

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕОЛИТА И ЦЕОЛИТА, ОБОГАЩЕННОГО АМИНОКИСЛОТАМИ, В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ ПРОСА

Куликова Алевтина Христофоровна¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Яшин Евгений Александрович¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Ромашкин Александр Сергеевич¹, аспирант кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Козлов Андрей Владимирович², кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой «Микробиология и иммунология» (Институт Агробиотехнологий)

¹ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 432017, Ульяновск, бульвар Новый Венец 1, тел: 8(8422)55-95-68, e-mail: agroec@yandex.ru

²ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49 тел: 8(499) 976-09-66, e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Ключевые слова: цеолит, цеолит, обогащенный аминокислотами, просо, урожайность.

Цель работы: изучить влияние кремнистой породы цеолита и удобрения на его основе, обогащенного аминокислотами, на агрофизические, биологические, агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность проса. Исследование проводили на опытном поле Ульяновского ГАУ имени П.А. Столыпина. В качестве материалов (объектов) был взят цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области; цеолит, обогащенный аминокислотами; просо посевное Саратовское 12. Схема опыта включала 4 варианта: 1 – контроль, 2 – цеолит 500 кг/га, 3 – цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га, 4 – N40P40K40. Площадь учетной делянки -20 м² (2*10), повторность опыта- четырехкратная. Почва опытного поля- чернозем выщелоченный с низким содержанием гумуса (3,8-4,0%), высоким содержанием подвижного фосфора (150 мг/кг почвы по Чирикову), повышенным - обменного калия (89 мг/кг), слабокислой реакцией почвенного раствора (рНКСI 5,5 единицы). Опыты проводили со строгим соблюдением всех методических требований, анализы - по соответствующим ГОСТам. Установили, что цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, а также удобрение на его основе, обогащенное аминокислотами, оказывают положительное воздействие на свойства чернозема выщелоченного: улучшалось агрофизическое состояние пахотного слоя (содержание агрономически ценных агрегатов повысилось на 11,4-11,5%); усилилась общая биологическая активность (на 15-32%); увеличилось содержание доступных растениям фосфора на 27-38 мг/кг, калия на 11-12 мг/кг, минеральных форм азота на 13,1 и 8,9 мг/кг, кремния на 10,7 и 10,9 мг/кг почвы. Прибавка урожайности зерна проса при применении цеолита в чистом виде составила 0,40 т/га (16%), при внесении обогащенного аминокислотами цеолита – 0,93 т/га (37%). Урожайность проса при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами, не уступала варианту с использованием минеральных удобрений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 19-416-730002.

Введение

Обеспечение оптимального питания растений – одно из основных условий формирования высокой продуктивности любых культур. При этом необходимо знать его особенности в течение всего вегетативного периода. Что касается проса, то в процессе вегетации оно нуждается в разном количестве элементов питания: до фазы кущения более всего в азоте и в убывающем порядке - калии и фосфоре. В фазах стеблевания, выметывания метелок и цветения растения просо потребляет наибольшее количество питательных веществ, кроме фосфора. Фосфор растениям проса необходим в большей степени

на период налива семян. В связи с этим очень важно использовать удобрения пролонгированного действия, способные обеспечить растения питанием в течение всей вегетации культуры. В этом отношении большой интерес представляют высококремнистые породы (диатомиты, цеолиты т др.) в качестве удобрения, благоприятно влияющие на почвенную среду, улучшая ее физические, биологические и в конечном итоге агрохимические свойства. Следовательно, обеспечивающие постоянное поступление в почвенный раствор элементов питания, благодаря улучшению условий жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и переводу труд-

недоступных элементов питания в доступные [1-6].

