

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СВЕКЛОСАХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Ошкин Владимир Александрович**, аспирант кафедры «Биология, химия, технология хранения и переработки продукции растениеводства»

**Костин Владимир Ильич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Биология, химия, технология хранения и переработки продукции растениеводства»

**Исайчев Виталий Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Биология, химия, технология хранения и переработки продукции растениеводства»

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: +79084787387, e-mail: oshkin@uaho.com

**Ключевые слова:** марганец, бор, цинк, сахарная свёкла, тяжёлые металлы, доброкачественность сока, водородный показатель.

*Результаты проведенных исследований показывают, что под действием микроэлементов-синергистов происходит ограничение поступления тяжелых металлов, изменяется содержание сахарозы, улучшаются технологические показатели и экологические качества корнеплодов сахарной свёклы.*

### Введение

Продовольственная безопасность в XXI веке становится одной из наиболее острых экологических проблем. Производство достаточного количества продовольствия и его безопасность являются сложными и взаимосвязанными проблемами. Качество пищи, наличие в ней необходимых организму питательных веществ, микроэлементов – одни из многих показателей производимых пищевых ресурсов. В настоящее время усиленно продолжает расти спрос на производство продуктов питания, в том числе и сахара.

Для получения экологически чистой растениеводческой продукции необходимо свести к минимуму антропогенное воздействие на окружающую среду в целом и, в частности, на агрофитоценозы, которые являются основными источниками пищевых продуктов питания. Химизация сельского хозяйства занимает не последнее место в ряду антропогенных факторов, воздействующих на почвы и агрофитоценозы.

Основным источником производства продукции является почва, и задача состоит в охране её экологической чистоты, поскольку загрязняющие вещества оказывают как прямое влияние (снижение урожайности

и качества), так и косвенное (аккумуляция этих веществ в почве и пищевых продуктах) [1, 2, 3, 4].

Негативное воздействие на агрофитоценозы оказывают и пестициды, особенно гербициды, которые применяют на сахарной свекле (3-4-кратная обработка) баковыми смесями. Гербицид, вне зависимости от химической природы действующих веществ, неизбежно вызывает глубокие изменения всей экосистемы, в которую его внедрило.

После применения пестицидов в растениеводстве значительная часть их вымывается из почвы и попадает в водоёмы.

В современных условиях остро стоит проблема загрязнения сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами (ТМ). Превышение предельно допустимых концентраций их содержания в почвах отражается на снижении урожайности и ухудшении биохимического состава сельскохозяйственных культур, нарушаются различные метаболические процессы [5]. Избыточное накопление ТМ в тканях растений вызывает окислительный стресс [6].

В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую природную среду в настоящее время (имеется в виду

качество продукции растениеводства) большое внимание уделяют содержанию в ней ТМ. Поступая в организм человека с продуктами питания, ТМ оказывают отрицательное действие, так как они являются протоплазматическими ядами, их биологическая опасность основана на кумулятивном действии в трофических цепях. В связи с этим поиск эффективных методов снижения поступления ТМ в растения, в том числе и сахарной свёклы, является крайне важным. Кроме поступления ТМ, очень важно дать экологическую оценку полученной продукции, в нашем случае технологических качеств корнеплодов при переработке на сахарном заводе.

В течение 2012-2015 гг. проводили исследования по изучению влияния микроэлементов-синергистов (бор, марганец и цинк) при двухразовой подкормке данной культуры. Установлено, что применение в качестве внекорневой подкормки микроудобрений усиливает процесс образования листьев, увеличивает продолжительность их жизни и замедляет процессы отмирания, в результате увеличивается и продуктивность сахарной свёклы [7, 8, 9]. Двукратная внекорневая подкормка на высоком агрофоне обеспечивает значительное повышение продуктивности гибридов.

