

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ

*Acad. С. Тома, dr.hab. С. Великсар,
dr. В. Кирилюк, dr. А. Лунан,
dr. С. Лисник, dr. hab. С. Кошман,
В. Люленова, dr. Д. Братко,
dr. Г. Тудораке*

Проблемы микроэлементов в сельском хозяйстве Молдовы изучаются с середины прошлого столетия. Накоплен огромный материал обобщений в ряде научных фундаментальных и прикладных работ. Микроэлементы изучались в биогеохимической цепи «почва - растения - продукты питания и корма».

Основным источником микроэлементов для растений, человека и животных, как известно, является почва.

Сопоставление среднего содержания валовых форм микроэлементов в почвах Молдовы с Кларк-ами элементами показывает (таб. 1), что содержание некоторых из них находится на том же уровне (Cd, I, Ni и др.) или даже несколько выше (B, Zn, Cu, F и др.). Только отдельные элементы (Cd, Cr, Ga, Sr, V и др.) несколько ниже. Последние элементы слабо изучены и практически не доказана необходимость их применения. На юге республики (Причерноморье) существует геохимическая провинция высокого содержания бора (до 100-200 мг/кг). В Припрутской зоне отмечается высокое содержание фтора (до 1000 мг/кг), что обусловлено его большим количеством в осадочных породах (особенно карбонатных) и интенсивным внесением во второй половине XX столетия

фосфорных удобрений, особенно апатитного происхождения.

Пределы колебания валовых форм микроэлементов в почвах Молдовы очень широкие (B-13-200 мг/кг, Си-2-400 мг/кг, F-64-1047 мг/кг, I-0,5-15 мг/кг, Mn-1 50-2250 мг/кг, Zn-10-166 мг/кг и др.), что объясняется разнообразными почвенно-геохимическими, климатическими и антропогенными факторами.

Таблица 1

Среднее содержание микроэлементов в почвах Молдовы

Элементы	Кларк в почвах	Валовые формы	Подвижные формы в ацетатно-аммонийном бифере, pH = 4,8	
			Всего	% от валовых
B	10	70	1,4	
Zn	50	71	1,4	2
Mn	850	790	9,4	1
Cu	20	32	1,6	5
Mo	2	3	0,15	5
Co	10	1,3	0,04	3
I	5	5,3	0,53	10
Ni	40	39	0,80	2
F	200	485	7,4	1,5
Cd	0,5	0,41	0,004	0,1
Pb	10	20	0,40	2
V	100	91	0,90	1
Ti	4000	4900	2,5	0,05

Таблица 2

Среднее содержание подвижных форм микроэлементов в черноземах Молдовы (мг/кг), ацетатно-аммонийный бифер, pH = 4,8

Элементы	Средний показатель		
	Выщелоченный	Обыкновенный	Карбонатный
B	1,21	0,61	0,60
Zn	0,68	0,65	0,40
Mn	9,45	5,75	5,95
Mo	0,13	0,13	0,21
Cu	0,64	0,40	0,40
Co	2,74	1,63	1,49
Ni	1,03	0,31	0,23

Известно, что содержание валовых форм микроэлементов в почвах дает лишь ориентировочное представление об обеспеченности почвы этими элементами, о возможном дефиците или избытке их. Растения могут использовать только часть микроэлементов, находящихся в физиологически доступной подвижной форме.

В Молдове уже более 40 лет в качестве экс-

трагента для определения доступных растениям форм биологически важных микроэлементов почвы применяется ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH=4,8 (по Крупскому и Александровой) и вода (для В, I, F).

Данные таб.1 свидетельствуют, что подвижность микроэлементов почв республики низкая и не превышает единицы процента, а по Cd и Ti и того меньше, уровень содержания этой фракции имеет большие колебания. Даже в пределах одного и того же типа почв различия существенные (таб. 2).

Согласно грациям обеспеченности сельскохозяйственными растениями, основная часть земель по содержанию подвижных форм элементов попадает в категорию низкой (В, Zn, Mn, Cu, Cr и др.) и средней (Mo, Co, I и др.) обеспеченности.

Сельскохозяйственные земли республики в основном относятся к «слабо» и «очень слабо» обеспеченным усвояемыми формами микроэлементов (таб. 3). Доля почв, необеспеченных подвижными формами микроэлементов, от цикла к циклу агрохимического обследования почв возрастает, что вызывает большую тревогу у специалистов и производственников отрасли.