В отношении высококремнистых пород следует отметить, что они, прежде всего, представляют из себя кремниевое удобрение. Кремний - элемент в той же степени необходимый растениям, как азот, фосфор и калий. Не случайно, основоположник теории минерального питания растений Юстус Либих еще в 1840 году кремний отнес к четырем основным питательным элементам: это азот, фосфор, калий и кремний, доказал важность кремниевого питания растений сельскохозяйственных культур для получения высоких урожаев [7]. Однако, несмотря на большое количество научных исследований, в которых установлена эффективность кремниевых (силикатных) удобрений, в нашей стране они практически не производятся и не получили применения. В связи с этим изучение эффективности кремниевых пород с высоким содержанием аморфного (доступного) кремния в качестве удобрения сельскохозяйственных культур является актуальным. Последнее определило цель наших исследований – изучить влияние высококремнистой породы цеолита и удобрения на его основе, полученного обогащением его аминокислотами, на агрофизические, биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность проса.

Материалы и методы исследований

Исследование проводили на опытном поле Ульяновского ГАУ имени П.А. Столыпина. В качестве материалов (объектов) исследования были взяты цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, а также цеолит, обогащенный аминокислотами животного происхождения, и просо посевное сорта Саратовский 12. Цеолит – полиминеральная пористая порода гидротермального экзогенного происхождения, которая состоит из сложного комплекса полигидратированных алюмосиликатов таких, как клиноптилолит, гейландит, шабазит, морденит и другие минералы. Отличительной особенностью цеолитов является их микроструктура, представленная внутрикристаллическими каналами и полостями, соединенных между собой и окружающей средой. В них находятся ионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Ba^{2+} , а также молекулы воды. Благодаря им для цеолитов характерны высокая адсорбционная и ионообменная способности, каталитическая активность, обратимая дегидратация.

По мнению ряда авторов, эффективность кремнистых пород, в том числе цеолитов, мож-

но значительно повысить при совместном применении с органическими и минеральными удобрениями [8]. Последнее является теоретической базой для создания на основе цеолитов новых видов экологически безопасных, высокоэффективных удобрений нового поколения, в наибольшей степени удовлетворяющим потребностям культурных растений. Производство соответствующих удобрений налажено в ООО «БиоРесурс» (г. Ульяновск) с 2019 года, испытания которых нами проводятся при возделывании ряда культур, в том числе проса. В экспериментах выращивали просо сорта Саратовское 12. Относится к группе ранних сортов. Отличается отличными технологическими и биологическими свойствами: выравненностью, крупнозернистостью и шаровидностью зерна, повышенным выходом крупной фракции пшена (75-78%), устойчивостью к меланозу, высоким содержанием каротиноидных пигментов.

Схема опыта состояла из вариантов: 1- контроль, 2 – цеолит 500 кг/га, 3 – цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га, 4 - N40P40K40. Площадь учетной делянки -20 м² (2*10), размещение их рендомизированное, повторность опыта -четырекратная. Опыт проводили на черноземе выщелоченном с низким содержанием гумуса (3,8-4,0%), высоким – подвижного фосфора (по Чирикову, 150 мг/кг), повышенным – обменного калия (89 мг/кг), реакцией почвенного раствора – ближе к нейтральной (рНКСI 5,5 единиц).

Опыты проводили со строгим соблюдением всех методических требований, все анализы проводили по соответствующим ГОСТам. Учет урожая сплошной поделяночный, данные подвергали статистической обработке и достоверны.

Результаты исследований

Результаты исследования представлены в таблицах 1,2,3,4 и рисунках 1,2.

Обсуждение

Усиливающееся в последние десятилетия антропогенное воздействие на почвенный покров приводит к усилению ярко выраженных деградиционных процессов, в том числе происходит физическое разрушение, сопровождающееся деструктуризацией, ухудшением всех физических показателей. Среди них важнейшим является структурное состояние почвы, которое характеризует условия протекания в ней физико-химических и биологических процессов, которые в свою очередь определяют эффективное плодородие и, соответственно, продуктивность

Таблица 1

Влияние цеолита и удобрения на его основе на структуру почвы

Вариант	Содержание агрегатов,% (сухое просеивание)			K _c *
	< 10 мм	10 – 0,25мм	< 0,25 мм	
Контроль(без удобрений)	6,4	64,2	9,4	1,77
Цеолит 500 кг/га	9,3	75,6	5,1	3,10
Цеолит обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	8,7	75,7	5,5	3,13
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	7,3	66,1	6,1	1,98
HCP ₀₅	2,5	3,0	1,1	

