладнених проблемами охорони природного навколишнього середовища, у т.ч. й від хемогенного забруднення. Особливості живлення сільськогосподарських рослин багато в чому залежать від їх забезпеченості макро- та мікроелементами, серед яких є й такі, наявність яких у продовольчій сировині та кормах є небажаною. Передусім, це стосується ВМ та деяких інших еконебезпечних елементів. Вивчення закономірностей розподілу біогенних (поживних) та інших (забруднюючих) елементів підтверджує однозначну біохімічну заданість подібного розподілу, зумовлену немалою мірою фізіологічними функціями органів (листки – фотосинтез, транспірація, відтік пластичних речовин; стебла – рух поживних речовин і метаболітів, води, забезпечення тургору тощо), а з

іншого боку надає достовірну інформацію для контролювання точності аналізів через порівняння результатів аналізу сусідніх органів. Отримані нами результати також дають можливість удосконалювати існуючі методи діагностування режиму живлення вирощуваних рослин.

**Об'єктами дослідження** були контрольні та удобрені варіанти посівів озимої пшениці на чорноземі типовому у польовому досліді в навчгоспі Харківського НАУ ім. В.В. Докучаєва. У статті наведено результати досліджень за 1986 р., коли були синхронно відібрані та проаналізовані на кафедрі агрохімії МДУ ім. М.В. Ломоносова (Г.А. Соловйов) зразки чорнозему типового глибокого важкосуглинкового з варіантів: 1) неудобрений контроль; 2)  $N_{208}P_{132}K_{140}$  (норма, розрахована на повне забезпечення потреб озимої пшениці в головних елементах живлення). Дослід розташований неподалік (біля двох кілометрів) міждержавної автостради і на відстані півтора десятка кілометрів на схід від індустріальних гігантів м. Харкова. Отже, не можна відкидати можливу причетність означених об'єктів до хемогенного забруднення чорнозему дослідного поля, а отже, й вирощуваної там рослинної продукції. Уміст хімічних елементів визначали методом атомно-емісійного аналізу амонійно-оцтової витяжок із ґрунту та солянокислого розчину золи рослин пшениці з використанням індукованої плазми [3]. Головні стебла рослин пшениці були розділені на органи в такому порядку: 5-і листки представлені верхніми листками на стеблі (п'ятий ярус); 4-і листки розташовані нижче п'ятих, 3-і – нижче четвертих; два нижніх яруси листків об'єднали, вони втратили на цей час свої функції, проте вміщували у відповідній кількості поглинуті поживні елементи. Синхронно листкам були відібрані міжвузля за ярусами зверху донизу. Листки для аналізу відбирали з листовими піхвами, тож міжвузля є складовою частиною стебел, яким притаманні провідна і транспортуюча фізіолого-біохімічні функції. Прискіпливу увагу приділено концентрації і розподілу хімічних елементів в органах рослин озимої пшениці у фазу *цвітіння-початок формування зернівок*, коли ріст у висоту закінчується і завершується накопичення органічних речовин у вегетативних органах. Інформація про розподіл елементів є важливою для діагностики функціональної заданості тих чи інших органів, а отже, й складання нормативів забезпечення вирощуваних рослин елементами живлення, у т.ч. й з урахуванням процесу реутилізації певних елементів (наприклад, калію) при формуванні зернівок, від чого безумовно залежить і біологічна якість продовольчої продукції.

**Результати досліджень.** Уміст елементів кореневого (ґрунтового) живлення наведені в табл. 1 у досліджуваних органах рослин озимої пшениці.

У хаотичності даних при ретельному перегляді виявляються очевидні закономірності. Так, починаючи з нижніх міжвузлів (по яких під впливом кореневого тиску і транспірації – рух ксилемою – надходять у верхні органи вода і поживні речовини) чітко наростають концентрації (від нижніх до верхніх міжвузлів), досягаючи максимуму в колосах. У фотосинтезуючих органах – листках п'ятого і четвертого ярусів уміст поглинутих елементів наближається до їх умісту в колосах. Зате в листках третього ярусу (з менш інтенсивним забарвленням і сповільненою енергією фізіолого-біохімічних процесів) фіксується акумуляція елементів з невизначеними фізіологічними функціями (Al, Pb, Cr), яка наростає у листках першого-другого ярусів – у фазі цвітіння вони вже пожовкли, а до вказаних багатовалентних елементів додалися Ca і Fe, що пов'язано з неможливістю переміщення з цих органів вказаних хімічних елементів. Рівномірним виявився розподіл по органах Cu та Ni, а найменші концентрації притаманні Co, Pb і Cd. Якщо Co є відомим мікроелементом (потрібен бобовим, єдиний з металів входить до

складу вітамінів – B<sub>12</sub>), то присутність двох останніх ВМе гранично регламентованою (вони непотрібні у продовольчій продукції).