Таблица 3

Обеспеченность обрабатываемых почв Молдовы усвояемыми формами микроэлементов (в %)

Элемент	Цикл агрохимического обследования	Уровень обеспеченности			
		Очень слабый	Слабый	Средний	Повышенный
Mn	III	15,2	25,1	29,6	30,1
	IV	21,2	33,8	26,7	18,3
	V	36,6	35,1	19,5	8,8
Zn	III	18,9	58,6	16,8	5,7
	IV	10,3	64,0	20,2	5,7
	V	9,3	63,5	19,4	8,0
Cu	III	16,3	29,5	39,2	15,0
	IV	18,5	25,3	30,4	25,8
	V	20,2	30,8	35,9	13,0

В условиях Молдовы установлены даже некоторые эндемические заболевания, связанные с I (зоб), Co (акобальтоз у животных), Zn (хлороз и розеточность плодовых), В (борные энтериты), F (флюорозы).

Другим критерием обеспеченности почв микроэлементами являются сами растения, которые для своего роста и развития избирательно поглощают различные количества тех или иных элементов в соответствии с их биологи-

ческими потребностями. Как видно из таб. 4, представители разных ботанических семейств существенно различаются по содержанию микроэлементов. В условиях Молдовы бобовые сохранили способность накапливать Mo, а также V, пасленовые выделяются накоплением В, Li, I; виноград содержит повышенные количества Co, Cu, Pb; плодовые - Cu, Mn, Pb, Sr, Ag; зерновые и подсолнечник - Zn; свекла - В, Cr.

Таблица 4

Пределы содержания микроэлементов в основных сельскохозяйственных растениях, выращенных в Молдове (мг/кг)

Элементы	Зерновые	Бобовые	Томаты	Подсолнечник	Свекла	Плодовые	Виноград
В	1-14	16-40	20-150	34-68	15-96	4-100	30-60
Zn	3-80	20-50	0,5-6	30-213	40-166	1-90	10-60
Mn	22-65	20-200	35-250	20-142	80-285	20-500	60-150
Cu	2-27	1-16	5-20	4-43	10-41	3-80	20-50
Mo	0,1-4	1-9	1-15	1-3	1-6	0,4-3	0,2-0,4
Co	0,1-0,6	0,4-1,5	0,1-0,5	0,2-2	0,1-2	0,1-3	0,1-5
I	0,02-0,4	0,04-0,5	0,1-1	0,01-0,3	0,01-0,8	0,1-0,3	0,1-0,8
Ni	1-10	1-15	1-15	0,4-22	1-5	0,3-8	2-5
F	10-30	1-20	1-3	40-60	1-10	1-6	16-70
Pb	0,3-4,2	1-2	0,1-2	1-3	0,5-2	0,1-10	1-10
V	0,1-0,3	0,1-0,3	0,5-2	0,2-2	0,1-0,5	0,01-0,3	0,3-1
Cr	0,1-0,8	1-3	0,5-2	0,2-1	4-10	0,1-2	0,1-0,3

Различие в накоплении микроэлементов существенно варьирует и по органам растений. Так, у винограда (таб. 5), листья и однолетние побеги содержат больше Cu, Mn, Fe и Ni, чем другие органы, в частности генеративные, исключение составляет Zn. Повышенное количество Си в листьях - это, видимо, результат обработки растений бордосской жидкостью, которая обогащает почву под кустами и легче проникает в листья при некорневом внесении раствора солей, держащих медь.

Таблица 5

Содержание микроэлементов в наземных органах виноградного куста сорта Шасла. Возраст растений 46 лет (мг/кг сухого вещества)

Орган растения	Зола, %	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni
Листья	8,45	1696,3	51,8	83,6	316,9	26,62
Однолетние побеги	3,86	220,0	34,7	22,2	47,3	5,11
Многолетние побеги	2,85	81,2	12,5	26,8	120,7	2,16
Грозди зеленые	5,12	279,2	109,5	33,2	96,2	6,27

В виноградном вине, произведенном в Молдове, вследствие ферментации, фильтрования и других приемов подготовки столовых вин, содержание микроэлементов колеблется незначительно, от сорта к сорту европейских марок (таб. 6), полученных из виноградных гроздей, выращенных на одном массиве.

Таблица 6

Микроэлементы в разных марках вин, полученных от виноградных сортов, выращенных в одинаковых почвенно-климатических условиях, (мг/кг)

Элемент	Марки вина				Предельно допустимые нормы
	Каберне	Мерло	Траминер мускатный	Траминер розовый	
Pb	0,048	0,052	0,050	0,080	0,3
Cd	0,0033	0,0042	0,0070	0,0054	0,03
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2
Hg	<0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0016	0,005
Cu	0,06	0,08	0,09	0,08	5,0
Zn	0,30	0,32	0,25	0,25	10,0
Fe	2,30	1,35	0,50	0,44	15,0

Следует обратить внимание, что найденное количество микроэлементов (тяжелых металлов), значительно ниже «предельно допустимой концентрации».

