

УДК 631.427:633.15

ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТА НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ

**А. Х. Куликова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
тел.: 8 (8422) 55-95-68, agroec@yandex.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

**А. В. Козлов, кандидат биологических наук, доцент,
тел.: 89200001314; e-mail: a_v_kozlov@mail.ru
ФГБОУ ВО Нижегородский ГПУ им. К. Минина**

**Л. Я. Гарипова, магистрант 2-го года обучения,
тел.: 89374500069, e-mail: landysh_garipova@list.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

Ключевые слова: кукуруза, цеолит, биологические свойства почвы, урожайность.

Работа посвящена изучению влияния цеолита на биологические свойства чернозема выщелоченного (численность эколого-физиологических групп микроорганизмов, ферментативная активность) и формирование урожайности зерна кукурузы. Установлено, что совместное применение цеолита в дозе 500 кг/га и мочевины (N60) позволило значительно повысить биологическую активность чернозема выщелоченного и урожайность зерна кукурузы (на 2,13 т/га).

Введение. О положительной роли кремния в жизни растений свидетельствуют результаты исследований многих российских и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В настоящее время доказано, что основные его функции заключаются в формировании защитных свойств организма, которые наиболее полно проявляются при неблагоприятных и, особенно, стрессовых условиях выращивания сельскохозяйственных культур [3, 7]. Важность этого фактора в зоне рискованного земледелия, к которой относится Поволжье, трудно переоценить, особенно, если учесть, что частота засухливых лет в последние десятилетия существенно увеличилась (практически через каждые 3 года).

Кремний является основным компонентом почв, в которых содержание его колеблется от 20 – 35 (глинистые почвы) до 45 – 49 % (песчаные почвы) [8]. Однако растения часто испытывают недостаток в подвижных соединениях кремния, что связано с медленным растворением его кристаллических форм до ортокремниевой кислоты. Недостаток кремния может быть компенсирован кремнийсодержащими удобрениями.

ниями, которые в настоящее время применяются только за рубежом (США, Япония, Бразилия, Мексика, Китай, Индия и др.). В нашей стране еще в 70-е годы прошлого столетия была доказана необходимость применения силикатных удобрений, однако до настоящего времени они не производятся. Вместе с тем, есть возможность применения в этих целях природных высококремнистых пород, в том числе цеолитов, которые оказывают выраженное положительное действие на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур, сопоставимое в ряде случаев с действием минеральных удобрений. Последнее обуславливает необходимость установления эффективности природных высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях.

В связи с вышесказанным целью исследований являлось изучение эффективности применения цеолита в системе удобрения кукурузы при возделывании ее на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Объекты и методы исследования. Исследование проводили на базе опытного поля Ульяновского ГАУ в 2016 – 2017 гг. Объектами исследований являлись: цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области; чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый; кукуруза на зерно, гибрид Воронежский Оржица 237 МВ.

Схема опыта включала в себя следующие варианты: 1. Контроль, 2. Цеолит 500 кг/га, 3. Цеолит 2000 кг/га, N60P60K60 (NPK), 5. NPK + цеолит 500 кг/га, 6. NPK + цеолит 2000 кг/га, 7. N60 + цеолит 500 кг/га, 8. N60 + цеолит 2000 кг/га. Площадь учетной делянки 60 м², учет урожая сплошной поделяночный, повторность опыта четырехкратная, размещение делянок рендомизированное.

Полевые опыты, лабораторные анализы почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с методическими требованиями и ГОСТ-ами.

Результаты и их обсуждение. Функции микроорганизмов в почве как в ходе формирования почвенного слоя, так и в процессе их функционирования чрезвычайно разнообразны – от самых начальных этапов почвообразования до участия во всех элементарных процессах в зрелых почвах. Микроорганизмы обеспечивают всевозможные типы круговоротов вещества и энергии. Они, будучи живыми существами, наиболее быстро и чутко реагируют на все вмешательства в почву: как естественные, так и антропогенные. В таблице 1 приведена числен-

Таблица 1 – Численность функциональных групп микроорганизмов в зависимости от применения в системе удобрения кукурузы цеолита

Вариант	КОЕ/1 г абс. сухой почвы*					
	МПА, х10 ⁷	АГК, х10 ⁴	ЭШБИ, х10 ⁴	АМЕН, х10 ⁶	АМУР, х10 ⁶	НАТ, х10 ⁶
Контроль	29,46	7,13	1,48	12,74	89,18	34,15
Цеолит, 500 кг/га	30,92	7,17	1,58	12,89	99,30	30,51
Цеолит, 500 кг/га + N60	33,68	7,38	1,52	13,11	98,45	35,01