**1. Розподіл хімічних елементів по органах озимої пшениці (пср) у фазі цвітіння(5, 4, 3, 2, 2-1 листки і міжвузли) та повної стиглості (зернівки) на різних за поживним режимом агроземних варіантах чорнозему типового (Ko – контроль, без добрив; У – N<sub>208</sub>P<sub>132</sub>K<sub>140</sub>), мг/кг (Ca – Cr), мкг/кг (Pb, Co, Cd)**

Орган	Вар	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Sr	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Co	Cd	
Листки	5	Ko	3300	800	43	47	25	16	8	4	4,5	4,7	400	80	24
		У	5300	1470	59	68	59	42	8	3	3,3	3,9	440	40	32
	4	Ko	2900	410	58	48	18	14	2	3	3,3	6,7	400	80	8
		У	5200	1430	55	69	52	34	5	4	4,1	5,1	440	120	60
	3	Ko	3200	440	93	76	26	14	3	3	4	13	480	40	4
		У	4600	1070	92	64	40	30	2	5	2,7	3,3	360	100	40
	2-1	Ko	5200	800	773	470	106	20	5	4	5	16	280	120	8
		У	4700	850	468	163	49	35	3	5	5	10	400	40	16
Колоси	Ko	1000	800	36	62	20	9	16	5	6,9	14	240	80	4	
	У	1300	1000	58	70	28	13	21	4	5,6	6,7	360	280	4	
Міжвузли	5	Ko	800	700	26	39	31	7	18	6	4,3	7	280	80	28
		У	1300	960	29	41	50	15	17	4	4,8	5	320	120	24
	4	Ko	700	620	22	22	32	14	9	6	2,8	3	160	40	20
		У	1200	930	26	26	40	12	8	5	3,4	1,6	160	40	8
	3	Ko	600	210	26	23	14	5	2	4	3,4	3,6	160	160	4
		У	700	520	26	20	19	7	4	4	2,7	1,4	240	80	20
	2	Ko	800	200	32	24	15	4	2	4	3,4	3	160	240	4
		У	600	280	34	19	10	6	1	3	3,1	0,7	80	360	28
Зернівки	Ko	350	1275	15	28	38	4	24	6	1,6	0,1	60	120	2	
	У	450	1150	16	36	47	5	21	4	1,6	0,2	80	40	2	

На варіантах агрохімічного окультурювання чорнозему (N<sub>208</sub>P<sub>132</sub>K<sub>140</sub>) у досліджуваних органах рослин озимої пшениці явно оптимізувався (підвищився) вміст таких явних біогенних елементів, як Ca, Mg, Mn, Fe, Al і Sr на тлі зменшення кількості забруднювальних елементів – Cr, Ni, Pb, Cd. Таке удобрювальне коригування хімічного складу продовольчої продукції (підвищення в зернівках вмісту фізіологічно значущих Ca, Fe, Mn) отримує високі екологічні оцінки.

Підвищення врожайності сільськогосподарських рослин на варіантах агрохімічного окультурювання чорнозему типового підтверджує добре відомий факт, що вирощувані рослини у переважній більшості випадків стикаються, за деякими винятками, саме з дефіцитом поживних елементів у ґрунті. Безумовно, що проблема полягає в недоступності для рослин навіть рухомих форм поживних речовин. Відомо, що 98 % біоелементів знаходяться у ґрунті у складі фіторешток, гумусу, труднорозчинних сполук, мінералів тощо. Зазвичай, рослини поглинають з ґрунту різні елементи або з фонду обмінно-поглинутих катіонів, або з розчинних мінеральних солей, причому поглинають вибірково, суто фізіологічно. Однак, і поглинання фізіологічно непотрібних елементів (у разі надмірних концентрацій рухомих форм у ґрунті) на сьогодні є доказовим фактом. Це є підставою для того, щоб вважати хімічний склад рослин все ж таки індикатором (фітохемоіндикатором) геохімічної специфіки тих чи інших ландшафтних екосистем (у нашому випадку – чорноземно-степових) [4].

