

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская,
Т. М. Кирдун, О. М. Бирюкова, М. М. Торчило

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что микроэлементы в небольших количествах играют важную роль в протекании биохимических и физиологических процессов в растениях. Помимо эссенциальных, т. е. жизненно необходимых микроэлементов (Со, Мп, Zn, Си и ряд других), в растениях накапливаются кадмий и свинец, для которых до сих пор не выяснено значение в функционировании растительного организма; при этом установлены различные паталогические нарушения как в растениях, так и в живых организмах под влиянием этих элементов даже при наличии в небольшом количестве. Хотя имеются данные о жизненной необходимости свинца для животных [1]. Следует иметь в виду, что разница между достаточными концентрациями микроэлементов в растениях, как необходимыми компонентами питания и их токсичным накоплением, не всегда довольно большая. Поэтому понятие «тяжелые металлы» достаточно условно и близко к понятию «микроэлементы», хотя и не тождественно ему. В данной работе мы будем использовать термин «микроэлементы», исходя из того, что если Cd и Pb присутствуют в растениях в концентрациях ниже установленных нормативов, то они не опасны для животных и человека.

Основным фактором, влияющим на поступление микроэлементов в растения, является их содержание в почве, и прежде всего, запасы физиологически доступных подвижных форм. К настоящему времени выявлено, что по мере повышения уровня эффективного плодородия почв и роста урожайности сельскохозяйственных культур подвижность ряда элементов в почвах уменьшается, что может сказаться на нормальном развитии растений, их качестве и продуктивности. В работах [2–6] показано, что содержание обменного марганца, подвижного железа и цинка снижалось при уменьшении кислотности почв. Согласно последнему туру обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь средневзвешенное содержание меди в пахотных почвах составляет 1,83 мг/кг, при этом доля первой и второй групп обеспеченности с содержанием менее 3,0 мг/кг достигает 88,5 % [7, 8]. Почвы пахотных земель также недостаточно обеспечены цинком – при средневзвешенном содержании 3,0 мг/кг его дефицит проявляется на 90,8 % площади.

Сельскохозяйственные культуры, возделываемые на почвах пахотных земель, являются первичным звеном в пищевой цепи растения – корма – животные –

продукты животноводства – человек. В Республике Беларусь изучению содержания микроэлементов в сельскохозяйственных культурах и оптимизации их питания путем применения микроудобрений посвящено множество исследований [3, 4, 9–12]. Однако следует отметить, что преобладающее количество работ направлено на изучение концентрации Zn, Cu, Co и Mn в почвах и сельскохозяйственных культурах, в то время как по остальным элементам имеются лишь фрагментарные сведения.

В связи с внедрением на предприятиях АПК интенсивных технологий и появлением новых высокоурожайных сортов культур информация о среднем содержании микроэлементов в основной и побочной продукции и степени их варьирования в сельскохозяйственных культурах не теряет своей актуальности.

Цель исследований – установление микроэлементного состава сельскохозяйственных культур, произрастающих на территории Республики Беларусь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Растительные образцы отбирали при проведении маршрутных обследований по областям республики в 2015–2016 гг., а также в полевых опытах РУП «Институт почвоведения и агрохимии» за это же время в период полной спелости зерна и семян.

При проведении маршрутных обследований отбор образцов растений проводили в производственных посевах методом конверта в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними с площадок размером 0,25 м² при помощи метровки. Отобранные пробные снопы растительных образцов снабжали этикетками и упаковывали в мешки или бумагу с последующим высушиванием до воздушно-сухого состояния. После подсушивания растительные пробы обмолачивали вручную; из каждого образца отбирали пробу для определения содержания микроэлементов в зерне (семенах) и соломе.

В растительных образцах содержание микроэлементов определяли в зольном остатке после сухой минерализации при температуре 525–530 °С методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series согласно [13]. При статистической обработке полученных результатов рассчитывали доверительный интервал для среднего значения ($\pm t_{0,5} s_x$) и коэффициент вариации (V, %) с использованием программы Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствовали о значительной вариабельности содержания микроэлементов в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур не только в зависимости от видового состава, но и в пределах одной культуры, что обусловлено сортовыми особенностями, различными почвенно-климатическими условиями, обеспеченностью элементами питания и другими факторами при их возделывании в производственных условиях. Согласно градации, представленной в работе [14], только содержание меди (6–44 %), цинка (8–34 %) и марганца (14–42 %) в зерне (семенах) исследуемых культур находилось в пределах нормального варьирования (табл. 1).