* - коэффициент структурности

Таблица 2

Степень разложения льняного полотна в пахотном слое чернозема выщелоченного под посевами проса,%

Вариант	Степень разложения льняного полотна	Отклонение от контроля	
		абсолютное	относительное
Контроль (без удобрений)	18,3	-	-
Цеолит, 500 кг/га	21,0	+2,7	15
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	24,2	+5,9	32
N40P40K40	23,8	+5,5	30
HCP05	3,0		

Таблица 3

Влияние цеолита и удобрения на его основе на агрохимические показатели почвы (средние за вегетацию)

Вариант	рНКСI, единицы	мг/кг			
		P2O5	K2O	N-NH4+ N-NO3	SiO2
Контроль (без удобрений)	5,4	145	89	12,8	27,2
Цеолит, 500 кг/га	5,7	172	100	25,9	37,9
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,9	183	107	21,7	38,1
N40P40K40	5,7	192	113	19,6	28,9
HCP05	0,3	5	4	1,1	2,3

Таблица 4

Урожайность проса в зависимости от применения удобрений

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
	2019 г	2020 г	2021 г	среднее	т/га	%
Контроль (без удобрений)	2,54	2,33	2,62	2,50	-	-
Цеолит, 500 кг/га	2,87	2,72	3,11	2,90	+0,40	16
Цеолит, обогащенный аминокислота- ми, 500 кг/га	3,71	3,17	3,42	3,43	+0,93	37
N40P40K40	-	3,24	3,45	3,35	+0,85	34
HCP05	0,17	0,18	0,12			

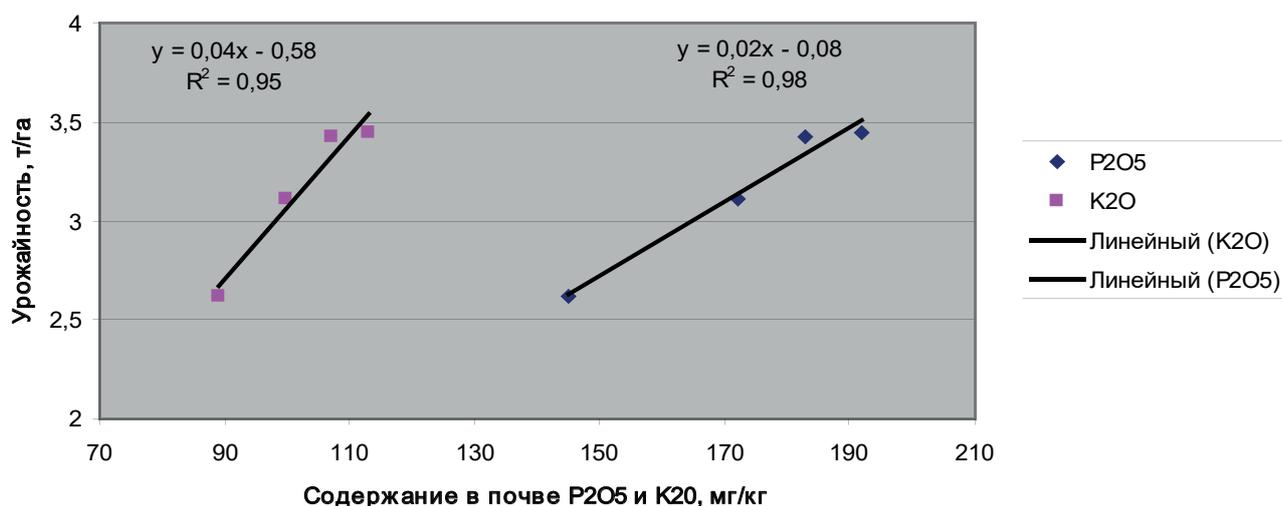


Рис. 1 – Зависимость урожайности проса от содержания подвижного фосфора и калия в почве