За нашими даними (табл. 2) є певна закономірність в узгодженні хімічного складу рослин озимої пшениці з вмістом рухомих форм хімічних елементів на різних

за поживним режимом варіантах чорнозему типового. Так, усі елементи, виявлені ацетатним розчином у чорноземі, надійшли у рослин пшениці, зокрема й ті, що не входять до згаданих вище фізіологічно вкрай необхідних елементів. Це такі елементи, як алюміній і стронцій (не виключено, що вони є потрібними рослинам), нікель, хром, свинець, кадмій. Безумовно, що повного збігу рядів умісту хімічних елементів (металів, катіонів) у ґрунті і в органах пшениці не варто було очікувати (це добре відомо в літературі). Проте на однакових місцях у рядах (ґрунтових і рослинних) виявилися такі метали, як Ca, Sr, Pb, Co, Cd.

## 2. Ряди елементів за зменшенням їх умісту в чорноземі та органах озимої пшениці

Варіант	Ряд	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ґрунт	Ко, У	Ca	Mn	Al	Mg	Fe	Sr	Ni	Pb	Cu	Zn	Cr	Co	Cd
Ко	II	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Sr	Cr	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cd
У	III	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Sr	Cr	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	Cd
Ко	IV	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Sr	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	Co	Cd
У	V	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Sr	Cr	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	Cd
Ко	VI	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Al	Cu	Sr	Ni	Cr	Pb	Co	Cd
У	VII	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Al	Cu	Sr	Ni	Cr	Pb	Co	Cd

*Цілі стебла:* II – Ко; III –  $N_{208}P_{132}K_{14}(У)$ ; *4 листки:* IV – Ко; V – У; *Зерно:* VI – Ко; VII – У

Показово, що імперативно запитаний рослинами фотосинтетично активний Mg, займаючи у чорноземі далеко не перше (четверте) місце, у зерні пшениці вийшов явно на перше (а в інших органах стабільно посів друге) місце. Не менш знаковим виявилось переміщення такого важливого для рослин мікроелемента, як залізо, з п'ятої позиції у ґрунті на четверте (і навіть третє) місце в органах пшениці. При зближених концентраціях в органах пшениці заліза та алюмінію, вони були здатні мінятися місцями – так на удобрених варіантах залізо в стеблах і листках посідає третє місце, а алюміній переміщується на четверте (на контролі – навпаки, алюміній знаходиться на третьому місці). У зерні ж залізо поступається третім місцем марганцю, а алюміній переходить на шосте місце (після цинку) – як на контрольному, так і на удобреному варіанті. Якщо біогенність заліза (а отже й потреба у ньому рослин) є давно чітко встановленою, то стосовно алюмінію цього сказати не можна. Хоча для кукурудзи (родички пшениці по сімейству злаків) доведено, що до її складу алюміній входить у явно підвищеній кількості [5], отже між алюмінієм і залізом можуть існувати конкурентні взаємовідносини.

Серед інших досліджених нами елементів слід відмітити значну проникаючу здатність у рослини пшениці хрому – з 11 місця у ґрунтовому ряду цей важкий метал посів в органах рослин сьоме місце. Останні три місця в рослинному ряду були стабільно зайняті свинцем, кобальтом і кадмієм. Якщо два останні елементи в органах рослин займали такі ж місця, як і в ґрунті, то свинець перемістився із восьмого місця у ґрунті на 11 – у пшениці. Цинк, нікель і мідь мали зближені концентрації в органах пшениці, тож точно визначити їхні позиції в органах пшениці було методично ускладненим.

Порівняння двох останніх рядів (6 і 7) підтверджують наявність значних коректив у розміщенні хімічних елементів у зерні проти їх порядку, як у вегетативних органах, так і у ґрунті. Передусім, вражає абсолютно однакова послідовність елементів у зерні пшениці, вирощеній на двох альтернативних поживних фонах – голодному контролі і агрохімічно окультуреному варіанті чорнозему, повністю забезпеченому головними елементами живлення (азотом, фосфором і калієм). Показово при цьому, що магній посів стабільно перше місце (посунувши кальцій на друге). Третє, четверте й п'яте місця зайняли відповідно абсолютні мікроелементи марганець, залізо, цинк. Мідь (також вкрай потрібний для

