doi 10.18286/1816-4501-2024-3-89-95

УДК 633.15:631.8

Влияние цеолита и удобрений на его основе на свойства чернозема выщелоченного и урожайность кукурузы

А. Х. Куликова✉**,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

В. А. Исайчев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

Е. А. Яшин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

М. С. Черкасов, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉agroec@yandex.ru

Резюме. В работе приведены результаты изучения влияния цеолита и удобрений на его основе, полученных обогащением аминокислотами и карбамидом, на основные свойства чернозема выщелоченного: агро- и водно-физические, биологические, агрохимические и урожайность зерна кукурузы. Полевые опыты проведены в Ульяновской области по следующей схеме: 1.Контроль (без удобрений); 2. Цеолит 250 кг/га; 3. Цеолит 500 кг/га; 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га; 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га; 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом 500 кг/га. Цеолит и удобрения на его основе оказали положительное влияние на свойства чернозема выщелоченного: показатели агрофизического состояния приобрели оптимальные значения для данной культуры (плотность пахотного слоя 1,12…1,14 г/см^2): доступные влагозапасы в начале вегетации увеличились на 4…12 мм в пахотном и на 4…16 мм в метровом слоях почвы; деятельность почвенных микроорганизмов усилилась на 0,8…8,0 % в абсолютном и на 6…64 % – в относительном значении. Содержание доступных растениям в пахотном слое повысилось: ($N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_4$) на 0,1…0,9 мг/кг, P_2O_5 на 3…10 мг/кг, K_2O – на 7…14 мг/кг почвы. Прибавка урожайности зерна кукурузы составила 0,18 т/га (доза 250 кг/га) и 0,78 т/га (доза 500 кг/га) при применении цеолита в чистом виде и до 1,0 – цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом. Экономически более эффективно применение в технологии возделывания кукурузы цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га.

Ключевые слова: Цеолит и удобрения на его основе; агрофизические, биологические и агрохимические свойства почвы; урожайность зерна кукурузы; экономическая эффективность.

Для цитирования: Влияние цеолита и удобрений на его основе на свойства чернозема выщелоченного и урожайность кукурузы / А. Х. Куликова, В. А. Исайчев, Е. А. Яшин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3 (67). С. 89-95. doi 10.18286/1816-4501-2024-3-89-95

The influence of zeolite and fertilizers based on it on the properties of leached black soil and corn yield

A. Kh., Kulikova V. A. Isaichev, E. A. Yashin, M. S. Cherkasov

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432017 Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉agroec@yandex.ru

Abstract. The paper presents results of the study on the effect of zeolite and fertilizers based on it, enriched with amino acids and urea, on the main properties of leached black soil: agro- and water-physical, biological, agrochemical and grain yield of corn. Field experiments were conducted in Ulyanovsk region according to the following scheme: Control (without fertilizers); 2. Zeolite 250 kg/ha; 3. Zeolite 500 kg/ha; 4. Zeolite enriched with amino acids, 250 kg/ha; 5. Zeolite enriched with amino acids, 500 kg/ha; 6. Zeolite enriched with urea, 250 kg/ha; 7. Zeolite enriched with urea 500 – kg/ha. Zeolite and fertilizers based on it had a positive effect on the properties of leached black soil: the agrophysical condition parameters acquired appropriate values for this crop (arable layer density 1.12…1.14 g/cm^2): available moisture reserves at the beginning of the growing season increased by 4…12 mm in the arable and by 4…16 mm in the meter-thick soil layers; the activity of soil microorganisms increased by 0.8…8.0% in absolute and by 6…64% in relative terms. The content of substances available to plants in the arable layer increased: ($N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_4$) by 0.1…0.9 mg/kg, $P2O_5$ by 3…10 mg/kg, K_2O – by 7…14 mg/kg of soil. The increase in corn grain yield was 0.18 t/ha (dose of 250 kg/ha) and 0.78 t/ha (dose of 500 kg/ha) when using zeolite in its pure form and up to 1.0 when using zeolite enriched with amino acids and urea. It

is more economically efficient to use zeolite enriched with amino acids at a dose of 250 kg/ha in the technology of corn cultivation.