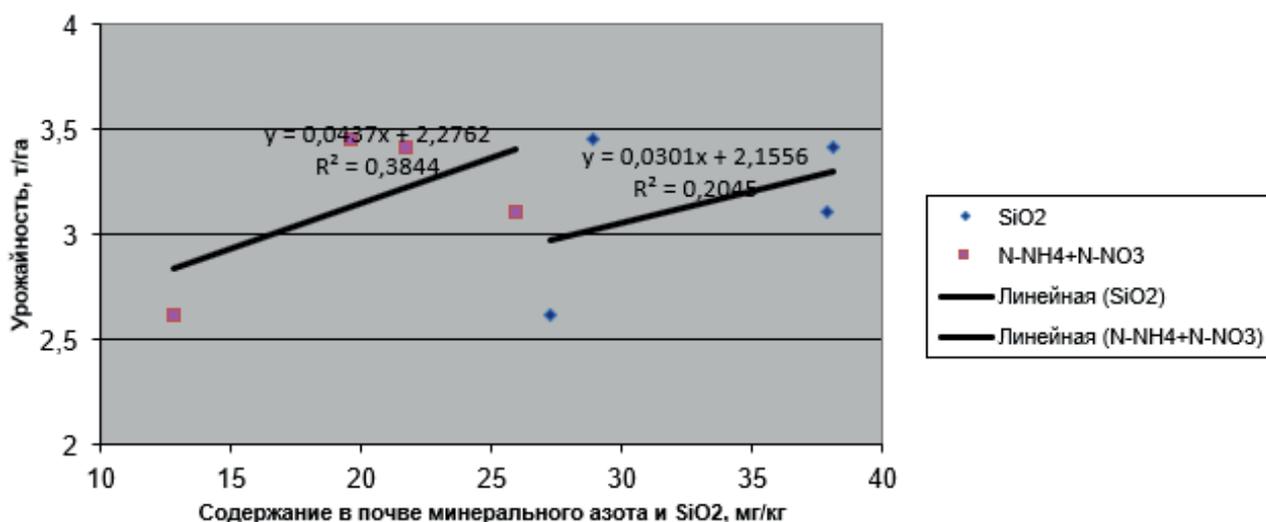


Рис.2 – Зависимость урожайности от содержания минерального азота и подвижного кремния в почве

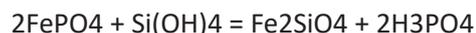
агроценозов.

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, показывают, что структурное состояние почвы опытного поля не в полной мере удовлетворяет требованию культуры в физическом состоянии почвенной среды произрастания: количество агрономически ценных агрегатов (10-0,25 мм) (сухое просеивание) составляет 64,2% с достаточно высоким содержанием глыбистой фракции (26,4%). При внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами, происходит значительное улучшение структуры почвы: количество агрономически ценных агрегатов повысилось на 11,4 и 11,5% (абсолютные значения). Коэффици-

ент структурности при этом увеличивается в 1,8 раза. Последнее, несомненно, обязано аморфному кремнию, присутствующему в цеолите. Установлено, что поликремниевые кислоты способны склеивать почвенные частицы в агрегаты за счет кремниевых мостиков между ними [4,9]. Достоверного улучшения структурного состояния почвы при применении минеральных удобрений не установлено. Агрофизическое состояние почвы является одним из важных факторов, определяющим ее биологическую активность. Под биологической активностью понимают деятельность населяющих почву живых организмов. Почвенный микробный комплекс исключительно сложен, и мониторинг его достаточно

затруднителен, в связи с этим часто применяют косвенные методы оценок общей биологической активности. Одним из них является аппликационный метод, основанный на учете разрушения льняного полотна в почве. Считается, что метод аппликации достаточно полно характеризует общую направленность микробиологических процессов в почве.