Уровень содержания микроэлементов в почвах и растениях сказывается и на количестве этих элементов в кормах, а значит и в продуктах питания для человека. В кормах растительного происхождения микроэлементы накапливаются неодинаково. Данные таб. 7 указывают на большие колебания содержания микроэлементов. Так, в зеленых кормах, в частности в зеленой массе кукурузы, этот показатель колеблется для Co - 0,07-0,57; Zn - 9,9-68,1; Mn - 8,6-229,1 мг/кг сухого вещества, и для люцерны составляет Co - 0,29-1,12; Zn - 9,5-68,1; Mn - 42,0-74,8; Fe - 177,9-1218,4; Cu - 3,1-19,9 мг/кг при средних показателях соответственно: Co-0,58; Zn-42,6; Mn-2,7; Fe-415,9; Cu-10,0 мг/кг сухого вещества. Такие колебания характерны и для других видов кормов, что подтверждает тезис о большом влиянии на содержание микроэлементов в кормах вида растений, типа почвы, климатических условий, использования удобрений, фенофазы растений при уборке и др.

С целью сбалансирования рационов по микроэлементам, в Молдове широко применяется

внесение в рационы недостающих количеств элементов в виде минерально-витаминного премиска. В результате, например у коров, молочная продуктивность в среднем возрастает на 3,9-8,9%, а содержание жира в молоке увеличивается с 3,3 до 3,47-3,62%.

Таблица 7

Среднее содержание микроэлементов в кормах растительного происхождения Молдовы (мг/кг сухого вещества)

Элемент	Зеленые корма			Грубые корма			
	кукуруза	люцерна	овес	сено		солома	
				люцерны	овса	озимой пшеницы	кукурузы
Co	0,26	0,58	0,35	0,48	0,44	0,41	0,59
Zn	35,2	42,6	28,2	29,8	29,4	25,9	13,9
Mn	37,7	72,7	70,2	41,1	61,6	32,4	38,5
Fe	192,7	415,9	132,4	395,8	334,4	334,2	496,4
Cu	2,9	10,0	5,2	6,2	3,2	57,7	2,6

Продолжение таблицы 7

Элемент	Сочные корма			Концентрированные корма			
	силос кукурузы	сенаж люцерны	кормовая свекла	зерно пшеницы	зерно овса	соевая мука	шрот подсолн.
Co	0,48	0,52	0,48	0,19	0,29	0,50	0,33 ***
Zn	23,2	29,8	48,3	61,5	20,8	19,8	8,9
Mn	35,5	49,2	59,8	32,6	28,1	35,4	13,5
Fe	390,2	593,2	366,7	269,8	541,4	301,4	252,2
Cu	4,2	6,8	10,0	2,7	2,4	5,4	3,6

Основной способ восполнения недостающего количества усваиваемых форм микроэлементов для растений остается применение микроудобрений.

В условиях Молдовы экологически и экономически более целесообразно использование микроудобрений способами предпосевной (предпосадочной) обработки посевного и посадочного материала и некорневым путем, после диагностики степени обеспеченности почв этими элементами, в период вегетации растений. Некорневые подкормки растений позволяют корректировать дисбаланс элементов питания по микроэлементам. Отмечено, что внесенный микроэлемент может изменять содержание не только применяемого, но и других микроэлементов в растениях. Как видно из данных таб. 8 внесение препарата, содержащего Fe (Dissolvin)

увеличивает и накопление Mn в листьях винограда. В побегах это явление не просматривается.

Таблица 8

Влияние некорневой подкормки на содержание микроэлементов в органах виноградного куста (начало созревания ягод) сорт Кодринский (мг/кг сухого вещества)

Вариант	Орган растения	Микроэлементы				
		Fe	Ni	Mn	Zn	Cu
Контроль	листья	60,80	17,33	131,0	19,04	6,29
Dissolvin Fe	листья	48,86	12,00	157,9	12,15	4,32
	листья	58,38	16,27	127,4	11,90	6,81
Контроль	побеги	5,25	3,32	38,4	26,48	4,36
Dissolvin Fe	побеги	3,32	2,55	34,64	17,79	4,90
	побеги	4,69	2,90	40,19	12,04	5,71

Микроэлементы, внесенные некорневым путем, изменяют соотношение этих элементов в органах растений, наблюдается и определенный синергизм и антагонизм в их потреблении сельскохозяйственными культурами (таб. 9).