Keywords: Zeolite and fertilizers based on it; agrophysical, biological and agrochemical properties of soil, corn grain yield, economic efficiency.

For citation: The influence of zeolite and fertilizers based on it on the properties of leached black soil and corn yield / A. Kh. Kulikova, V. A. Isaichev, E. A. Yashin, M. et al. // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;3(67): 89-95 doi:10.18286/1816-4501-2024-3-89-95

Введение

Кукуруза (*Zea mays L.*, 2n = 20) – одна из ценнейших культур в мировом земледелии и входит в ТОП-5 по энергетическим запасам наряду с пшеницей, рисом, ячменем и картофелем [1].

Благодаря эффективной схеме фотосинтеза C_4 (фотосинтетический цикл Хетча-Слэка) кукуруза характеризуется очень высокой потенциальной продуктивностью (более 10 т/га). Соответственно, она предъявляет большие требования к почвенным условиям произрастания (агрофизическим, биологическим, агрохимическим). Так, кукуруза требовательна к строению пахотного слоя почвы, оптимальная плотность для неё составляет 1,07…1,16 г/см^3 [2]. Очень важное значение имеет питательный режим почвы: при урожайности 10 т/га зерна кукуруза в среднем выносит более 250 кг/га азота, 100 кг фосфора, и 360 кг калия. При этом она способна усваивать питательные вещества вплоть до созревания зерна. Следовательно, необходимо обеспечить элементами питания растения в течение всей вегетации культуры.

В отношении необходимости создания оптимальных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур, как следует из литературных источников, большое значение приобретает использование в технологиях их возделывания широко распространенных в природе высококремнистых пород (диатомитов, цеолитов, трепелов, различных глин) [3, 4, 5]. Эффективность их существенно повышается при использовании совместно как с органическими, так и минеральными удобрениями [6, 7, 8]. С точки зрения создания высокоэффективных удобрений на их основе интерес представляют цеолиты. Кристаллическая структура цеолитов состоит из четырех-, пяти-, шестизначных и более сложных колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами (SiO_4). В результате во внутрикристаллическом пространстве образуется система полостей и каналов, соединенных между собой и окружающей средой, внутри которых находятся обменные катионы Ca, Mg, K, Na, Ba, Sr, Li, «цеолитная вода». Такая внутрикристаллическая микроструктура дает возможность внедрить в них те или иные компоненты, необходимые растениям, и создавать на их основе эффективные, экологические безопасные удобрения нового поколения [9, 10].

Целью исследований − изучение влияния цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области и удобрений на его основе, полученными обогащением его аминокислотным комплексом животного происхождения и карбамидом, на свойства чернозема выщелоченного и урожайность кукурузы.

Материалы и методы

Полевые опыты проводили в ООО «Родник» Мелекесского района Ульяновской области. Объектом исследования служила кукуруза на зерно, гибрид MAS 10, характеризующийся высокой продуктивностью, устойчивостью к полеганию и ломкости стебля, поражению болезнями и вредителями.

Экспериментальные удобрения:

- цеолит Майнского месторождения Ульяновской области с содержанием оксида кремния 56,10 % (в том числе аморфного 26,71 %), кальция и магния 15,21 %, калия 1,25 %, фосфора 0,23 %, серы 0,5 %;

- цеолит, обогащенный комплексом из 16 аминокислот (аспарагиновая и глутаминовые кислоты, серин, гистидин, глицин, треонин, аргинин, тирозин, цистин, валин, метионин, фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин, пролин);

- цеолит, обогащенный карбамидом (содержание N 46 %);

- минеральные – нитрофоска ($N_{17}P_{17}K_{17}$).

Все удобрения вносили под предпосевную культивацию. Полевой опыт включал 7 вариантов: 1. Контроль (К) (естественный фон, без удобрений), 2. Цеолит (Ц) 250 кг/га, 3. Цеолит (Ц) 500 кг/га, 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами (ЦА), 250 кг/га, 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами (ЦА), 500 кг/га, 6. Цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 250 кг/га, 7. Цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 500 кг/га. Опыт проводили 4-х кратным повторением и рендомизированным расположением делянок, учетная площадь которых составляла 180 м^2 (10*18) (посевная 294 м^2 (14*21)).