Таблица 1

Содержание микроэлементов в основной продукции сельскохозяйственных культур, мг/кг в сухом веществе

Зерно (семена)	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Озимой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	25,9±4,5	3,23±0,40	19,7±1,6	13,3±2,0	0,064±0,033	0,48±0,15	0,17±0,04	0,36±0,13	0,76±0,17
	lim	13,8–68,7	1,21–5,42	12,5–28,9	7,1–30,6	0,001–0,150	0,06–1,02	0,05–0,42	0,05–0,95	0,10–1,66
	V %	49	36	23	42	86	70	60	78	66
Озимой тритикале	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	20,2±3,2	3,66±0,36	24,0±2,2	14,4±2,0	0,028±0,004	0,47±0,14	0,20±0,05	0,19±0,03	0,36±0,07
	lim	7,3–42,3	1,50–6,55	11,8–42,8	6,1–30,2	0,010–0,051	0,07–1,18	0,04–0,64	0,03–0,41	0,07–1,16
	V %	50	32	29	42	39	70	79	50	65
Озимой ржи	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	17,4±8,6	3,64±1,33	22,4±6,4	14,9±5,2	0,023±0,009	0,50±0,21	0,23±0,14	0,31±0,19	0,41±0,22
	lim	12,4–23,4	1,35–7,00	12,4–37,5	6,5–25,3	0,010–0,040	0,10–0,93	0,08–0,58	0,06–0,66	0,10–0,88
	V %	31	44	34	41	45	51	75	72	64
Яровой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	19,9±2,5	4,13±0,57	20,6±1,9	17,4±2,9	0,034±0,006	0,55±0,12	0,18±0,04	0,16±0,04	0,28±0,06
	lim	10,0–39,0	1,79–7,49	12,1–36,8	7,6–32,6	0,003–0,087	0,02–1,08	0,02–0,47	0,03–0,44	0,08–0,60
	V %	32	36	23	41	50	56	67	68	52
Ярового ячменя	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	32,6±4,4	3,20±0,33	21,1±1,9	9,0±1,0	0,030±0,007	0,34±0,09	0,22±0,04	0,25±0,07	0,26±0,06
	lim	13,0–63,1	1,33–5,48	12,4–39,2	5,8–19,2	0,001–0,090	0,03–0,78	0,03–0,55	0,06–0,81	0,08–0,64
	V %	40	31	27	31	72	68	64	86	58
Овса	$\bar{X} \pm t_{0,95} S_x$	38,2±6,4	2,75±0,45	21,0±2,1	24,6±3,6	0,036±0,005	0,20±0,08	0,20±0,05	0,25±0,06	0,41±0,10
	lim	17,4–60,1	1,01–4,99	15,0–36,2	11,1–45,1	0,021–0,070	0,02–0,49	0,03–0,47	0,02–0,44	0,07–0,87
	V %	38	37	23	34	29	66	59	50	57

