

микроэлементов как в зерне, так и соломе. Совместное же применение навоза, Микромак и Страда N сопровождалось достоверным повышением выноса микроэлементов урожаем. Вынос цинка зерном при этом увеличился с 29,7 г/га на контроле до 45 г/га на варианте навоз 20 т/га + Микромак (предпосевная обработка семян). Следовательно, органические удобрения являются фактором, способствующим усилению выноса микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур.

Цинк концентрируется в семенах и содержании его в зерне пшеницы превышает в 3 и более раз солому. И, наоборот, содержание марганца выше в соломе более двух раз, чем в зерне. Количество меди в зерне и соломе распределено более равномерно.

Таким образом, проведенные исследования показали существенную роль микроэлементов в формировании урожайности озимой пшеницы как при применении в чистом виде, так и совместно с макроминеральными и органическими удобрениями.

Библиографический список

1. Асмус, В.А. Влияние диатомита, макро- и микроудобрений на продуктивность яровых зерновых культур и свойства выщелоченного чернозема в среднем Поволжье/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук. Саратов, 2005. 128 с.
2. Исайчев, В.А., Дозоров А.В. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на фотосинтетическую деятельность посевов яровой пшеницы// Зерновые культуры.– 1999. –№ 6. – С. 12 – 13.
3. Костин, В.И. Теоретические и практические аспекты предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур физическими и химическими факторами. Ульяновск, 1998.– 120 с.
4. Костин, В.И., Исайчев В.А., Костин О.В. К вопросу о механизме действия предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур/ Материалы Всероссийской конференции «Региональные проблемы международного сельского хозяйства», часть 1. Ульяновск, 2004. С. 91 – 97.
5. Сычев, В.Г., Аристархов А.Н., Харитонов А.Ф., Толстоусов В.П., Ефимова Н.К., Бушуев Н.Н. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления. М., 2009. 520 с.

УДК 633.16:631.8

РОЛЬ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛУЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЯЧМЕНЯ

The role of silicon containing materials in the production of ecologically safe products barley

А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, В.С. Смывалов
A.H. Kulikova, E.A. Yashin, V.S. Smyvalov

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»
FSBEI HPE "Ulyanovsk SAA named P.A. Stolypin"

A high efficiency of silicon-containing materials (diatomite, Mival-agro) in the production of ecologically safe products: lead content was reduced by more than 45 %, Nickel - by 33 %.

Изучению роли кремния в обмене веществ живых организмов посвящено большое количество работ, которые обобщены в ряде обзоров (Воронков М.Г. и др., 1978; Самсонова Н.Е., 2005). При этом считается установленным, что одной из важнейших функций кремния в растениях является защитная. Доминирующей гипотезой является аккумуляция кремниевой кислоты и образование кремнецеллюлозной мембраны, что приводит к утолщению эпидермального слоя растений. Весьма тщательно проведенные исследования о распространении кремния в овсе показали, что стенки всех видов абаксиальных клеток эпидермы, за исключением пробковых, насыщены кремнеземом. Стенки клеток слоя гиподермы,

сосуды и волокна также имеют его в своем составе. Обнаружено, что отложение кремния происходит в тесном контакте с другими компонентами клеточной стенки. Авторы исследования предполагают, что отложение кремния во вторичной стенке происходит совместно с образованием целлюлозы (Jones L., Handreck K., 1967; цит. по Воронкову М.Г. и др., 1978).

Широко исследована взаимосвязь между кремнием и устойчивостью растений к тяжелым металлам. Известно, что монокремниевая кислота может образовывать с тяжелыми металлами труднорастворимые силикаты: $2\text{Zn}^{2+} + \text{SiO}_4^{4-} = \text{ZnSiO}_4 \downarrow$; $2\text{Mn}^{2+} + \text{SiO}_4^{4-} = \text{MnSiO}_4 \downarrow$; $\text{Mn}^{2+} + \text{SiO}_4^{4-} + 2\text{H}^+ = \text{MnSiO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{Pb} + \text{H}_2\text{SiO}_4 = \text{PbSiO}_4 \downarrow + 4\text{H}^+$, что резко

Таблица 1

**Урожайность зерна ячменя в зависимости от применения в технологии его возделывания
диатомита и кремнийсодержащего препарата Мивал–Агро**

№ п/п	Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
		2011 г.	2012 г.	2013 г.	средняя	т/га	%
1	Контроль	3,08	1,54	2,62	2,41	–	–
2	Диатомит 40 кг/га (в рядки)	3,25	1,71	2,67	2,54	0,13	5
3	Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	3,28	1,62	3,08	2,67	0,26	11
4	Мивал–Агро	3,35	1,72	3,22	2,76	0,35	15
НСР ₀₅		0,10	0,05	0,11			

снижает их подвижность и поступление в растения (Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М., 2002).

Вышеизложенное предполагает возможность использования кремниевых соединений для получения экологически безопасной продукции сельскохозяйственных культур, чему посвящены наши исследования.