наливу зерна мікроелемент) поступилася своїм шостим місцем алюмінію, що ставить в порядок денний питання про біогенність алюмінію для злаків. Восьме і дев'яте місця зайняли відповідно стронцій і нікель (не виключено, також біогенні мікроелементи), а останні чотири місця зайняли важкі метали, відповідно хром, свинець, кобальт і кадмій. З них лише кобальт є явно біогенним мікроелементом, а інші важкі метали входять до групи небезпечних забруднювачів ґрунтів, продовольчої продукції, біосфери в цілому. Їх мінімальні концентрації в органах пшениці, передусім у продовольчому зерні, надають підстави для високих оцінок екобезпечності пшеничної продукції, що вирощується як на голодних, так і оптимально удобрених агрохімічних фонах чорнозему типового.

**Висновки.** Зафіксовано відмінності в розміщенні хімічних елементів у зерні проти їх порядку у вегетативних органах пшениці та ґрунті. Виявлено однакову послідовність елементів у зерні пшениці, вирощеної на двох поживних фонах – контролі і агрохімічно окультуреному варіанті чорнозему. Mg посів перше місце, а Ca – друге. Наступні місця зайняли відповідно Mn, Fe, Zn. Cu поступилася своїм місцем Al (не виключено, потрібному злакам). Восьме і дев'яте місця зайняли Sr і Ni (можливо, також біогенні мікроелементи), а останні чотири місця зайняли ВМ, відповідно Cr, Pb, Co і Cd. З них Co є мікроелементом, а інші ВМ входять до групи небезпечних забруднювачів ґрунтів, продовольчої продукції, біосфери в цілому. Їх мінімальні концентрації в продовольчому зерні, надають підстави для високих оцінок екобезпечності пшеничної продукції, вирощеної на різних агрохімічних фонах чорнозему типового.

**Бібліографічний список:** 1. Власюк П.А. Химические элементы в жизни растений и животных / П.А. Власюк. – К.: Наук. думка, 1974. – 88 с. 2. Журбицкий З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З.И. Журбицкий. – М.: Наука, 1963. – 180 с. 3. Горін М.О. Хімізм озимої пшениці та лучних травостоїв кормового призначення при агрохімічному окультурюванні ґрунтів (екологічний аспект) / М.О. Горін, Г.Ф. Ольховський // Вісник ХНАУ. – 2009. – № 3. – С. 115-126. 4. Лархер В. Экология растений. – М.: Мир, 1978. – 382 с. 5. Зонн С.В. Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения / С.В. Зонн, А.П. Травлев. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. 224 с.

*Н.А. Горин, Г.Ф. Ольховский*

#### **ПОТРЕБЛЕНИЕ ОРГАНИЗМАМИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА ЧЕРНОЗЁМА ТИПИЧНОГО**

*Изложены результаты пионерных исследований на стационарных полигонах размещения химических элементов в зерне и вегетативных органах пшеницы в почве. Виявлено одинаковую последовательность элементов в зерне пшеницы, выращенной на двух удобрительных фонах – контроле и вари анте агрохимического окультуривания чернозёма. Минимальные концентрации в продовольственном зерне элементов из группы опасных загрязнителей дают основания для высоких оценок экологической безопасности пшеничной продукции, выращенной на разных агрохимических фонах чернозёма типичного.*

*Ключевые слова: химические элементы, тяжёлые металлы, микроэлементы, чернозём, озимая пшеница, органы растений, листья, зерно, удобрения, экологическая оценка, загрязнение.*

*M.O. Gorin, G.F. Olkhovskiy*

#### **ORGANISMS CONSUMPTION OF MACRO- AND MICROELEMENTS OF WINTER WHEAT DEPENDING UPON NOURISHING CONDITIONS OF CHERNOZEM (BLACK SOIL) TYPICAL**

*The results of pioneer researches on stationary grounds of chemical elements placement in the grain and vegetative organs of wheat and in the soil are stated. The identical sequence of elements in the wheat grain which had been grown on two fertilizing backgrounds – control and variant of agrochemical amelioration of chernozem (black soil) was discovered. The minimum concentrations in food grain of elements from the group of dangerous contaminants give grounds for high estimations of ecological safety of wheat production which was grown on different agrochemical backgrounds of chernozem (black soil) typical.*

*Keywords: chemical elements, heavy metals, microelements, chernozem (black soil), winter wheat, organs of the plant, leaves, grain, fertilizer, ecological estimation, contamination.*