Данные таблицы 2 показывают, что агрофизическое состояние является одним из важных факторов, определяющим биологическую активность почвы. Улучшение структурного состояния экспериментальной почвы (её разуплотнение) сопровождалось соответствующим усилением активности почвенной биоты, которая повысилась при внесении в почву цеолита на 15%, цеолита, обогащенного аминокислотами, на 32%. Последние (аминокислоты) являются биологическими катализаторами при обогащении ими цеолита, таким образом усилили активность почвенной биоты более, чем в 2 раза. Аналогичную закономерность наблюдали в предыдущих наших экспериментах [5]. Главная роль почвенных микроорганизмов заключается в формировании эффективного плодородия через способность их постепенно переводить труднодоступные и малорастворимые формы элементов питания в соединения, которые корневая система растений способна усваивать за счет сугубо микробиологических почвенных процессов аммонификации растительных и животных остатков, нитрификации промежуточных продуктов, а также минеральной части почвы, органических и минеральных соединений. В таблице 3 приведены изменения в содержании основных элементов питания, а также реакции почвенного раствора при внесении в почву цеолита и удобрения на его основе. Прежде всего, обращает на себя внимание значительный сдвиг реакции почвенного раствора на 0,3-0,5 единиц рНКСl в сторону ее нейтрализации. Последнее, несомненно, обязано присутствию в цеолите до 16-17% оксидов кальция и магния. Следовательно, цеолит обладает нейтрализующей кислотность почвы способностью. Кроме того, на 27-38 мг/кг повысилось содержание подвижного фосфора в пахотном слое. В ряде исследований [11,12,13] показано, что ионы монокремниевых кислот (в данном случае присутствующие в цеолите) способны вытеснять фосфат-ионы из малорастворимых фосфатов, тем самым переводя их в растворимое состояние по следующим схемам:



Улучшение калийного режима почвы обусловлено достаточным содержанием элемента в самой породе, а также усилением микробиологической активности почвы (как показано выше) при внесении в нее цеолита. Следует отметить, что при внесении экспериментальных удобрений содержание минерального азота в пахотном слое почвы повысилось в 2 раза. Последнее несомненно, обусловлено, увеличением при этом микробиологической активности почвы, благодаря чему усиливаются процессы аммонификации и нитрификации [14,15].

Особо необходимо остановиться на содержании в пахотном слое почвы водорастворимого кремния, который при внесении в почву цеолита увеличилось на 10,7 и 10,9 мг/кг. Почва опытного поля по В.В. Матыченкову [16] характеризуется низким уровнем дефицита кремния. Следовательно, применение цеолита в качестве кремниевого удобрения способствует улучшению питания растений данным элементом. Следует при этом отметить, что просо является одной из самых кремниелюбимых культур. Важно учитывать и то, что повышение содержания подвижного кремния в почвенном растворе способствует (как отмечалось выше) переходу труднорастворимых фосфатов в доступные и, соответственно, улучшению питания растений фосфором.

Существенное улучшение питательного режима почвы закономерно сопровождалось повышением урожайности экспериментальной культуры (табл. 4). Из приведенных данных следует, что внесение цеолита в почву обеспечило повышение урожайности зерна проса на 0,40 кг/га, или 16%. Аналогичные результаты наблюдали в предыдущих годах исследований [5]. При применении обогащенного аминокислотами цеолита прибавка урожайности проса по отношению к контролю составила 0,93 т/га (37%), к варианту с использованием цеолита в чистом виде – 0,53 т/га, т.е. она удвоилась. Отсюда следует, что просо является культурой, требовательной к кремниевому питанию: между содержанием доступного кремния и урожайностью имеется прямая зависимость. В то же время при возделывании проса на черноземах с высокой обеспеченностью фосфором и калием оно нуждается в улучшении азотного питания: применение в качестве удобрения проса цеолита, обогащенного аминокислотами, сопровождалось прибавкой урожайности зерна, более чем в 2 раза большей, чем при внесении цеолита в чистом виде (37%).