#### **Объекты и методы исследований**

Полевые и вегетационные опыты проводили в специализированном свеклосеющем КФХ ИП «Сяпуков Е.Ф.» Цильнинского района Ульяновской области с использованием более современных машин и механизмов с применением нереутилизирующих микроэлементов на базе усовершенствованной нами технологии [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Объектом исследований были выбраны образцы корнеплодов сахарной свёклы (*Betavulgaris*) гибрида Манон селекции бельгийской фирмы «SESVanderHave», выращенные в полевом и вегетационном опытах.

Первая внекорневая подкормка сахарной свёклы проводилась в фазу 5-6 настоящих листьев в баковой смеси одновременно со вторым опрыскиванием гербицидами, вторая подкормка – в период формирования корнеплодов. Растворы нереутилизирующих

микроэлементов применяли в концентрации 0,05%, а именно: бор (в виде борной кислоты –  $H_3BO_3$ ), цинк (в виде сульфата цинка –  $ZnSO_4$ ), марганец (в виде сульфата марганца –  $MnSO_4$ ).

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый. Содержание гумуса от 4,8 до 5,3%. Реакция среды в пахотном слое почвы слабокислая  $pH_{\text{сол.}} - 5,8-6,5$ . Содержание подвижного фосфора повышенное – 115-160 мг/кг, обменного калия высокое – 140-200 мг/кг. Степень насыщенности основаниями составляет 96,4-97,9%, сумма поглощенных оснований 25,5-27,8 мг-экв/100г почвы.

На полях содержание микроэлементов колеблется в следующих пределах: бор – 0,1-0,18 (среднее 0,14 мг/кг), марганец – 4,7-10,9 (среднее 7,0 мг/кг), цинк – 0,4-0,6 (среднее 0,47 мг/кг). По бору и цинку почвы очень бедные, по марганцу бедные. Опыты закладывали в четырехкратной повторности в коротком ротационном севообороте с чередованием культур, чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – яровая пшеница. Основные и сопутствующие наблюдения проводили по стандартным методикам. Сахарозу определяли на современном колориметрическом сахариметре проточном АП-05, доброкачественность нормального сока по Силину [18], тяжёлые металлы – методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для определения  $\alpha$ -аминного азота использовали модифицированный Винингером и Кубадиновым метод Станека и Павласа, основанный на измерении оптической плотности образовавшегося комплексного соединения  $\alpha$ -аминокислоты с раствором меди. Содержание  $\alpha$ -аминного азота в исследуемом растворе находили по величине оптической плотности. Измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре ПЭ-5300В при длине волны 620 нм, при pH среды 6,1...6,3 в 50 мм кювете. Для определения  $\alpha$ -аминного азота в свёкле использовали раствор, полученный при определении содержания сахарозы в свёкле методом горячего водного дигерирования («дигерат»).

Учитывая зональность выращивания,

Таблица 1

Показатели сахаристости корнеплодов при использовании микроэлементов-синергистов, в % на сырую массу

Вариант	Год исследований				Средняя сахаристость
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Контроль	16,5	15,6	17,2	18,1	16,85
Бор	17,0	16,0	17,4	18,6	17,25
Цинк	16,6	15,8	17,2	18,3	16,97
Марганец	16,7	15,8	17,2	18,3	17,00
Бор + Цинк	17,2	16,3	17,8	18,7	17,50
Бор + Марганец	17,2	16,4	17,9	18,7	17,55
Цинк + Марганец	17,1	16,4	17,6	18,4	17,38
Цинк + Марганец + Бор	17,4	16,5	18,2	18,9	17,75

Таблица 2

Доброкачественность нормального сока корнеплодов сахарной свёклы при применении микроэлементов, у.е.\*

Вариант	Год исследований				Средняя доброкачественность
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Контроль	85,8	83,3	87,1	86,5	85,68
Бор	85,8	84,0	88,9	87,1	86,48
Цинк	85,7	83,6	87,8	86,6	85,93
Марганец	85,8	83,7	87,9	86,7	86,02
Бор + Цинк	86,3	83,6	89,6	87,4	86,72
Бор + Марганец	86,4	84,2	89,5	87,5	86,90
Цинк + Марганец	86,1	83,8	88,7	87,2	86,45
Цинк + Марганец + Бор	86,7	84,9	90,0	90,9	88,13

\* У.е. – условная единица, которая означает, сколько частей сахарозы содержится в 100 частях сахарного сока, остальные части приходятся на пектин, клетчатку, инвертный сахар и несахара.