Окончание табл.1

Зерно (семена)	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Кукурузы	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	20,7±3,5	1,94±0,28	17,3±1,8	5,2±0,5	0,067±0,027	0,45±0,17	0,28±0,06	0,20±0,05	0,31±0,10
	lim	14,1–38,0	1,23–3,14	11,9–26,3	3,7–7,7	0,030–0,130	0,01–0,89	0,04–0,57	0,03–0,42	0,03–0,76
	V %	30	27	19	17	66	62	47	60	69
Гречихи	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	18,6±1,9	5,60±0,37	19,9±0,6	19,3±1,1	0,030±0,011	0,21±0,06	0,22±0,02	0,21±0,04	0,19±0,06
	lim	10,6–30,3	2,78–9,58	16,9–23,4	13,4–25,9	0,002–0,070	0,02–0,43	0,08–0,37	0,02–0,47	0,02–0,58
	V %	30	19	8	16	74	69	35	48	77
Озимого рапса	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	44,2±10,3	3,08±0,11	26,3±3,6	18,2±2,8	0,045±0,013	0,58±0,31	0,25±0,08	0,46±0,19	0,33±0,12
	lim	15,3–68,9	2,78–3,35	14,4–33,7	12,4–27,8	0,010–0,080	0,02–1,46	0,05–0,44	0,09–0,99	0,08–0,70
	V %	39	6	23	25	44	84	52	76	59
Ярового рапса	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	42,3±7,7	4,02±0,66	38,0±5,8	24,5±3,3	0,060±0,038	0,32±0,17	0,25±0,13	0,32±0,15	0,37±0,15
	lim	20,5–56,4	2,94–5,51	26,2–51,0	15,9–34,6	0,020–0,120	0,05–0,76	0,05–0,50	0,05–0,68	0,09–0,86
	V %	29	23	24	21	60	78	59	70	69
Подсолнечника	$\bar{x} \pm t_{0,95} S_x$	38,5±6,5	14,1±1,1	32,7±2,6	16,6±1,3	0,069±0,021	0,13±0,05	0,30±0,10	0,42±0,20	0,39±0,22
	lim	27,2–65,4	11,6–18,9	26,6–41,2	13,0–20,6	0,010–0,130	0,03–0,21	0,06–0,62	0,08–0,97	0,03–0,82
	V %	31	14	14	14	58	50	61	80	67
ДУ [15] в зерне на кормовые цели (злаковые и масличные)		–	–	–	–	0,58	5,81	–	–	–
ДУ в зерне на пищевые цели [16]	злаковые	–	–	–	–	0,12	0,58	–	–	–
	масличные	–	–	–	–	0,11	1,10	–	–	–

Таблица 2

Содержание микроэлементов в соломе сельскохозяйственных культур, мг/кг в сухом веществе

Солома	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Озимой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	54±5	1,86±0,22	7,6±1,0	15,3±3,0	0,09±0,03	0,73±0,19	0,35±0,07	0,48±0,06	1,23±0,20
	lim	22-131	0,91-6,48	2,2-23,4	3,5-80,5	0,01-0,27	0,03-1,73	0,06-1,08	0,11-1,01	0,22-2,42
	V %	41	50	54	86	72	70	59	48	52
Озимой тритикале	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	57±6	1,82±0,18	9,1±0,9	14,4±2,5	0,04±0,02	0,68±0,18	0,36±0,07	0,37±0,06	0,72±0,14
	lim	26-150	0,83-5,24	3,4-25,1	3,4-73,9	0,01-0,16	0,03-1,74	0,10-1,23	0,05-1,14	0,11-2,15
	V %	47	48	47	82	90	70	66	70	67
Озимой ржи	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	49±7	2,11±0,28	10,2±2,1	17,8±5,7	0,10±0,05	0,68±0,25	0,31±0,17	0,46±0,14	0,63±0,29
	lim	27-112	1,08-3,73	3,7-26,4	4,7-72,0	0,04-0,24	0,22-1,64	0,06-0,85	0,06-1,49	0,18-1,71
	V %	40	34	54	84	68	64	76	69	72
Яровой пшеницы	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	37±3	2,06±0,30	6,1±0,8	16,0±4,0	0,05±0,02	0,95±0,49	0,22±0,06	0,47±0,09	0,56±0,10
	lim	21-67	1,07-4,98	2,4-15,2	3,6-60,3	0,01-0,15	0,14-2,49	0,06-0,85	0,06-1,05	0,19-1,43
	V %	30	51	44	89	76	95	76	62	49
Ярового ячменя	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	57±7	2,50±0,26	8,9±1,2	14,7±2,9	0,10±0,03	0,85±0,18	0,39±0,08	0,54±0,06	0,72±0,11
	lim	21-136	1,03-6,23	3,2-30,1	4,0-77,9	0,001-0,29	0,05-1,78	0,05-1,26	0,13-1,28	0,16-1,69
	V %	51	47	60	88	92	62	68	42	50
Овса	$\bar{X} \pm t_{05} S_{\bar{X}}$	43±4	2,10±0,25	8,8±1,2	21,6±5,5	0,07±0,02	0,66±0,17	0,42±0,08	0,51±0,07	0,61±0,12
	lim	17-86	0,70-4,92	3,3-26,0	5,0-86,8	0,003-0,20	0,05-1,70	0,06-0,96	0,04-1,25	0,13-1,59
	V %	38	44	53	92	90	70	65	52	65