Объекты, условия и методы проведения исследования. Объектами исследования являлись:

– ячмень яровой Нутанс 553. Основное достоинство сорта – высокая засухоустойчивость. Среднеустойчив к твердой головне, восприимчив к пыльной головне и к гельминтоспориозным пятнистостям;

– диатомит, измельченный до порошкообразного состояния. В нем содержится 85,2 % оксида кремния, из них 42 % – в аморфном состоянии. Кроме того, в составе диатомита присутствуют 1,06 % K₂O; 0,21 % SO₃; 0,05 % P₂O₅ и другие элементы, которые важны с точки зрения питания растений;

– Мивал–Агро – кремнийорганический регулятор роста растений. Обладает широким спектром биологического действия, адаптогенными и антиоксидантными свойствами. Экологически безопасен, отличается высокой эффективностью, простотой использования.

Изучение эффективности кремнийсодержащих материалов в получении экологически безопасной продукции ячменя проводилось в мелкоделяночном опыте на опытном поле Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, включающем 10 вариантов. В работе приведены результаты 4-х вариантов, непосредственно касающихся данной проблемы: 1. Контроль; 2. Диатомит в рядки (40 кг/га);

3. Диатомит 30 кг/т семян (обработка семян); 4. Мивал–Агро (обработка семян).

Общая площадь делянки 40 м² (4х10), учетная 18 м² (1,8х10), повторность 4-х кратная, расположение их рендомизированное.

Агрохимическая характеристика почвы (чернозем выщелоченный), где непосредственно прово-

дились опыты, следующая: содержание гумуса 4,3 %, подвижных соединений фосфора и калия (по Чирикову) 193 и 152 мг/кг почвы, рН_{ккл} 5,6.

Обработка семян проводилась в день посева в дозе: опудривание диатомитовым порошком – 30 кг/т семян (для удерживания диатомита на поверхности использовался прилипатель – NaKMц). Рабочий раствор, содержащий Мивал–Агро, готовился непосредственно перед обработкой. Посевы прикатывались кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Уборку урожая осуществляли прямым комбайнированием комбайном Terrion Sampo SR2010.

Результаты и их обсуждение. Урожайность определяется количеством взаимодействующих признаков и факторов, таких как: тепло, влага, воздух и питание растений в оптимальных количествах в соответствии с потребностью культурного растения. В том числе, большое значение имеет состояние посевов, пораженность их вредителями, болезнями, насекомыми и т.д.

Урожайность зерна ячменя в зависимости от применения в технологии его возделывания изучаемых факторов представлена в таблице 1.

Результаты исследования показали, что в 2012 году она была почти в 2 раза ниже, чем в предыдущем, что обусловлено сложившимися погодными условиями в течение вегетации зерновых культур. Несмотря на то, что было достаточное количество влаги в почве во время сева, в последующий период в течение 20 дней осадки не выпадали, а температура воздуха снижалась до + 10 °С. Не было осадков в начале июня, но уже при высоких дневных температурах. Однако в более экстремальных условиях влияние кремнийсодержащих материалов на урожайность ячменя было выше и прибавка её в 2012 году составляла от 6 до 12 %, тогда как в 2011– 6–8 %. При этом способ применения диатомита имел большое значение: прибавка урожайности ячменя была выше при внесении его в почву (40 кг/га). Последнее, несомненно, обусловлено водоудерживающей способ-

Таблица 2

Влияние кремнийсодержащих материалов на содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

№ п/п	Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
1	Контроль	28,8	14,5	11,9	0,29	26,3
2	Диатомит 40 кг/га (в рядки)	29,2	14,4	10,8	0,21	26,6
3	Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	27,3	14,1	10,7	0,21	25,2
4	Мивал-Агро	29,4	14,9	11,2	0,26	26,7
ПДК		100	30	32	3	35

ностью диатомита. Аналогичные результаты наблюдались в 2013 году, также относительно неблагоприятном по распределению осадков и температурного режима в течение вегетации ячменя. В среднем за 3 года исследований наиболее высокая урожайность (2,76 т/га) сформировалась при применении для предпосевной обработки семян экологически безопасного препарата Мивал–Агро, что превышает контроль на 0,35 т/га (15 %).

Мивал–Агро – кремнийорганический регулятор роста растений. Обладает широким спектром биологического действия, адаптогенными и антиоксидантными свойствами. Действующее вещество составляет 100 % и включает мивал – один из наиболее изученных представителей силатранов, содержащий кремний в биологически активной форме, и его некремнийсодержащий аналог, который представляет собой биогенный амин, обладающий свойствами природных ауксинов. По своей биологической активности оба компонента дополняют друг друга, что обуславливает синергический эффект и способствует усилению физиологических реакций, а также значительно расширяет диапазон применения этого регулятора роста растений. Данные особенности препарата обуславливают высокую эффективность Мивал–Агро.