*КОЕ – колониеобразующие единицы

МПА – мясопептонный агар, на котором учитывается численность аммонифицирующей микрофлоры; АГК – агар Гетчинсона-Клейтона для определения целлюлозоразлагающих микроорганизмов; ЭШБИ – агар для определения общей численности олиготрофной микрофлоры, большей частью несимбиотических азотфиксаторов (дiazотрофов); АМЕН – агар Менкиной для учета органотрофных фосфатредуцирующих микроорганизмов; АМУР – агар Муромцева для учета литотрофных фосфатредуцирующих микроорганизмов; НАТ – нитритный агар Теппера, учитывает общую численность автохтонной группы микроорганизмов, способных усваивать гумусовые компоненты почвы.

ность основных эколого-физиологических групп микроорганизмов в почве 3-х вариантов опыта, определенная в 2017 году. Варианты выбраны как наиболее перспективные по результатам исследований 2016 года.

Как свидетельствуют данные таблицы, в группе первичных сапротрофов (аммонификаторы и целлюлозоразрушающие) наблюдалось сохранение их численности от внесения в почву 500 кг/га цеолита и небольшая активизация при совместном использовании породы с азотным минеральным удобрением (мочевина). При этом повышение численности соответствующих групп бактерий составило 14 % и 4 %.

Количество несимбиотических азотфиксаторов в большей степени повышалось на варианте с чистым цеолитом (на 7 %), чем на варианте совмещения его с азотом. Что касается двух групп фосфатредуцирующих бактерий почвы, внесение в почву цеолита способствовало активизации только литотрофных фосфатредуцентов (АМУР), примерно в одинаковой степени на обоих вариантах с использованием цеолита (в чистом виде и на фоне N60).

Численность автохтонных бактерий в почве снижалась от 500 кг/га цеолита (на 11 %) и оставалась на уровне контроля при совмещении с азотом. К автохтонной группе микроорганизмов относят те микроорганизмы, которые способны в качестве единственного источника питания

или наряду с другими источниками использовать гумусовые вещества. Последнее дает нам возможность предположить, что цеолит способствует сохранению в почве содержания и запасов гумуса.

Изменение численности физиологических групп микроорганизмов в почве сопровождалось соответствующими изменениями в ферментном комплексе.

Ферменты – биологические катализаторы, которые играют важную роль в материально-энергетическом обмене в почвах и во всех биохимических процессах. Они последовательно осуществляют биохимические реакции, выполняющие покомпонентные и энергетические обмены, в основе которых лежат процессы синтеза и превращения веществ. Выполняя ведущую роль в процессах трансформации органических веществ, ферменты являются чувствительными индикаторами на воздействие разных факторов на почвенную экосистему. Существует прямая связь между ферментативной активностью и теми изменениями, которые происходят в почвах под влиянием естественных и антропогенных факторов.

По типу катализируемых реакций все известные ферменты делятся на 6 классов, катализирующие: окислительно-восстановительные реакции (оксидоредуктазы); реакции негидролитического расщепления внутримолекулярных связей в различных соединениях (гидролазы); реакции межмолекулярного и внутримолекулярного переноса химической группы и их остатков с одновременным переносом энергии, заключенной в химических связях (трансферазы); реакции соединения двух молекул, сопряжены с расщеплением пирогосфатных связей АТФ или другого аналогичного трифосфата (лигазы); реакции гидролитического отщепления или присоединения различных химических соединений по двойным связям (лиазы); реакции превращения органических соединений в их изомеры (изомеразы).

В почвенной экосистеме ведущую роль играют оксидоредуктазы, характеризующие окислительно-восстановительные условия в почве и гидролазы, определяющие интенсивность минерализации органических веществ, в состав которых входят важнейшие питательные элементы: азот, фосфор, сера и некоторые другие.

В таблице 2 приведена гидролазная ферментативная активность чернозема выщелоченного в зависимости от внесения цеолита.