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднесуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 3,5 %, доступных фосфора и калия (по Чирикову) соответственно 127 и 182 мг/кг почвы, реакцией почвенного раствора 5,1 единиц pH_{KCl}.

Учеты и наблюдения, химические анализы почвенных и растительных образцов осуществляли по соответствующим ГОСТам и методикам в испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА» и аккредитованной лаборатории ФГБУ «САС «Ульяновская» (KA.BU.510251).

Результаты

При внесении в почву цеолита и удобрений на его основе произошло значительное улучшение строения пахотного слоя чернозема выщелоченного пропорционально дозе внесения породы. При этом количество агрономически ценных агрегатов

увеличивалось на 10…12 %, плотность пахотного слоя приобрела оптимальное для культуры значения (1,12…1,14 г/см^3) (рис. 1).

Среднее Поволжье относится к зоне рискованного земледелия, и все агротехнические приемы при возделывании сельскохозяйственных культур должны быть направлены на накопление, сохранение и рациональное использование почвенной влаги. Благодаря уникальной кристаллической структуре, высококремнистые породы способны удерживать в почвах и постепенно расходовать влагу (в том числе и питательного вещества) в течение вегетации культуры [11]. Так, водоудерживающая способность цеолита достигает 96 %. При внесении в почву цеолита и удобрений на его основе запасы продуктивной влаги в пахотном слое чернозема выщелоченного (30 см) повысились на 2…12 мм и метровом – на 4…16 мм уже в начале вегетации кукурузы (табл. 1). Преимущество вариантов с внесением экспериментальных удобрений сохранялось до конца вегетации культуры.

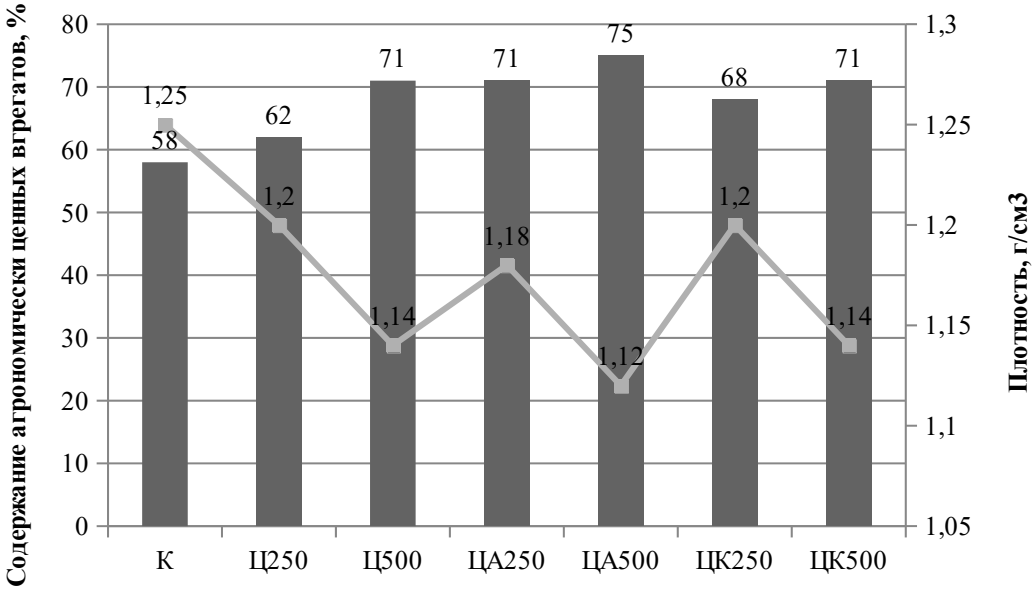

Рис. 1. Показатели физического состояния почвы под посевами кукурузы в зависимости от внесения экспериментальных удобрений

Таблица 1. Запасы продуктивной влаги в черноземе выщелоченном под посевами кукурузы при внесении экспериментальных удобрений, мм