Окончание табл. 2

Солома	Показатель	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Кукурузы	\bar{x}	99±17	4,07±0,37	15,1±3,4	40,6±8,9	0,17±0,05	0,71±0,21	0,58±0,15	0,60±0,12	1,58±0,53
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$									
	lim	47–212	1,96–6,18	4,4–44,7	10,8–118	0,04–0,42	0,20–1,85	0,15–1,47	0,04–1,33	0,17–4,06
Гречи	\bar{x}	48	28	69	72	54	66	61	56	88
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	38±9	3,31±0,58	13,6±1,7	23,7±4,4	0,06±0,01	0,38±0,16	0,31±0,08	0,41±0,14	0,46±0,12
	lim	13–91	1,84–8,17	6,6–26,2	12,2–51,6	0,003–0,09	0,06–1,27	0,05–0,84	0,04–1,13	0,08–1,34
Озимого рапса	\bar{x}	64	50	37	53	39	89	77	96	74
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	32±6	2,16±0,16	6,1±1,4	19,8±6,2	0,09±0,03	2,01±0,49	0,32±0,06	1,20±0,13	0,41±0,13
	lim	10–60	1,26–3,04	2,3–19,6	6,1–56,6	0,01–0,16	0,33–2,75	0,21–0,47	0,40–1,87	0,11–0,84
Ярового рапса	\bar{x}	41	18	56	74	58	39	31	26	53
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	35±16	2,78±0,73	11,6±4,3	20,1±9,4	0,15±0,07	1,15±0,64	0,35±0,09	0,77±0,38	0,44±0,14
	lim	9–79	1,82–4,99	3,1–22,7	7,8–57,0	0,02–0,21	0,43–2,77	0,18–0,48	0,23–1,32	0,16–0,78
Подсолнечника	\bar{x}	73	43	64	81	51	73	31	60	44
	$\pm t_{05}S_{\bar{x}}$	77±35	8,54±2,48	16,4±6,2	31,8±8,5	0,09±0,05	0,20±0,14	0,36±0,20	0,80±0,26	1,01±0,75
	lim	23–200	2,77–15,9	4,2–38,5	16,1–72,5	0,04–0,15	0,08–0,36	0,05–0,77	0,16–1,66	0,14–1,98
ДУ [15]	\bar{x}	86	60	76	54	41	54	76	63	80
	lim	–	–	–	–	0,30	2,38	–	–	–

ДУ – допустимые уровни пересчитаны на сухое вещество для удобства сравнения.

Коэффициенты вариации содержания железа в зерне (семенах) составили 29–40 % и были в пределах верхней нормы нормальной вариабельности (за исключением зерна озимых пшеницы и тритикале – 49–50 % – значительная вариация). По остальным элементам (Ni, Co, Cd, Pb, Cr) в зерне (семенах) размеры варьирования между минимальными и максимальными значениями достигали больших размеров – 29–86 % (группы вариабельности от нормальной до очень большой). В отличие от зерна, относительные колебания концентраций всех изучаемых микроэлементов в соломе были достаточно широкими, в пределах 18–96 %, вариабельность оценивалась от нормальной до очень большой (табл. 2).

Определено, что содержание железа в отобранных образцах зерна и семян разных культур было в пределах 7,3–68,9 мг/кг, меди – 1,01–18,9 мг/кг, цинка – 11,8–51,0 мг/кг, марганца – 3,7–45,1 мг/кг, кадмия – 0,001–0,150 мг/кг, свинца – 0,01–1,46 мг/кг, никеля – 0,02–0,64 мг/кг, кобальта – 0,02–0,99 мг/кг, хрома – 0,02–1,66 мг/кг. В соломе исследуемых культур концентрация железа находилась на уровне 9–212 мг/кг, меди – 0,70–15,9 мг/кг, цинка – 2,2–44,7 мг/кг, марганца – 3,4–118 мг/кг, кадмия – 0,001–0,42 мг/кг, свинца – 0,03–2,77 мг/кг, никеля – 0,05–1,47 мг/кг, кобальта – 0,04–1,87 мг/кг, хрома – 0,08–4,06 мг/кг.