Как показывают данные таблицы, при внесении в почву породы в чистом виде наблюдалось сохранение ферментных систем на уровне контроля. Их небольшая активизация относительно контрольных значе-

Таблица 2 – Гидролазная ферментативная активность чернозема выщелоченного в зависимости от внесения в почву цеолита

Вариант	Протеазная активность, мг глицина / 1 г почвы / 24 ч	Целлюлазная активность, мкг глюкозы / 10 г почвы / 48 ч	Фосфатазная активность, мг P_2O_5 / 1 г почвы / 30 мин
Контроль	8,66	6,45	2,61
Цеолит, 500 кг/га	8,89	6,48	2,66
Цеолит, 500 кг/га + N60	9,21	7,11	2,96

Таблица 3 – Оксидоредуктазная ферментативная активность чернозема выщелоченного в зависимости от применения в системе удобрения кукурузы цеолита

Вариант	Полифенолоксидазная активность, мл 0,01 Н р-ра J_2 / 1 г почвы / 2 мин	Пероксидазная активность, мл 0,01 Н р-ра J_2 / 1 г почвы / 2 мин	Каталазная активность, см ³ O_2 / 1 г почвы / 2 мин
Контроль	8,20	3,95	13,09
Цеолит, 500 кг/га	8,31	3,79	14,88
Цеолит, 500 кг/га + N60	8,49	3,89	14,16

ний отмечалась только в вариантах совместного использования цеолита с азотным удобрением – на 6 % по протеазной, на 10 % по целлюлазной и на 13 % по фосфатазной активности.

Аналогичная тенденция прослеживалась в отношении полифенолоксидазной активности (таблица 3), где только при совместном внесении цеолита и азотного удобрения отмечалось увеличение показателя (на 4 %). Активность пероксидаз почвы была несколько ингибирована от внесения цеолита, а каталазы – повышалась, но в большей степени от использования его в чистом виде (увеличение показателя на 14 % против 8 % на варианте с азотом).

В микробиологической части синтеза гумусовых веществ активное участие принимают микробные редокс-ферменты полифенолоксидазы, а в процессах минерализации гумуса – пероксидазы. Как правило, с увеличением содержания гумуса активность полифенолоксидазы постепенно повышается, а активность пероксидазы – резко снижается [8]. Комплексная оценка активности обоих ферментов дает представление о биохимическом состоянии гумуса, поскольку позволяет соотнести интенсивность

образования гумусовых компонентов почвы и их деструкции. На последнем основано определение биохимического коэффициента накопления гумуса по Муромцеву, который представляет численное отношение полифенолоксидазной активности почвы к пероксидазной. Считается, что с повышением коэффициента Муромцева усиливается интенсивность переработки органического вещества и повышается синтез гуминовых и фульвокислот почвы. Судя по нашим данным, приведенным в таблице 3, коэффициент накопления гумуса по Муромцеву на контроле составляет 2,07, что свидетельствует о преобладании в черноземах процессов синтеза гумусовых веществ над их минерализацией. Следовательно, внесение в почву цеолита как в чистом виде, так и совместно с азотным удобрением способствует сохранению и накоплению гумуса в почве: коэффициент Муромцева повышается до 2,19 и 2,18 (6 %).

Активизация деятельности микроорганизмов неизбежно сопровождалась улучшением питательного режима почвы и повышением урожайности зерна культуры.

Урожайность зерна кукурузы. Урожайность и качество продукции являются интегральным показателем эффективности всех агротехнических приемов, применяемых в технологии их возделывания. Что касается системы удобрения, она должна обеспечивать сбалансированный всеми элементами режим питания растений в любых почвенно-климатических условиях. Это касается не только основных макроэлементов как азот, фосфор и калий, но и кремния, а так же микроэлементов. Урожайность зерна кукурузы приведена в таблице 4.

Результаты исследований показали, что по данным как 2016, так и 2017 гг. нет достоверной разницы между вариантами, где внесены полные минеральные удобрения (N60P60K60) и цеолит в дозе 500 кг/га совместно с N60. Последнее свидетельствует, что при возделывании кукурузы на черноземах выщелоченных при условии использования в качестве удобрения цеолита совместно с азотом в дозе 60 кг д. в./га нет необходимости вносить фосфорно-калийные удобрения, тем более с высокой обеспеченностью данными элементами самой почвы. Более того, имеется четко выраженная тенденция формирования более высокой урожайности зерна кукурузы при совмещении использования цеолита 500 кг с азотом.