В таблице 2 представлена валовая форма тяжелых металлов в пахотном слое почвы, которые являются наиболее токсичными для живых организмов.

При анализе таблицы, прежде всего, обращает на себя внимание, что содержание всех тяжелых металлов в почве ни по одному элементу не превышает предельно допустимые концентрации их в почве. Например, содержание свинца в пахотном слое чернозема выщелоченного в почве опытного участка не превышает 14,5 мг/кг, тогда как ПДК его составляет 32,0 мг/кг, никеля 23,6 мг/кг (ПДК 35 мг/кг), кадмия 0,3 мг/кг (ПДК 3,0 мг/кг). Что касается цинка и меди, которые играют двойственную роль в живых организмах, можно говорить об их недостаточности в почве. С одной стороны оба эти элемента абсолютно необходимы растениям, так как входят в состав ферментов, обу-

словливающих и регулирующих жизненно важные процессы, принимают участие в биосинтезе РНК и хлорофилла, участвуют в углеводном и фосфатном обмене. С другой стороны, они высокотоксичны, и летальная доза, например цинка, для человека, составляет 200 мг на 1 кг веса. Считается, что влияние высоких концентраций цинка проявляется в синергическом действии, усиливая эффект других загрязнителей, например, кадмия (Соколов О.А., Черников В.А., 1999).

Что касается влияния изучаемых факторов на содержание ТМ в почве, обработка семян кремнийсодержащими материалами и обработка посевов ими не влияет на их общее количество в почве. Следовательно, с точки зрения присутствия в них ТМ, они экологически безопасны.

С точки зрения получения экологически безопасной продукции важно не общее содержание тяжелых металлов в почве, а их доступность растениям. ТМ претерпевают в почве, в зависимости от используемых в сельском хозяйстве технологий, химические превращения, в ходе которых токсичность их меняется в очень широких пределах. Наибольшую опасность представляют подвижные формы ТМ, так как они являются наиболее доступными для живых организмов. Подвижность их зависит от типа почвы, содержания органического вещества, кислотности и других факторов. В связи с этим важное практическое значение имеет познание механизмов и закономерностей поведения и распределения ТМ и поступления их в растениеводческую продукцию в зависимости от используемых в современном сельском хозяйстве технологий. Следовательно, при внесении в почву любых материалов в качестве мелиорантов или удобрений необходим контроль над поступлением при этом токсикантов, в том числе и тяжелых металлов, в сельскохозяйственную продукцию. В таблице 3 представлено содержание тяжелых металлов в зерне ячменя.

Исследования показали, что содержание тяжелых металлов в зерне ни по одному элементу, кроме никеля, количество которого на уровне ПДК, не превышает предельно допустимые концентрации. По

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в зерне ячменя, мг/кг (2012 г.)

№ п/п	Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
1	Контроль	22,5	3,85	0,95	0,12	1,2
2	Диатомит 40 кг/га (в рядки)	14,0	3,2	0,50	0,08	0,8
3	Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	17,0	3,7	0,60	0,09	1,1
4	Мивал-Агро	14,5	3,6	0,90	0,12	1,2
ПДК		50,0	30,0	5,0	0,30	1,0

цинку оно ниже ПДК в 3 и более раз, меди – более 8 раз, свинцу – до 10 раз, кадмию – до 2,5 раз. Следовательно, большую опасность представляет никель, содержание которого в зерне находится на уровне ПДК, а по некоторым вариантам незначительно превышает его. Возможно, последнее обусловлено тем, что содержание никеля в почвах хотя и ниже ПДК, но достаточно высокое (на уровне 26–27 мг/кг при ПДК 35 мг/кг).

Наиболее эффективным фактором, ограничивающим поступление токсикантов в продукцию, является диатомит при внесении в дозе 40 кг/га

в рядки: содержание в зерне ячменя свинца при этом уменьшилось с 0,95 до 0,5 мг/кг (на 47 %), кадмия с 0,12 до 0,08 мг/кг (на 33 %), никеля с 1,2 до 0,8 мг/кг (на 33 %). Последнее, несомненно, обусловлено высокими адсорбционными свойствами диатомита, что удерживает металлы от поступления в продукцию.

Таким образом, использование диатомита и кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания ячменя может стать действенным фактором не только повышения урожайности, но и получения экологически безопасной продукции.

Библиографический список

1. Воронков, М.Г. Кремний и жизнь/ Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Луцкевиц Э.Л./ - . Рига: Зинатне. – 1978. – 587 с.
2. Матыченков, В.В. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву / Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. / Агрохимия. 2002 – № 2. – С. 86 – 93.
3. Самсонова, Н.Е. Кремний в почве и растениях /Самсонова Н.Е. / Агрохимия. - 2005. – № 6. – С. 76 – 86.
4. Соколов, О.А. Атлас тяжелых металлов в объектах окружающей среды/ Соколов О.А., Черников В.А./ М.: Пушино. – 1999. – 164 с.