согласно которой вся технология выращивания сахарной свеклы адаптирована к конкретным почвенно-климатическим условиям, определяющими факторами служили гибкая система ухода за растениями, защита от сорняков, вредителей, болезней и внекорневая подкормка растворами солей микроэлементов.

#### Результаты исследований

Исследования показывают, что под влиянием микроэлементов содержание сахарозы в корнеплодах увеличивается с 16,85

до 17,75 % (табл. 1).

Наибольшая сахаристость получена в 2015 г., хотя в начале вегетации не было осадков в течение более 60 дней. Но после июльских дождей высокая температура в августе-сентябре способствовала более интенсивному биосинтезу и оттоку сахарозы из листьев в корнеплоды, поэтому сахаристость корнеплодов повысилась по всем вариантам в сравнении с 2012-2014 гг. По сравнению со средними трёхлетними данными сахаристость повысилась на 0,4-1,6%.

Таблица 3

## Водородный показатель pH нормального сока при использовании микроэлементов

Вариант	Год исследований				Среднее значение pH
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Контроль	6,1	6,5	6,3	6,5	6,4
Бор	6,6	6,3	6,3	6,6	6,5
Цинк	6,1	6,0	6,1	6,5	6,2
Марганец	6,3	6,2	6,1	6,4	6,3
Бор + Цинк	6,1	6,0	6,2	6,5	6,2
Бор + Марганец	6,2	6,1	6,0	6,5	6,2
Цинк + Марганец	6,6	6,4	6,5	6,6	6,5
Цинк + Марганец + Бор	6,2	6,3	6,1	6,7	6,3

Таблица 4

## Содержание ТМ в корнеплодах сахарной свёклы на полевом опыте (среднее за 2012-2014 гг.)

№	Вариант	мг/кг				
		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
1	Контроль	6,663	27,000	0,595	0,213	1,405
2	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	6,453	25,700	0,575	0,204	1,335
3	ZnSO <sub>4</sub>	6,378	23,075	0,540	0,202	1,305
4	MnSO <sub>4</sub>	6,245	22,175	0,530	0,200	1,248
5	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> + ZnSO <sub>4</sub>	6,178	21,100	0,485	0,197	1,135
6	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> + MnSO <sub>4</sub>	6,183	19,925	0,455	0,174	1,110
7	ZnSO <sub>4</sub> + MnSO <sub>4</sub>	5,875	19,875	0,460	0,124	1,01
8	ZnSO <sub>4</sub> + MnSO <sub>4</sub> + H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5,763	19,500	0,445	0,121	0,985
ПДК		55	100	20	0,5	85

Под влиянием отдельных микроэлементов данный показатель повышается на 0,15-0,40%, при использовании 2-х, 3-х микроэлементов содержание сахарозы повышается соответственно на 0,53-0,90%, т.е. проявляется синергетический эффект (взаимное усиление между элементами). Независимо от погодных условий под влиянием микроэлементов во все годы исследований происходит более интенсивное сахаронакопление, соответственно в корнеплодах накапливается больше сахарозы.

Технологическими показателями, кроме содержания сахарозы, являются доброкачественность нормального сока (сколько частей сахарозы содержится в 100 частях са-

харного сока) и водородный показатель (pH) (табл. 2, 3).