Аминокислоты, присутствующие в цеолите при обогащении его ими, обогащают почву легкодоступным азотом с одной стороны, с другой – активизируют деятельность микроорганизмов, способствующих разложению органического вещества и, соответственно, переводу элемента из органической в неорганическую (NH_4^+ , NO_3^-), то есть доступную форму. Еще один важный вывод, вытекающий из данной таблицы: урожайность проса при применении обогащенного аминокислотами цеолита не уступает варианту с использованием минеральных удобрений, что, как показали расчеты, экономически более эффективно. Анализ результатов исследований показывает, что содержание в пахотном слое почвы доступных растениям соединений азота, фосфора, калия и кремния является определяющим урожайность зерна проса, как наглядно показывают приведенные уравнения зависимости урожайности от соответствующих показателей (рис. 1,2).

Заключение

1. Цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области и удобрение на его основе, полученное обогащением его аминокислотами, оказал положительное воздействие на агрофизические, биологические и агрохимические свойства почвы. При этом количество агрономически ценных агрегатов в пахотном слое чернозема выщелоченного повысилось на 11,4 и 11,5 %. Улучшение агрофизического состояния почвы сопровождалось усилением активности почвенных микроорганизмов на 15% при внесении в почву цеолита и на 32% - цеолита, обогащенного аминокислотами. Повышение активности почвенной биоты способствовало оптимизации питательного режима почвы: содержание доступных растениям фосфора по отношению к контролю увеличилось на 27 и 38 мг/кг, калия – на 11 и 18 мг/кг, минеральных форм азота – на 13,1 и 8,9 мг/кг, кремния – на 10,7 и 10,9 мг/кг. Цеолит обладает несомненной нейтрализующей кислотность почвы способностью: сдвиг рНКСI в сторону ее снижения составил 0,3 и 0,5 единиц.

2. Существенное улучшение свойств почвы, в том числе питательного режима, закономерно обусловило повышение урожайности зерна проса: на фоне применения цеолита в чистом виде на 0,40 т/га (16%), цеолита, обогащенного аминокислотами, на 0,93 т/га (37%). Урожайность проса при использовании обогащенного аминокислотами цеолита не уступала варианту с использованием минеральных удобрений.

Библиографический список

1. Wang.X. Effects exogenous silicon on seed gervination and antipxidant enzyme activities of Monoxdiachazantia under salt stress/X.Wang, C.Ouyang, Z. Fan// Journal of Animal Plant Sciencs. – 2010. – Vol.6. – P. 700 –708.
2. Бочарникова, Е.А. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения/Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков// Агрохимия. – 2011. – №7. – С. 84 – 96.
3. Tubana, B.S. a revien of silicon in soils and plants and its role US agriculture; history and future perspectives/ B.S. Tubuna, T. Baby, T.E.Datnoff// Soil Scince.-2016.-Vol.181(9/10) – P. 33 – 411.
4. Козлов, А.В. Роль и значение кремния в кремнийсодержащих веществ в агроэкоцистемах/ А.В. Козлов, А.Х. Куликова, Е.А. Яшин// Вестник Мининского университета. – 2015. – №2 (10). – С. 23-29.
5. Куликова, А.Х. Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур: монография/А.Х. Куликова, А.В. Карпов, Е.А. Яшин.-Ульяновск, – 2020. – 176 с.
6. Матыченков, В.В. Роль кремния в организмах и почвах/ В.В. Матыченков // Кремний и кремнистые породы в системе удобрений сельскохозяйственных культур. – Ульяновск, 2021. – С. 83-91.
7. Либих, Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. –М. – Л.: Сельхозгиз,- 1936. - 395 с.
8. Лобода, Б.П. Применение цеолитсодержащего сырья в растениеводстве / Б.П. Лобода // Агрохимия. – 2000. – С. 78-91.
9. Norton, L.D. Mineralogy of high calcium / sulfur – containg coal combustion by-products and their effect on surface seating / L.D. Norton // Agriculture Utilization of Urbant and Industrial By-products: Froceed. Sump.Am. And A-5 of the Am. Soc Agron. Tn Lincinnati. Ohio, 7-12 Nov. 1993. ASA Special Publication Number 58. – 1995. – P. 87 – 106.
10. Лапдина, М.Н. Физические свойства и биологическая активность почвы / М.Н. Лапдина /. – Новосибирск, 1986. – 140 с.
11. Матыченков, И.В. Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния / И.В. Матыченков, Е.П. Пахненко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №3 (23). – С. 24 – 28.
12. Бочарникова, Е.В. Влияние диатомита на подвижность и доступность растениям фос-