Вариант	Посев				Уборка			
	слой почвы, см							
	0-30		0-100		0-30		0-100	
	запасы	отклонение	запасы	отклонение	запасы	отклонение	запасы	отклонение
К	37	-	149	-	30	-	111	-
Ц, 250кг/га	41	+4	159	+10	34	+4	118	+7
Ц, 500кг/га	49	+12	162	+13	38	+8	123	+12
ЦА, 250кг/га	43	+6	157	+8	38	+8	121	+10
ЦА, 500кг/га	45	+8	165	+16	38	+8	126	+15
ЦК, 250кг/га	40	+3	154	+5	35	+5	119	+8
ЦК, 500кг/га	39	+2	153	+4	36	+6	120	+9
$НСР_{05}$	3		7		4		6	

Улучшение физического состояния и водного режима почвы способствовало активизации деятельности почвенных микроорганизмов (рис. 2). Внесение в почву цеолита и экспериментальных удобрений сопровождалось заметным усилением деятельности почвенной биоты: на 0,8…8,0 % в абсолютном значении или на 6…64 относительных процента.

Главная роль почвенных микроорганизмов заключается в способности их переводить элементы питания из труднодоступных форм в доступные [12]. И закономерно, что активизация микробиоты способствовала улучшению питательного режима почвы (табл. 2).

Оптимизация почвенной среды произрастания растений за счёт внесения в почву цеолита и удобрений на его основе способствовало очень значительному повышению урожайности кукурузы (табл. 3).

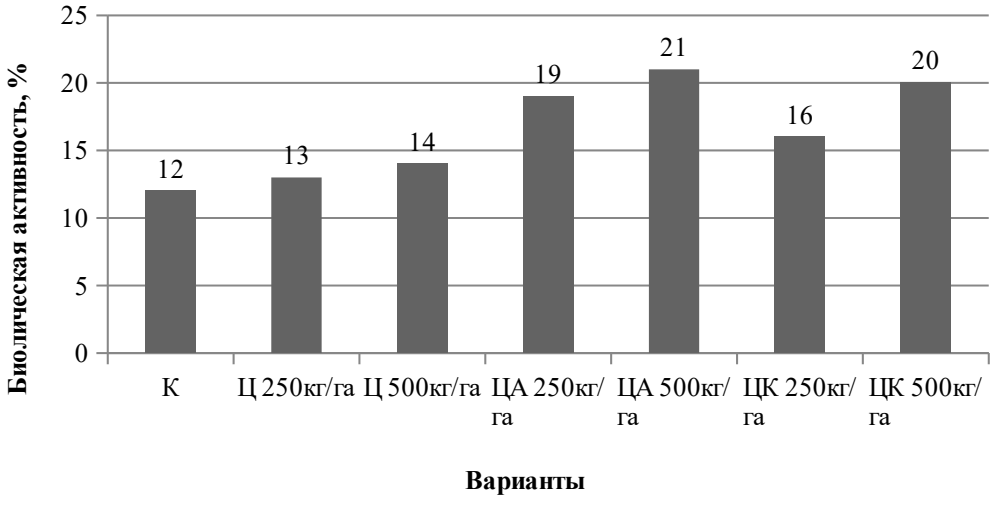

Рис. 2. Биологическая активность почвы пахотного слоя почвы под посевами кукурузы в зависимости от применения цеолита и удобрений на его основе

Таблица 2. Содержание доступных азота, фосфора, калия в пахотном слое чернозема выщелоченного в зависимости от внесения в почву экспериментальных удобрений (2020–2022 гг.), мг/кг

Вариант	$N\text{-}NO_3+N\text{-}NH_4$		P_2O_5		K_2O	
	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
К	7,8	-	138	-	146	-
Ц, 250кг/га	7,7	+0,1	143	+5	153	+7
Ц, 500кг/га	8,1	+0,3	148	+10	155	+9
ЦА, 250кг/га	8,3	+0,5	144	+6	157	+11
ЦА, 500кг/га	8,7	+0,9	146	+8	161	+15
ЦК, 250кг/га	8,2	+0,4	141	+3	155	+9
ЦК, 500кг/га	8,5	+0,7	142	+4	160	+14
$НСР_{05}$	0,19		4		5	