Наиболее высокая урожайность зерна кукурузы может быть сформирована при совместном применении цеолита в дозе 2000 кг/га и минеральных удобрений в дозах N60P60K60 (в наших опытах в среднем за 2 года 8,75 т/га). Однако данный вариант экономически значительно

Таблица 4 – Урожайность зерна кукурузы, т/га

№ п/п	Вариант	2016 г. т/га	2017 г. т/га	Сред- няя	Отклонение от контроля / от NPK	
					т/га	%
1.	Контроль	6,21	5,59	5,90	-	-
2.	Цеолит 500 кг/га	7,36	6,51	6,94	1,04	18
3.	Цеолит 2000 кг/га	7,88	6,73	7,31	1,41	24
4.	N60P60K60	8,36	7,27	7,82	1,92	33
5.	N60P60K60 + цеолит 500 кг/га	8,99	7,89	8,44	2,5\0,62	43\8
6.	N60P60K60 + цеолит 2000 кг/га	9,35	8,14	8,75	2,85\0,93	48\12
7.	N60 + цеолит 500 кг/га	8,64	7,42	8,03	2,13\0,21	36\3
8.	N60 + цеолит 2000 кг/га	9,07	7,42	8,40	2,50\0,58	42\7
	HCP ₀₅	0,42	0,27			

менее оправдан. С экономической точки зрения наиболее эффективно применение цеолита в дозе 500 кг/га на фоне N60. Следует отметить, что применение цеолита в чистом виде также дает возможность получать дополнительно с каждого гектара от 1,04 (доза 500 кг/га) до 1,41 т/га (доза 2000 кг/га) зерна.

Заключение.

1. При внесении цеолита в почву как в чистом виде, так и совместно с мочевиной в дозе 60 кг азота в действующем веществе отмечалась значительная активизация деятельности микроорганизмов: на 5 – 14 % аммонификаторов, до 4 % - целлюлолитических, на 7 % diaзотрофов и на 10 – 11 % - литотрофных фосфатредуцентов. Изменение численности эколого-физиологических групп микроорганизмов в почве сопровождалось соответствующей вариабельностью ферментных систем.

2. Коэффициент накопления гумуса по Муромцеву (отношение полифенолоксидазной активности к пероксидазной) при внесении в почву цеолита повышался с 2,07 до 2,19, что свидетельствует о преобладании при этом процессов гумификации над минерализацией органического вещества.

3. Наиболее высокая урожайность зерна кукурузы формировалась при совместном использовании цеолита с минеральными удобрениями. При этом вариант с применением цеолита в дозе 500 кг/га совместно с азотом 60 кг д. в./га по эффективности не уступал варианту с

внесением полной дозы минеральных удобрений. Наиболее высокую урожайность обеспечило применение цеолита 2000 кг/га и N60P60K60, которая составила в среднем за 2 года 8,75 т/га.

Библиографический список

1. Воронков, М.Г. Кремний и жизнь / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Л. Лукевич / – Рига: Зинатне – 1978. – 587 с.
2. Матыченков В. В., Бочарникова Е. А., Аммосова Я. М. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // *Агрохимия*, 2002. № 2. С. 86 – 93.
3. Ma J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses // *Soil Sci. Plant Nutr.* 2004. V. 50. P. 11 – 18.
4. Самсонова, Н. Е. Кремний в почвах и растениях / Н. Е. Самсонова // *Агрохимия*. – 2005. – № 6. – С. 76 – 86.
5. Heather A. Currie, Carole C. Perry. Silica in plants: Biological, biochemical and chemical studies // *Ann. Bot.* 2007. December. 100 (7). P. 1383 – 1389.
6. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants // *Ann. Appl. Biol.* 2009. (155). P. 155 – 160.
7. Матыченков, В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение; автореферат, дисс. докт. биол. наук / Матыченков Владимир Викторович. – М.: Пушкино – 2008. – 34 с.
8. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Нижний Новгород. – 2012. – 64 с.

**THE EFFECT OF ZEOLITE ON BIOLOGICAL
PROPERTIES OF SOIL AND MAIZE YIELD IN THE
CONDITIONS OF FOREST-STEPPE OF THE AVERAGE
VOLGA REGION**

Kulikova A. Kh., Kozlov A.V., Garipova L. Ya.

Key words: *corn, zeolite, soil biological properties, yield.*

The work is devoted to the study of the influence of zeolite on the biological properties of leached Chernozem (the number of ecological and physiological groups of microorganisms, enzymatic activity) and the formation of the yield of corn. It was found that the most effective combined use of zeolite at a dose of 500 kg / ha and urea (N60), which significantly increased the biological activity of leached Chernozem and the yield of corn at 2.13 t / ha.