фора / Е.В. Бочарникова / Материалы национальной научно-практической конференции с Международным участием «Кремний и жизнь. Кремниевые породы в сельском хозяйстве»: Изд-во Ульяновского ГАУ им П.А. Столыпина. – Ульяновск, 2021. – С.20 – 25.

13. Матыченков, И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение : спец. 06.01.04: диссертация на соискание степени кандидата биологических наук / Матыченков Иван Владимирович. – Москва, 2014. – 136 с.

14. Кцоев, Б.К. Кремний и урожай / Б.К. Кцоев, А.А. Ермолаева /- Орджоникидзе: Ир, 1990. – 142 с.

15. Самсонова, Н.Е. Кремний в почве и растениях / Н.Е. Самсонова // Агрохимия. – 2005. – №8. – С. 76 – 86.

16. Матыченков, В.В. Роль кремния в организмах и почвах / В.В. Матыченков // Кремний и кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Материалы национальной научно-практической конференции с Международным участием «Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве»: Изд-во Ульяновского ГАУ. – Ульяновск. – 2021. – С. 83 – 91.

EFFICIENCY OF ZEOLITE AND ZEOLITE ENRICHED WITH AMINO ACIDS AS FERTILIZERS FOR MILLET

Kulikova A. Kh. 1, Yashin E.A. 1, Romashkin A.S. 1, Kozlov A.V. 2
1FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University, 432017, Ulyanovsk, Novyi Venets boulevard 1,
tel: 8(8422)55-95-68, e-mail: agroec@yandex.ru
2FSEI HE RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev, 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya st., 49
tel: 8(499) 976-09-66, e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Key words: zeolite, zeolite enriched with amino acids, millet, yield.

The purpose of the work is to study the effect of zeolite siliceous rock and fertilizer based on it, enriched with amino acids, on agrophysical, biological, agrochemical properties of leached black soil and millet yield. The research was carried out on the experimental field of Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. The materials (objects) were zeolite from Yushanskoye deposit in Ulyanovsk region; zeolite enriched with amino acids; Saratovskoye 12 common millet. The scheme of the experiment included 4 variants: 1 - control, 2 - zeolite 500 kg/ha, 3 - zeolite enriched with amino acids, 500 kg/ha, 4 - N40P40K40. The area of the record plot was 20 m² (2*10), fourfold repetition. The soil of the experimental field is leached black soil with low humus content (3.8-4.0%), high mobile phosphorus content (150 mg/kg by Chirikov), increased content of exchangeable potassium (89 mg/kg), a slightly acidic reaction of soil solution (pHKCl of 5.5 units). The experiments were carried out with strict adherence to all methodological requirements, analyzes were conducted according to relevant state standards. It was established that zeolite of Yushansky deposit of Ulyanovsk region and fertilizer based on it, enriched with amino acids, had a positive effect on leached black soil properties: agrophysical state of the arable layer improved (the content of agronomically valuable aggregates increased by 11.4-11.5%); overall biological activity increased (by 15-32%); the content of phosphorus available to plants increased by 27-38 mg/kg, potassium by 11-12 mg/kg, mineral forms of nitrogen by 13.1 and 8.9 mg/kg, silicon by 10.7 and 10.9 mg/kg of soil. The increase of millet grain yield in case of application of pure zeolite was 0.40 t/ha (16%), in case of zeolite enriched with amino acids - 0.93 t/ha (37%). The yield of millet in the variant with application of zeolite enriched with amino acids was not worse than in the variant with mineral fertilizers.