Из данных табл. 2 видно, что на доброкачественность нормального сока оказывают большое влияние и погодные условия. Наибольшие показатели получены в 2014 и 2015 гг. в связи с умеренно тёплой и солнечной погодой августа и сентября. Если сравнить с 2013 г., то доброкачественность нормального сока увеличивается по своему варианту на 3,8-5,1 у.е., что составляет 4,6-6,0%. На доброкачественность сока оказывают влияние и микроэлементы, особенно при их сочетанном действии. В результате такого влияния в среднем за 4 года доброкачественность сока увеличивается на

Таблица 5

Содержание  $\alpha$ -аминного азота в корнеплодах сахарной свёклы, % к массе свёклы

Вариант	Год исследований				Среднее содержание
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Контроль	0,082	0,083	0,081	0,077	0,0808
Бор	0,078	0,077	0,076	0,071	0,0755
Цинк	0,079	0,079	0,076	0,065	0,0748
Марганец	0,080	0,078	0,075	0,059	0,0730
Бор + Цинк	0,078	0,077	0,073	0,054	0,0705
Бор + Марганец	0,080	0,078	0,074	0,047	0,0697
Цинк + Марганец	0,079	0,080	0,074	0,042	0,0688
Цинк + Марганец + Бор	0,078	0,080	0,074	0,036	0,0670

0,34-2,45 у.е. Установлено, что условия дополнительного минерального питания не реутилизирующимися микроэлементами при двух внекорневых подкормках оказывают сильное влияние на скорость и направление ферментативных процессов, участвующих в процессах синтеза сахарозы в растениях сахарной свёклы, в связи с этим можно изменить в желаемом направлении обмен веществ растений. Благодаря микроэлементам-синергистам в мелассу меньше попадает сахара, за счёт этого увеличивается выход сахара с единицы площади. Наиболее стабильным показателем является водородный показатель (табл. 3).

На данный показатель практически не оказывают влияния ни погодные условия, ни микроэлементы. В целом этот показатель больших отклонений не имеет и находится в пределах 6,2-6,5, близок к нейтральной среде. Результаты исследований по водородному показателю нормального клеточного сока показывают, что при данном рН создаются более благоприятные условия для извлечения сахарозы.

Для определения экологической чистоты свеклосырья нами определялись содержание тяжёлых металлов в корнеплодах (табл. 4) и содержание  $\alpha$ -аминного азота (табл. 5).

Под влиянием используемых микроэлементов происходит уменьшение содержания ТМ в корнеплодах сахарной свёклы. Содержание меди снижается с 6,663 мг/кг

на контроле до 5,763 мг/кг на варианте с совместным внесением микроэлементов, содержание цинка уменьшилось с 27,000 мг/кг до 19,500 мг/кг, свинца – с 0,595 мг/кг до 0,445 мг/кг, кадмия – с 0,213 мг/кг до 0,121 мг/кг и содержание никеля снизилось с 1,405 мг/кг до 0,985 мг/кг. Наибольшее снижение по всем определяемым тяжёлым металлам наблюдается на варианте с совместным внесением всех вносимых растворов микроэлементов.

В растениях сахарной свёклы, которые нами были дополнительно обработаны растворами микроэлементов, предположительно создавались физиологические барьеры. В результате ограничивается не только поступление тяжёлых металлов в растения из почвы, но и транспорт их по растительному организму.

Результаты таблицы 5 показывают, что содержание альфа-аминоазота колеблется в пределах 0,0670–0,0808% к массе сахарной свёклы. Под влиянием используемых микроэлементов происходит снижение данного показателя на 0,0053–0,0138% в среднем за четыре года исследований, тем самым создаются благоприятные условия для повышения количества извлекаемого сахара.