Таблица 3. Влияние удобрений на урожайность зерна кукурузы

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля, +/–	
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	средняя	т/га	%
К	5,42	4,58	5,53	5,18	-	-
Ц, 250кг/га	5,57	4,87	5,64	5,36	+0,18	4
Ц, 500кг/га	6,22	5,52	6,15	5,96	+0,78	15
ЦА, 250кг/га	6,29	5,89	6,35	6,18	+1,00	19
ЦА, 500кг/га	6,48	5,45	6,50	6,14	+0,96	19
ЦК, 250кг/га	6,31	5,29	6,22	5,94	+0,76	15
ЦК, 500кг/га	6,51	5,50	6,45	6,15	+0,97	19
$НСР_{05}$	0,32	0,33	0,29			

Таблица 4. Экономическая эффективность производства зерна кукурузы с применением цеолита и удобрений на его основе (2020–2022 гг.)

Вариант	Показатели				
	Урожайность, т/га	Стоимость продукции, руб.	Производственные затраты, руб.	Себестоимость, руб/т	Условный чистый доход, руб/га
К	5,18	77700	33981	6560	43719
Ц, 250кг/га	5,36	80400	37153	6931	43247
Ц, 500кг/га	5,96	89400	41619	6983	47781
ЦА, 250кг/га	6,18	92700	40180	6502	52520
ЦА, 500кг/га	6,14	92100	43173	7031	48927
ЦК, 250кг/га	5,93	88950	39410	6646	49540
ЦК, 500кг/га	6,15	92250	43204	7025	49046

В среднем за 3 года урожайность зерна кукурузы только от внесения цеолита в чистом виде в зависимости от дозы породы повышалась на 0,18 и 0,78 т/га. При применении цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, прибавка урожайности культуры достигла 1,0 т/га.

Для прогнозирования устойчивого развития той или иной отрасли народного хозяйства крайне важна оценка экономической эффективности производства продукции. Результаты расчетов экономической эффективности производства зерна кукурузы приведены в таблице 4.

Применение в технологии возделывания кукурузы на зерно цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, экономически целесообразно. Наиболее эффективно использование в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га, где условно чистый доход с одного гектара составил 52520 рублей, что выше контроля на 8801 рубль.

Обсуждение

Физическое состояние почвы – важнейший показатель благополучия почвенной среды для произрастания возделываемых культур, которое определяет её воздушный, водный, водно-физический и питательный режимы. Поэтому все агротехнические приемы, направленные на решение соответствующих задач, в том числе должны решать и проблему оптимизации физических показателей почвы. В этом отношении высококремнистые породы (в данном случае цеолит) способствуют значительному улучшению физического состояния почвы. Так, содержание агрономически ценных агрегатов (10…0,25 мм) в пахотном слое увеличилось с 56 % на контроле до 62…75 % -на вариантах с внесением цеолита и удобрений на его основе. Плотность почвы при этом уменьшилась с 1,25 до 1,12 г/см^3. Данные показатели оптимальны для такой требовательной к физическому состоянию почвы культуры, как кукуруза. Улучшение агрофизических показателей почвы обязано способности поликремниевых кислот склеивать почвенные частицы в агрегаты [13]. Аналогичные результаты получены рядом авторов [14, 15, 16].

Не менее важной проблемой в лесостепи Поволжья является проблема накопления, сохранения и рационального использования влаги. Результаты исследования показали, что применение высококремнистых пород является существенным фактором улучшения водного режима почвы. При внесении его в почву в течение всей вегетации культуры поддерживался более высокий уровень обеспеченности продуктивной влагой как в пахотном, так метровом слоях почвы (на 4…8 мм и 4…15 мм соответственно). Большему удержанию влаги и постепенному её расходованию способствуют как общее улучшение физического состояния почвы, так и уникальные особенности кристалло-структурного строения цеолита, а также свойства аморфного кремнезема, присутствующего в цеолите в количестве 26,71 %. По данным исследований В.В. Матыченкова и др. [17], один атом кремния может удерживать до 119 молекул воды. Аналогичные результаты приводил в свое время Р. К. Айлер [18].