Bibliography:

1. Wang X. Effects exogenous silicon on seed germination and antipoxidant enzyme activities of *Monochloa azarum* under salt stress/X.Wang, C.Ouyang, Z. Fan// *Journal of Animal Plant Sciences*. - 2010. - Vol.6. - P. 700-708.
2. Bocharnikova, E.A. Silicon fertilizers and ameliorants: history of study, theory and practice of application / E.A. Bocharnikova, V.V. Matychenkov, I.V. Matychenkov // *Agrochemistry*. - 2011. - № 7. – P. 84 – 96.
3. Tubana, B.S. A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture: History and Future Perspectives / B.S. Tubana, T. Baby, T.E.Datnoff//*Soil Science*.-2016.-Vol.181(9/10) – P. 33 – 411.
4. Kozlov, A.V. The role and importance of silicon in silicon-containing substances in agroecosystems / A.V. Kozlov, A.Kh. Kulikova, E.A. Yashin // *Vestnik of Minin University*. - 2015. - № 2 (10). - P. 23-29.
5. Kulikova A.Kh. Siliceous rocks in the fertilizer system of agricultural crops: monograph / A.Kh. Kulikova, A.V. Karpov, E.A. Yashin.-Ulyanovsk, - 2020. - 176 p.
6. Matychenkov, V.V. The role of silicon in organisms and soils / V.V. Matychenkov // *Silicon and siliceous rocks in the system of fertilizers for agricultural crops*. - Ulyanovsk, 2021. - P. 83-91.
7. Liebig, Yu. Chemistry in application to agriculture and physiology / Yu. Liebig. –M. - L. : Selkhozgiz, - 1936. - 395 p.
8. Loboda, B.P. Usage of zeolite-containing raw materials in crop production / B.P. Loboda // *Agrochemistry*. - 2000. - P. 78-91.
9. Norton, L.D. Mineralogy of high calcium / sulfur – containing coal combustion by-products and their effect on surface se ating / L.D. Norton // *Agriculture Utilization of Urbant and Industrial By-products: Froceed. Sump.Am. And A-5 of the Am. Soc Agron. Tn Lincinnati. Ohio, 7-12 Nov. 1993. ASA Special Publication Number 58*. - 1995. - P. 87 - 106.
10. Lapdina, M.N. Physical properties and biological activity of the soil / M.N. Lapdina / . - Novosibirsk, 1986. - 140 p.
11. Matychenkov, I.V. Changes in the content of mobile phosphates in the soil in case of introduction of active forms of silicon / I.V. Matychenkov, E.P. Pakhnenko // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. - 2013. - № 3 (23). - P. 24 - 28.
12. Bocharnikova E.V. Influence of diatomite on mobility and availability of phosphorus to plants / E.V. Bocharnikova / *Materials of the National Scientific and Practical Conference with International Participation "Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture": Publishing House of Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin*. - Ulyanovsk, 2021. - P.20 - 25.
13. Matychenkov, I.V. Mutual influence of silicon, phosphorus and nitrogen fertilizers in the soil-plant system: / dissertation of candidate of Biological Sciences: 06.01.04/ Matychenkov Ivan Vladimirovich. - Moscow, 2014. -136 p.
14. Ktsoev, B.K. Silicon and harvest / B.K. Ktsoev, A.A. Ermolaeva / - *Ordzhonikidze: Ir*, 1990. - 142 p.
15. Samsonova, N.E. Silicon in soil and plants / N.E. Samsonova // *Agrochemistry*. - 2005. - № 8. - P. 76 - 86.
16. Matychenkov, V.V. The role of silicon in organisms and soils / V.V. Matychenkov // *Silicon and siliceous rocks in the fertilizer system of agricultural crops. Materials of the national scientific-practical conference with international participation "Silicon and life. Siliceous rocks in agriculture": Publishing House of Ulyanovsk State Agrarian University*. - Ulyanovsk. - 2021. - P. 83 - 91.