Таблица 9

Проявление антагонизма и синергизма микроэлементов в органах растений винограда при внесении микроудобрений некорневым путем

Вариант	Fe:Ni	Mn:Ni	Cu:Ni	Zn:Ni
листья				
Контроль	89,8	51,2	27,3	43,2
Fe	84,9	48,9	29,2	25,9
Ni	33,7	19,4	6,0	15,8
Fe+Ni	51,5	27,3	9,7	
Побеги				
Контроль	62,8	69,4	3,4	31,8
Fe	67,7	60,1	6,4	33,0
Ni	24,5	33,1	3,7	21,8
Fe+Ni	27,9	33,9	5,0	23,5

Многолетними исследованиями установлено, что как при недостатке, так и при избытке микроэлементов наблюдаются определенные морфо-анатомические изменения у растений: образуются специфические клетки, со значительными изменениями в структуре и ультраструктуре органелл, которые в нормальных условиях произрастания не свойственны данному виду растений. Одна из причин нарушения

ультраструктуры клеточных органелл, особенно хлоропластов, отличающихся сложной системой мембран, связана со снижением содержания фосфора и галактолипидов, наблюдающемся при дефиците различных микроэлементов.

Выявлено, что микроэлементы играют важную роль в активации ключевых ферментов, определяющих ход процессов формирования продуктивности и устойчивости растений к стрессовым условиям среды обитания. Так, например, при применении B, Zn, Mo при возделывании сахарной свеклы в различных по водообеспеченности условиях отмечено повышение активности нитратредуктазы и АТР-зы (таб. 10), особенно на варианте с Mo.

Таблица 10

Влияние некорневой подкормки Mn, Mo, B, Zn на активность нитратредуктазы и АТР-зы в листьях сахарной свеклы в зависимости от влагообеспеченности почв

Вариант	Нитратредуктаза, NO ₂ ⁻ : мкг свежего вещества, 30 мин.		АТР-за, Рп/г свежего вещества; 10 мин.	
	70% ППВ	35% ППВ	70% ППВ	35% ППВ
Контроль-фон N ₃ P ₃ K ₃	209,6±0,76	276,6±4,64	56,39±1,17	60,53±1,85
Фон+Mn	240,0±2,19	176,0±7,09	67,26±1,55	54,71±1,71
Фон+Mo	341,3±5,06	211,0±8,90	66,35±1,33	71,78±4,96
Фон+B	248,1±6,00	196,0±8,06	64,42±2,08	52,19±2,15
Фон+Zn	225,0±5,30	172,2±9,00	66,70±3,19	43,48±1,77

Отдельно взятые микроэлементы и их сочетания уменьшили активность нитратредуктазы почвы (таб. 11) и, как следствие, потери азота в газообразной форме сокращаются.

Таблица 11

Влияние микроэлементов, внесенных в почву, на активность нитратредуктазы

Вариант	Активность нитратредуктазы, мкг NO ₂ ⁻ /10 г почвы
Контроль	38,92±2,61
B	33,31±2,42
Mn	13,63±0,55
Zn	18,27±0,06
Mo	24,21±0,36
B+Mn	14,98±0,67
B+Mn+Zn	11,24±0,82
B+Mn+Zn+Mo	18,86±0,57

Внесение микроэлементов некорневым путем положительно сказывается и на активности сахарозофосфатсинтетазы. Из данных таб. 12 видно, что испытуемые элементы, повышая активность указанного фермента, увеличивают впоследствии и сахаристость корнеплодов.

Таблица 12

Активность сахарозофосфатсинтетазы в листьях сахарной свеклы, подкормленной некорневым путем Cu, B, Mn, Mo, Co

Показатели	Варианты					
	Конт-роль	B	Mn	Zn	Mo	Co
Активность сахарозофосфатсинтетазы, μmol сахара/г свежего	35,5	70,60	68,30	64,70	44,10	55,90
Урожай корнеплодов	49,7±1,1	52,8±1,4	52,8±1,7	48,8±1,8	54,9±0,9	48,1±1,7
Содержание сахара в корнеплодах, %	15,7	16,3	16,4	16,4	16,5	16,7

Аналогичные положительные результаты получены и в опытах с другими сельхозрастениями, в частности с соей (таб. 13).