Значительное улучшение физических и водно-физических свойств почвы при внесении в неё цеолита и удобрений на его основе создает оптимальные условия для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, способствует поддержанию эффективного плодородия почвы.

При использовании высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур следует иметь в виду отсутствие в них азота, содержание минеральных форм которого часто лимитирует высоту урожая. Тем не менее, при внесении цеолита в почву в чистом виде отмечается повышение в пахотном слое нитратного и аммонийного азота. Последнее обусловлено усилением деятельности при этом почвенных микроорганизмов, в том числе процессов аммонификации и нитрификации [19].

Многочисленные исследования свидетельствуют об улучшении фосфатного режима почвы при внесении в неё кремнийсодержащих соединений и материалов [20, 21, 22]. При этом доказано, что основой влияния кремнийсодержащих соединений на содержание доступного фосфора является реакция замещения фосфат-аниона в труднорастворимых соединениях на силикат-анион. Результаты наших исследований подтвердили литературные сведения: содержание подвижного P_2O_5 в пахотном слое при внесении цеолита и удобрений на его основе увеличивалось на 3…10 мг/кг почвы.

При применении в технологии возделывания кукурузы цеолита и цеолитсодержащих удобрений происходило также существенное улучшение калийного режима почвы. Как отмечали выше, кремнийсодержащие породы при внесении в почву способствуют усилению деятельности микроорганизмов. Последнее сопровождается высвобождением из минералов почвы калия и других элементов питания (в том числе кремния). Данные опытов показывают, что под посевами кукурузы в течение всей вегетации содержание подвижного калия превышало контрольный вариант на 7…15 мг/кг почвы.

Результаты исследований свидетельствуют о высокой отзывчивости кукурузы на применение в качестве удобрения высококремнистых пород. Урожайность зерна при внесении в почву цеолита в чистом виде в дозе 500 кг/га увеличивалась на 0,78 т/га, удобрений на его основе – до 1 т/га. Формирование значительно более высокой урожайности культуры обусловлено существенным улучшением при этом почвенной среды развития растений. Применение цеолита и удобрений на его основе экономически эффективно.

Заключение

Цеолит и удобрения на его основе оказали положительное влияние на физическое состояние чернозема выщелоченного: количество агрономически ценных агрегатов увеличивалось на 10…12 %, плотность пахотного слоя приобрела значения, оптимальные для кукурузы (1,12…1,14 г/см^3). При внесении в почву цеолита, а также удобрений на его основе, повышалась водоудерживающаяся

способность почвы: запасы продуктивной влаги в почве экспериментальных вариантов были выше на 4…12 мм в пахотном и 4…16 мм метровом слоях в начале, на 4…8 мм и 7…15 мм в конце вегетации культуры.

Цеолит и удобрения на его основе способствовали существенному усилению деятельности почвенных микроорганизмов: на 0,8…8,0 % в абсолютном значении и на 6…64 % – относительном выражении. Улучшение агро- и воднофизических, а также биологических свойств почвы обусловило значительное улучшение питательного режима почвы: содержание доступных растениям азота ($N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_4$) повысилось на 0,1…0,9 мг/кг, фосфора (P_2O_5)-на 3…10 мг/кг, калия (K_2O) – на 7…14 мг/кг почвы. Оптимизация почвенной среды произрастания растений за счет внесения в почву цеолита в чистом виде обеспечило повышение урожайности зерна кукурузы на 0,18 т/га (доза 250 кг/га) и на 0,78 т/га (доза 500 кг/га). При применении цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, в технологии возделывания кукурузы прибавка урожайности достигла 1,0 т/га.

Экономически наиболее эффективно применение в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га.

Литература

1. ФАО. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН: база данных. URL: http://www.fao.org/statistics/databases/ru/ (дата обращения: 20.06.2024)

2. Агроэкологическая оценка физических и биологических свойств почв Среднего Поволжья / А. Х. Куликова, Н. Г. Захаров, А. В. Карпов и др. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2017. 244 с. ISBN 978-5-9500951-5-3.