В расчете на средние показатели наиболее высокая аккумуляция железа (42,3–44,2 мг/кг) отмечена в семенах ярового и озимого рапса при наименьшем его содержании в зерне озимой ржи и гречихи (17,4–18,6 мг/кг). При этом солома рапса, наоборот, из всех исследуемых культур характеризовалась самой низкой концентрацией этого элемента (32–35 мг/кг) при максимуме в побочной продукции кукурузы и подсолнечника (77–99 мг/кг).

Цинк и марганец также максимально накапливались в растительных остатках кукурузы и подсолнечника (15,1–16,4 мг/кг и 31,8–40,6 мг/кг соответственно) при минимальных показателях по Zn (6,1 мг/кг) в соломе озимого рапса и яровой пшеницы; Mn (14,4–17,8 мг/кг) – в соломе яровых и озимых зерновых культур (за исключением побочной продукции овса). В то же время в зерне кукурузы аккумуляровалось наименьшее количество цинка (17,3 мг/кг) и марганца (5,2 мг/кг); наибольшее содержание Zn (38,0 мг/кг) отмечено в семенах ярового рапса, Mn – в зерне овса и семенах ярового рапса (24,5–24,6 мг/кг).

Больше всего меди содержалось в семенах (14,1 мг/кг) и побочной продукции (8,54 мг/кг) подсолнечника при наименьшем содержании в зерне кукурузы (1,94 мг/кг) и соломе озимых тритикале и пшеницы (1,82–1,86 мг/кг).

Никель практически в одинаковых количествах накапливался в зерне всех изучаемых сельскохозяйственных культур, варьируя в пределах 0,17–0,25 мг/кг при более высокой концентрации в зерне кукурузы и семенах подсолнечника (0,28–0,30 мг/кг). Довольно близким уровнем поглощения никеля (0,31–0,42 мг/кг) характеризовалась и побочная продукция, за исключением соломы яровой пшеницы, в которой накопление этого элемента составило всего 0,22 мг/кг, и растительных остатков кукурузы с его максимальной концентрацией на уровне 0,58 мг/кг.

Кобальт в наибольшей степени аккумуляровался в семенах озимого рапса и подсолнечника – 0,42–0,46 мг/кг, далее по уровню накопления этого элемента следовали семена ярового рапса и зерно озимых пшеницы и ржи (0,31–0,36 мг/кг), затем яровых культур, озимой тритикале, кукурузы и гречихи (0,16–0,25 мг/кг). По соломе наиболее высокий показатель по его поглощению установлен для озимого рапса (1,20 мг/кг), наименьший – для озимой тритикале и гречихи (0,37–0,41 мг/кг).

Меньше всего хрома по сравнению с другими культурами (0,19 мг/кг) содержалось в зерне гречихи, больше всего (0,76 мг/кг) – в зерне озимой пшенице. В побочной продукции максимальное поглощение хрома (1,01–1,58 мг/кг) отмечено для озимой пшеницы, кукурузы и подсолнечника; промежуточное положение занимала солома яровых зерновых культур, озимых тритикале и ржи (0,56–0,72 мг/кг) при минимальной концентрации в гречихе, озимом и яровом рапсе (0,41–0,46 мг/кг).

Что касается кадмия, то, несмотря на некоторую вариабельность, его среднее содержание в зерне сельскохозяйственных культур не превышало 0,07 мг/кг. В побочной продукции наиболее сильно этот элемент аккумулировался в кукурузе и яровом рапсе (0,15–0,17 мг/кг), в наименьшей степени – в соломе озимой тритикале, яровой пшеницы и гречихи (0,04–0,06 мг/кг).