#### Выводы

Внекорневая обработка вегетирующих растений сахарной свёклы растворами микроэлементов улучшает технологические и экологические показатели. Заметно увеличивается содержание сахарозы до 0,9%

по сравнению с контролем, улучшается доброкачественность нормального сока на 2,45 у.е. по отношению к контролю, значения водородного показателя практически не изменялись. Содержание ТМ в корнеплодах сахарной свёклы снижается по всем пяти определяемым элементам, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni. Альфа-аминоазот в % к массе свёклы снижается с 0,0808 до 0,0670 при сочетанном действии всех используемых микроэлементов.

#### Библиографический список

1. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
2. Кобозев, Н.В. Предотвращение критических ситуаций в агроэкосистемах / Н.В. Кобозев, В.А. Тюльдюков, Н.В. Перехин. – М.: МСХА, 1995. – 264 с.
3. Промышленная ботаника / А.И. Кондратюк, В.П. Тарабрин, Р.И. Бурда, А.И. Хорхота. – Киев: Наукова Думка, 1980. – 260 с.
4. Лукашев, В.К. Научные основы охраны окружающей среды / В.К. Лукашев, К.И. Лукашев. – Минск, 1980. – 256 с.
5. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
6. Кошкин, Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е.И. Кошкин. – М.: Дрофа, 2010. – 640 с.
7. Жердецкий, И.Н. Внекорневая подкормка микроудобрениями и площадь ассимиляционного аппарата / И.Н. Жердецкий // Сахарная свёкла. – 2010. - №3. – С. 31-34.
8. Жердецкий, И.Н. Площадь листовой поверхности на фоне внекорневых подкормок / И.Н. Жердецкий // Сахарная свёкла. – 2010. - №5. – С. 30-33.
9. Селезнёв, А.М. Антистрессовое действие регулятора роста Циркон и микроудобрения / А.М. Селезнев // Сахарная свёкла. – 2011. - №5. – С. 34-36.
10. Костин, В.И. Совершенствование технологии возделывания сахарной свёклы в условиях Ульяновской области / В.И. Костин, Е.Е. Сяпуков, О.Г. Музурова. – Ульяновск, 2010. - 60 с.
11. Костин, В.И. Технология возделывания сахарной свёклы в КФХ «Аметист» Цильнинского района Ульяновской области / В.И. Костин // Нива Поволжья. – 2007. - №2 (3). - С. 7-9.
12. Костин, В.И. Фиторегуляторы ново-

го поколения в свеклосахарном производстве / В.И. Костин, Е.Е. Сяпуков, И.А. Сяпуков // Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник. – Пенза, 2008. – С. 158-161.

13. Костин, В.И. Эффективность инновационных факторов в свеклосахарном производстве / В.И. Костин, Т.Ю. Сушкова, С.В. Богданов // Сахарная свёкла. – 2008. - №6. – С. 10-13.

14. Prospects of use of growth regulators of new generation and microelements-synergists in technology of cultivation of a sugar beet / V.I.Kostin, A.V.Dozorov, V.A.Isaychev, V.A.Oshkin // Proceedings of International scientific and technical Conference named after Leonardo da Vinci. №2. – Berlin: WissenschaftlicheWelt e. V., 2014. – P. 41-50.

15. Костин, О.В. Влияние некорневой подкормки на технологические качества сахарной свёклы / О.В. Костин, Е.Е. Сяпуков, И.А. Сяпуков // Современные проблемы технологии производства, хранения, переработки и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции: сборник. – Мичуринск, 2007. – С. 126-127.

16. Костин, В.И. Изучение взаимодействия микроэлементов и мелафена на технологические качества корнеплодов сахарной свёклы / В.И. Костин, В.А. Исайчев, В.А. Ошкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №4 (28). – С. 64-69.

17. Ошкин, В.А. Использование нереутилизирующихся микроэлементов для внекорневой подкормки сахарной свёклы / В.А. Ошкин // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2013. – Том 1. – С. 100-102.

18. Силин, П.М. Лабораторный метод определения технологических свойств сахарной свёклы / П.М. Силин. – М., 1945. – 320 с.