3. Лобода Б. П., Яковлева Н. Н. Диатомиты и трепелы как почвоулучшители и источники биогенных элементов // Плодородие. 2003. №5. С. 11-14.

4. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика примения / Е. А. Бочариникова, В. В. Матыченков, И. В. Матыченков // Агрохимия. 2011. №7. С. 84-96.

5. Artyzak A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a literature review in Europe // Plants. 2018. Vol. 7(54). P. 1–17.

6. Рябов А. Е., Чекаев Н. П. Пищевой режим чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур при использовании диатомита и удобрений // Нива Поволжья. 2018. № 1(46). С. 67-74.

7. Кузин Е. Н. Изменение агрофизических свойств чернозема выщелоченного в условиях лесостепного Поволжья при использовании диатомита и его сочетаний с навозом // Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием, Ульяновск. 2021. С. 53-57.

8. Влияние диатомита и птичьего помета на физико-химические свойства серой лесной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур / К. Ю. Ковальский, А. Н. Арефьев, Е. Н. Кузин и др. // Нива Поволжья. 2022. № 1(61). С. 01005. doi: 10.36461/NP.2022.61.1.012.

9. Удобрение органоминеральное «Naturagro Ycocrystal» на основе дегидратированного цеолита и жидкого концентрата сапропеля / Д.Н. Угаслов, Е.В. Панкратова, Р.А. Шипов // Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием, Ульяновск. 2021. С. 121-127.

10. Новое органоминеральное удобрение на основе цеолита, его производство, эффективность / А.И. Уханов., Д.В. Шикунов, Е.В. Панкратова, и др. // Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием, Ульяновск. 2021. С. 128-137.

11. Дистанов У. Г. Перспективы нетрадиционного минерального сырья // Химизация сельского хозяйства. 1989. № 12. С.37–41.

12. Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 428 с.

13. Norton L. D. Mineralogy of high calcium sulfur-containing coal combustion by-products and their effect on soil surface sealing // Agriculture Utilization of Urban and Industrial By-products. 1995. P. 87–106.

14. Изменение агрофизических свойств чернозема выщелоченного в зависимости от применения местных кремнийсодержащих пород и удобрений / Н. П. Чекаев, А. Е. Рябов, Т. А. Власова и др. // Нива Поволжья. 2019. № 4(53). С. 93-101. doi:10.36461/NP.2019.52.3.014.

15. / Куликова А. Х. Кремний и кремнийсодержащие породы в системе удобрения\ сельскохозяйственных культур. Ульяновск. 2013. 171 с.

16. Cornelis J.-T. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review // Biogeosciences. 2011. Vol. 8 (1). P. 89-112.

17. Кремниевые удобрения как фактор повышения засухоустойчивости растений / В. В. Матыченков, А. А. Кособрюхов, Н. И. Шабнова и др. // Агрохимия. 2007. № 5. С. 63-67.

18. Химия кремнезема: в 2 ч. / Р. К. Айлер. М.: Мир. 1982. В 2-х т. Ч.1, Ч.2. 1128 с.

19. Влияние кремнезема на агрохимические свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур / В. А. Рочев, Р. В. Швейкина, Г. А. Барсукова и др. // Питание растений и программирование сельскохозяйственных культур. Труды Свердловского СХИ. Т. 60. Пермь. 1980. С. 61-68.

20. Влияние диатомита на подвижность и доступность растениям фосфора / Е.А. Бочарникова // В сборнике: Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве. Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием. Ульяновск, 2021. С. 20-25.

21. Kostic L. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low acid soil conditions // Plant Soil. 2017. Vol. 419 (1). P. 447–455.

22. Soratto R. P. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants // Journal of Plant Nutrition. 2019. Vol. 42(3). P. 218–233.

References

1. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations: database [Electronic resource]. - Access mode http://www.fao.org/statistics/databases/ru/.

2. Agroecological assessment of physical and biological properties of soils of the Middle Volga region / A. Kh. Kulikova, N. G. Zakharov, A. V. Karpov, et al. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypina, 2017. 244 p. ISBN 978-5-9500951-5-3.