Из полученных данных следует, что минимальным накоплением свинца как в семенах (0,13 мг/кг), так и в растительных остатках (0,20 мг/кг) характеризовался подсолнечник; максимальная его аккумуляция на уровне 0,58 и 2,01 мг/кг соответственно отмечена в озимом рапсе.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о потенциальных возможностях варьирования микроэлементного состава как вегетативных, так и репродуктивных органов сельскохозяйственных культур при довольно значительной разнице между минимальным и максимальным содержанием изучаемых элементов. В Республике Беларусь в соответствии с действующими документами [15, 16] для обеспечения безопасности кормов и пищевой продукции регламентируется только содержания кадмия и свинца в растениеводческой продукции, для остальных изучаемых микроэлементов допустимые уровни (ДУ) отсутствуют. В расчете на средние показатели содержание кадмия и свинца в основной и побочной продукции исследуемых культур не превышало ДУ, установленных для зерна на пищевые и кормовые цели, а также для грубых кормов. Однако концентрация кадмия в некоторых отобранных образцах зерна озимой пшеницы и кукурузы, а также в семенах подсолнечника и ярового рапса была выше регламентируемого норматива при их использовании на пищевые цели. Накопление свинца в некоторых пробах всех изучаемых яровых и озимых зерновых культур также превышало гигиенические требования безопасности к пищевой продукции. Что касается соломы, то больше ДУ, установленного для грубых кормов, этот элемент накапливался только в яровой пшенице.

В целом по величинам абсолютного содержания в зерне и соломе микроэлементы образуют практически идентичные ряды:

- зерно: Fe > Zn > Mn > Cu > Pb, Cr, > Co > Ni > Cd;
- солома: Fe > Mn > Zn > Cu > Cr, Pb > Co > Ni > Cd.

Отмечено, что только для Zn и Cu характерен более высокий уровень содержания в репродуктивных органах (зерне, семенах) при меньшей аккумуляции в вегетативных органах (соломе), за исключением кукурузы, растительные остатки которой содержали в 2,1 раза больше меди по сравнению с основной продукцией. Согласно [17] эти элементы можно отнести к группе безбарьерного накопления, т. е. их содержание в зерне больше, чем в соломе. Марганец аккумулировался в основной продукции изучаемых культур в соответствии с предложенной группировкой по практически безбарьерному типу – его накопление в зерне и соломе было довольно близким. Только, как и в случае с цинком и медью,

между его концентрацией в зерне и растительных остатках кукурузы установлена большая разница – содержание этого элемента в листостебельной массе было в 7,8 раз выше по сравнению с зерном. Остальные изучаемые элементы относятся к группе барьерного накопления, поскольку более интенсивно накапливались в побочной продукции сельскохозяйственных культур, что указывает на существование определенных барьеров по их перемещению в генеративные органы.

Оценка возможного выноса микроэлементов основной и побочной продукцией сельскохозяйственных культур на основании полученных экспериментальных данных представлена в таблице 3.

Таблица 3

Хозяйственный вынос микроэлементов урожаем сельскохозяйственных культур

Культура	Урожайность, ц/га	Вынос микроэлементов, г/га								
		Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
зерновые культуры										
Озимая пшеница	35,1	236	15	82	85	0,46	3,6	1,5	2,5	5,9
Озимое тритикале	28,7	217	14	86	78	0,19	3,2	1,6	1,6	3,0
Озимая рожь	24,3	180	14	77	83	0,34	3,0	1,4	2,0	2,7
Яровая пшеница	27,0	155	16	66	87	0,23	4,1	1,1	1,8	2,3
Яровой ячмень	27,0	243	15	75	64	0,36	3,3	1,7	2,2	2,7
Овес	24,9	208	12	71	116	0,28	2,4	1,7	2,0	2,7
Кукуруза	57,9	602	30	162	231	1,19	5,8	4,3	4,0	9,5
Гречиха	10,3	128	15	58	87	0,20	1,3	1,1	1,4	1,5
масличные культуры										
Озимый рапс	17,1	163	11	59	87	0,33	6,8	1,3	4,2	1,7
Яровой рапс	12,8	152	13	78	88	0,51	3,8	1,3	2,6	1,7
Подсолнечник	30,0	495	82	174	207	0,65	1,4	2,7	5,2	6,2