Таблица 13

Активность нитратредуктазы в листьях сои в зависимости от внесенных микроэлементов отдельно и в сочетаниях

Вариант	Активность нитратредуктазы, $\text{NO}_2^-/\text{г}$ свежего вещества за 30 мин. по фазам				Урожай корнеплодов	
	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Налив зерна	ц/га	Прибавка, %
Контроль	33,32±1,23	51,17±3,76	49,8±1,03	54,16±1,58	24,8±2,3	-0
B	25,87±1,29	39,30±1,21	28,11±1,04	75,31±1,38	26,7±2,9	7,7
Mo	24,14±0,52	62,73±2,71	68,01±1,13	84,63±5,75	25,7±0,3	3,6
Zn	13,34±3,14	57,43±0,13	33,54±0,64	31,69±3,35	27,5±0,5	10,6
Mn	13,65±0,95	59,68±5,43	44,85±0,53	101,48±3,92	27,3±0,3	10,1
B+Mn	14,98±0,21	60,62±2,38	59,12±1,13	87,72±5,52	27,6±2,2	11,3
B+Mn+Zn	11,01±0,24	55,72±3,19	77,71±1,34	81,02±4,15	28,1±0,11	13,3
B+Mn+Zn+Mo	14,88±0,49	58,71±2,42	52,34±1,82	79,26±4,64	25,6±2,8	2,9

Характерно, что применение микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных

растений обеспечивает получение дополнительного урожая, как в условиях нормальной влагообеспеченности (таб. 14), так и в засушливые годы (таб. 15). Однако, в стрессовых условиях, создаваемых засухой, относительная эффективность более существенна.

Таблица 14

Урожай семян сои в зависимости от применения Mo и совместно с БАВ. Годы нормального влагообеспечения. Сорт Букурия

Вариант	Урожай, кг/га	Прибавка урожая, %
Контроль	2380	0
Mo ₄	2560	7,5
Mo ₄ +гиберелин	2450	3,0
Mo ₄ +картолин	2310	-
Mo ₄ +Mo 0,01%+гиберелин+картолин	2540	6,7
НСР _{0,95}	60	-

Таблица 15

Влияние микроэлементов на урожай семян сои. Годы засушливые. Сорт Букурия

Вариант	Урожай, кг/га	Прибавка	
		кг/га	%
Контроль-фон N ₇₀ P ₁₀₅ K ₁₀₅	1620		0
Фон+Mo	1820	200	12,3
Фон+Mn	1840	220	13,6
Фон+Zn	1900	280	17,3
Фон+Cu	1760	140	8,6
Фон+Mn+Zn	1960	340	20,9
Фон+Mn+Zn+Cu	2000	380	23,45
НСР _{0,95}	26		

На основе результатов многолетних опытов (вегетационных, полевых и производственных) в Молдове разработана стратегия применения удобрений с включением и микроудобрений, которая одобрена научной общественностью, Министерством Сельского Хозяйства и Пищевой Промышленности, и рекомендована к внедрению.

Отсюда следует, что эффективность применения микроудобрений зависит от:

- Обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов. В условиях недостаточного обеспечения (их в стране немного больше

50% обрабатываемой территории) все способы применения эффективны;

- Биологических потребностей растений в микроэлементах. Отмечена более высокая потребность у технических культур (сахарная свекла, масличные), бобовых и плодово-ягодных насаждений;

- Обеспечения растений макроэлементами. Как правило, на оптимальном фоне, созданном макроудобрениями, эффективность применения микроудобрений возрастает;

- Способа применения микроудобрений. По эффективности они составляют следующий убывающий ряд: предпосевное (предпосадочное) - некорневое питание - основное внесение. Как основное внесение при обработке почв из микроудобрений применять только отходы промышленного производства, содержащие слабо-растворимые соединения микроэлементов. Глу-

бина внесения не менее 10-12 см, особенно под плодовые и виноград;

- Обязательным условием в технологии применения микроудобрений является агрохимическое обследование земли на содержание усваиваемых растениями микроэлементов не реже 1 раза в 3-4 года;

- Рекомендовано внесение микроэлементов в условиях прогнозируемых природных катаклизмов (засуха, суховей, пониженные температуры и др.).

- Хорошие результаты обеспечиваются при сочетании внесения микроэлементов с биологически активными веществами;

- Внесенные микроудобрения положительно сказываются на конечном хозяйственном урожае. Прибавка урожая в среднем составляет 10-15%. При этом качество продукции не ухудшается, а наоборот, повышается, особенно по накоплению углеводов, в частности сахаров.



Igor Vieru. *Sărbătoare la Cernoleuca*. 1968 u/c