3. Loboda B. P., Yakovleva N. N. Diatomites and tripoli as soil improvers and sources of biogenic elements // Soil fertility. 2003. No. 5. P. 11-14.

4. Bocharinikova E. A., Matychenkov V. V., Matychenkov I. V. Silicon fertilizers and ameliorants: history of study, theory and practice of application // Agrochemistry. 2011. No. 7. P. 84-96.

5. Artyzak, A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a Bibliography: review in Europe // Plants. 2018. Vol. 7. No. 54. P. 1–17.

6. Ryabov A. E., Chekaev N. P. Food regime of leached black soil and crop yields using diatomite and fertilizers // Niva Povolzhya. 2018. No. 1 (46). P. 67-74.

7. Kuzin E. N. Changes in the agrophysical properties of leached black soil in the forest-steppe Volga region using diatomite and its combinations with manure // Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation. Ulyanovsk. 2021. P. 53-57.

8. The influence of diatomite and bird manure on physic al and chemical properties of gray forest soil and the productivity of agricultural crops / K. Yu. Kovalsky, A. N. Arefiev, E. N. Kuzin et al. // Niva Povolzhya. 2022. No. 1(61). P. 01005. doi:10.36461/NP.2022.61.1.012.

9. Ugaslov D. N., Pankratova E. V., Shipov R. A. Organomineral fertilizer "Naturagro Ecocrystal" based on dehydrated zeolite and liquid sapropel concentrate // Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation, Ulyanovsk. 2021. P. 121-127.

10. New organomineral fertilizer based on zeolite, its production, efficiency / A. I. Ukhanov, D. V. Shikunov E. V. Pankratova, et al. // Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture: Proceedings of the National scientific and practical conference with international participation, Ulyanovsk. 2021. P. 128-137.

11. Distanov U. G. Prospects for non-traditional mineral raw materials // Chemicalization of agriculture. 1989. No. 12. P. 37–41.

12. Emtsev V. T., Mishustin E. N. Microbiology. Moscow: Yurait Publishing House, 2020. 428 p.

13. Norton L. D. Mineralogy of high calcium sulfur-containing coal combustion by-products and their effect on soil surface sealing // Agriculture Utilization of Urban and Industrial By-products. 1995. P. 87–106.

14. Changes in agrophysical properties of leached black soil depending on usage of local silicon-containing rocks and fertilizers / N. P. Chekaev, A. E. Ryabov, T. A. Vlasova, et al. // Niva Povolzhya. 2019. No. 4 (53). P. 93-101. doi: 10.36461 / NP.2019.52.3.014.

15. Kulikova A.Kh. Silicon and silicon-containing rocks in the fertilization system of agricultural crops. Ulyanovsk. 2013. 171 p.

16. Cornelis J.-T. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review // Biogeosciences. 2011. Vol. 8 (1). P. 89-112.

17. Silicon fertilizers as a factor in increasing drought resistance of plants / V. V. Matychenkov, A. A. Kosobryukhov, N. I. Shabnova et al. // Agrochemistry. 2007. No. 5. P. 63-67.

18. Eiler R. K. Chemistry of silica: in 2 parts. Moscow: Mir. 1982. In 2 Vol. Part 1, Part 2. 1128 p.

19. Effect of silica on agrochemical properties of soil and yield of agricultural crops / V. A. Rochev, R. V. Shveikina, G. A. Barsukova et al. // Plant nutrition and programming of agricultural crops. Proceedings of Sverdlovsk Agricultural Institute. Vol. 60. Perm. 1980. P. 61-68.

20. Bocharnikova E. A. Effect of diatomite on mobility and availability of phosphorus to plants // In the collection: Silicon and Life. Siliceous rocks in agriculture. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation. Ulyanovsk, 2021. P. 20-25.

21. Kostic L. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low acid soil conditions // Plant Soil. 2017. Vol. 419. No.1. P. 447–455.

22. Soratto R. P. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants // Journal of Plant Nutrition. 2019. Vol. 42. No. 3. P. 218–233.