При расчете хозяйственного выноса элементов взята средняя урожайность зерна (семян) по Республике Беларусь за 2018–2020 гг. согласно [18], урожайность соломы зерновых и крестоцветных культур принята на уровне 3,5 т/га га, растительных остатков подсолнечника и кукурузы на зерно – 6 т/га. Определено, что наиболее высокий вынос изучаемых элементов характерен для кукурузы и подсолнечника, наименьший – для гречихи, что обусловлено их накоплением в основной и побочной продукции и биологической продуктивностью возделываемых культур.

При отчуждении с почв пахотных земель только основной продукции в зависимости от вида заделанной соломы в почву на гектарную площадь поступит больше всего железа (94–499 г), затем марганца (42–205 г), цинка (18–83 г) и меди (5,4–43 г) при близких значениях кобальта (1,1–4,0 г) и свинца (1,0–5,9 г). Возрат хрома составит 1,2–8,0 г/га при минимальном поступлении никеля (0,6–2,9 г/га) и кадмия (0,12–0,86 г/га) (табл. 4).

**Возможное поступление в почву микроэлементов при запашке соломы
сельскохозяйственных культур, г/га (на стандартную влажность)**

Солома	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
зерновые культуры									
Озимой пшеницы	158	5,5	22	45	0,26	2,1	1,0	1,4	3,6
Озимой тритикале	168	5,4	27	42	0,12	2,0	1,1	1,1	2,1
Озимой ржи	144	6,2	30	52	0,29	2,0	0,9	1,4	1,9
Яровой пшеницы	109	6,1	18	47	0,15	2,8	0,6	1,4	1,6
Ярового ячменя	168	7,4	26	43	0,29	2,5	1,1	1,6	2,1
Овса	126	6,2	26	64	0,21	1,9	1,2	1,5	1,8
Кукурузы	499	21	76	205	0,86	3,6	2,9	3,0	8,0
Гречихи	112	10	40	70	0,18	1,1	0,9	1,2	1,4
масличные культуры									
Озимого рапса	94	6,4	18	58	0,26	5,9	0,9	3,5	1,2
Ярового рапса	103	8,2	34	59	0,44	3,4	1,0	2,3	1,3
Подсолнечника	388	43	83	160	0,45	1,0	1,8	4,0	5,1

ВЫВОДЫ

Определен микроэлементный состав основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, возделываемых в Республике Беларусь. В зависимости от их видового состава среднее содержание железа в зерне и семенах составило 17,4–44,2 мг/кг, меди – 1,94–14,1 мг/кг, цинка – 17,3–38,0 мг/кг, марганца – 5,2–24,6 мг/кг, кадмия – 0,023–0,069 мг/кг, свинца – 0,13–0,58 мг/кг, никеля – 0,17–0,30 мг/кг, кобальта – 0,16–0,46 мг/кг, хрома – 0,19–0,76 мг/кг. В соломе исследуемых культур в среднем накапливалось: Fe – 32–99 мг/кг, Cu – 1,82–8,54 мг/кг, Zn – 6,1–16,4 мг/кг, Mn – 14,4–40,6 мг/кг, Cd – 0,04–0,15 мг/кг, Pb – 0,20–2,01 мг/кг, Ni – 0,22–0,58 мг/кг, Co – 0,37–1,20 мг/кг, Cr – 0,41–1,58 мг/кг.

По накоплению в зерне (семенах) сельскохозяйственных культур цинк и медь относятся к безбарьерному типу; марганец – к практически безбарьерному (кроме кукурузы, растительные остатки которой содержали Cu и Mn в 2,1 и 7,8 раз соответственно больше по сравнению с зерном); остальные элементы (Fe, Cd, Pb, Ni, Co, Cr) – к барьерному типу.

Наиболее высокий вынос изучаемых элементов характерен для кукурузы и подсолнечника, наименьший – для гречихи. При запашке побочной продукции в зависимости от ее вида в почву на 1 га поступит 94–499 г железа, 42–205 г марганца, 18–83 г цинка, 5,4–43 г меди, 1,1–4,0 г кобальта, 1,2–8,0 г хрома, 1,0–5,9 г свинца, 0,6–2,9 г никеля, 0,12–0,86 г кадмия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын [и др.]. – М.: Медицина. – 1991. – 496 с.

2. *Богдевич, И. М.* Параметры изменения содержания подвижных микро-элементов в дерново-подзолистых почвах / И. М. Богдевич, В. В. Барашенко, Г. И. Каленик // Почвенные исследования и применение удобрений. – 1995. – Вып. 23. – С. 3–12.

3. *Рак, М. В.* Содержание марганца в почвах и растениеводческой продукции и эффективное использование марганцевых удобрений / М. В. Рак, Г. М. Сафрановская, С. А. Титова // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 188–195.

4. *Тарасюк, С. В.* Влияние насыщенности основаниями дерново-подзолистой супесчаной почвы на обеспеченность сельскохозяйственных культур марганцем и цинком: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; БелНИИПА. – Минск, 1997. – 134 с.

5. *Лукин, С. В.* Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-черноземной области / С. В. Лукин, Р. М. Хижняк // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 64–72.

6. *Минеев, В. Г.* Влияние длительного применения удобрений на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на трансформацию микроэлементов в агроценозе / В. Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова, Е. В. Морачевская // Экологические функции агрохимии: материалы 7-го симпозиума ученых агрохимиков и агроэкологов «Агрохимэкодружества», Минск, 13–15 июня 2012 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии; ред. совет В. Г. Минеев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 93–105.

7. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 31–32.

8. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич и др.; Нац. Акад. Наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 45 с.

9. *Кирдун, Е. А.* Микроэлементы в системе почва–растение–удобрение при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-палево-подзолистой почве: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; БелНИИПА. – Минск, 1976. – 177 с.

10. Содержание меди в почвах и урожае сельскохозяйственных культур и эффективное использование медных удобрений / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2(35). – С. 121–128.

11. Продуктивность и химический состав полевых культур БССР / под ред. А. С. Вечера, П. Е. Прокопова. – Минск: Наука и техника. – 1974. – 128 с.

12. *Ковалевич, З. С.* Влияние микроудобрений на урожай и качество гороха на дерново-подзолистых супесчаных почвах БССР: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04; БелНИИПА. – Минск, 1986. – 317 с.

13. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукции растениеводства: методические указания: изд. 2-е перераб. и доп. / А. В. Кузнецов [и др.]; редкол. А. М. Артюшин [и др.]. – М.: Мин-во сел. хоз-ва РФ, ЦИНАО, 1992. – 61 с.

14. *Зайцев, Г. Н.* Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука. – 1990. – 296 с.

15. Об утверждении Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов:

Постановление Мин-ва сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, 10.февр. 2011 г., № 10 (с изм. от 16 февр. 2018 г. № 16, зарегистр. в Нац. Реестре. № 8/32836 от 19.02.2018 г.) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – 8/25498.

16. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 015/2011 О безопасности зерна; утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 09 декабря 2011 г. № 874.

17. *Ковалевский, А. Л.* Биохимия растений / А. Л. Ковалевский. – Новосибирск: Наука. – 1991. – 294 с.

18. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сборник / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2021. – С. 279.

TRACE ELEMENT COMPOSITION OF AGRICULTURAL CROPS GROWING ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**E. N. Bahatyrova, T. M. Seraya, Y. A. Belyavskaya,
T. M. Kirdun, O. M. Biryukova, M. M. Torchilo**

Summary

As a result of generalization of field experiments and analysis of data obtained during route surveys in the regions of the Republic of Belarus, the average content of trace elements in the main and by-production of agricultural crops in various places of growth was determined, the limits of variation depending on their species composition were established.

Поступила 29.04.2022

УДК 631.812.2:633:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-174-183](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-174-183)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ МИКРОСТИМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остаются актуальными разработки по совершенствованию основ рационального, агрохимически и экологически безопасного применения различных видов, перспективных форм и доз микроудобрений, которые обеспечивают получение оптимальной в конкретных почвенно-климатических условиях величины урожая культур с улучшенными показателями биологического