

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ КРЕМНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

**А.И. Чугунова, «ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»,
ул. Прянишникова, д.31а, Москва, 127550, Россия
E-mail: anastasiya.semenova96@list.ru**

Рассматривается функциональная роль кремния в обеспечении продуктивности и устойчивости яровой пшеницы к неблагоприятным факторам окружающей среды. Анализируется взаимодействие кремния с другими элементами питания, что позволяет оптимизировать использование питательных веществ и повысить адаптационный потенциал растений. Обсуждаются особенности биогеохимического цикла кремния и факторы, влияющие на его доступность для растений. Исследуются возможности использования кремния как фактора повышения устойчивости растений к абиотическим стрессам.

Ключевые слова: кремний, яровая пшеница, стрессоустойчивость, питание растений, абиотические стрессы, кремниевые удобрения, адаптация растений.

Для цитирования: А.И. Чугунова Функциональная роль кремния в обеспечении стрессоустойчивости и продуктивности яровой пшеницы // Плодородие. – 2025. – №4. – С. 8-11. DOI: 10.25680/S19948603.2025.145.02.

Кремний играет важную роль в обеспечении устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды, хотя традиционно не считается обязательным компонентом питания. Его функциональная роль становится особенно значимой в современных системах возделывания зерновых культур, таких как яровая пшеница. Он способствует повышению урожайности за счет укрепления клеточных стенок, снижения полегания и защиты от патогенов [2, 3].

Большое внимание уделяют изучению комплексного взаимодействия кремния с другими питательными элементами, такими как азот и фосфор. Кремний оказывает защитное действие против различных патогенов, создавая эффективный барьер, препятствующий проникновению возбудителей болезней через клеточные стенки растений. Он активизирует защитные механизмы растений, стимулируя образование различных защитных веществ, таких как фитоалексины и фенольные соединения [1, 4, 13].

Данные исследований свидетельствуют, что наличие этого элемента в тканях растений существенно снижает вероятность развития грибных заболеваний, что особенно важно для регионов с повышенной влажностью. Кремний также снижает риск заражения бактериальными и вирусными патогенами, повышая общую устойчивость растений, способствует адаптации растений к различным абиотическим стрессам, таким как недостаток влаги, тепловой стресс и повышенная солёность почвы. Исследования подтверждают, что добавление этого элемента положительно влияет на водный режим растений, повышая их устойчивость к засухе. Также кремний снижает токсичность различных металлов в кислых почвах, что особенно важно для регионов с проблемными почвенными условиями. Это позволяет поддерживать высокую продуктивность даже в сложных экологических условиях, на почвах с высоким содержанием алюминия или марганца [7, 10, 14, 15].

Кремний способствует механической прочности растений за счёт укрепления клеточных стенок эпидермиса, снижая риск различных повреждений. Он также повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, таким как недостаток влаги,

колебания температуры. Этот элемент регулирует активность ключевых ферментов и участвует в синтезе антиоксидантов, защищающих растения при адаптации к стрессовым условиям [6, 9].

При адаптации растений к недостатку влаги наблюдаются различные изменения в морфологии листьев: уменьшение размера устьиц и снижение транспирации. Однако кремний способствует сохранению функциональной активности клеточных органелл, улучшению водного баланса и фотосинтеза, а также синтезу необходимых органических веществ. Это помогает растениям эффективнее адаптироваться к стрессовым условиям [11].

Комбинированное применение кремния с удобрениями дает синергетический эффект, значительно повышая урожайность и качество продукции. Азотные удобрения обеспечивают растения необходимым источником азота для синтеза белков и хлорофилла, в то время как кремний повышает устойчивость растений к стрессовым факторам, оптимизируя использование азота.

С фосфорными удобрениями также отмечен положительный эффект, особенно в условиях дефицита фосфора в почве. Кремний способствует переходу труднорастворимых фосфатов в доступные формы, что повышает их усвояемость растениями. Кроме того, он улучшает структуру почвы, повышая доступность фосфора для корней растений.

Кремний положительно влияет на питание растений, водный баланс, фотосинтез, синтез органических веществ и функциональную активность клеточных органелл. Он также участвует в улучшении транспортировки и перераспределения веществ внутри растения, усвоении и обмене различных элементов, повышении потребления бора и снижении концентрации нитратов и тяжёлых металлов в продукции [5, 8, 12].

Кремний представляет собой важный компонент, поддерживающий рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы. Его применение способствует укреплению структуры растений, повышению устойчивости к стрессам и увеличению урожайности [4].

Цель исследования — определить влияние кремния на повышение устойчивости яровой пшеницы к засухе в

зависимости от доз азотных удобрений и содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве.

Методика. Исследования проводили в 2021-2023 г. в вегетационном домике кафедры агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Объект исследований — сорт яровой пшеницы Тризо немецкой селекции. Сорт среднепоздний, среднерослый, включен в Госреестр по Северо-Западному, Центральному и Центрально-Черноземному регионам. Продолжительность вегетационного периода от 85 до 92 дней.

Почва для исследований взята с полевых опытов ЦОС ВНИИА. Опыт проводили на трех почвах: с низким (43 мг/кг), средним (69 мг/кг) и высоким (172 мг/кг) содержанием подвижного фосфора. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (в среднем за 3 года)

Показатель	Почва 1	Почва 2	Почва 3
pH _{KCl} , ед.	4,6	4,6	5,4
N _т , мг-экв/100 г	2,4	2,4	1,4
P ₂ O ₅ , мг/кг	43	69	172
K ₂ O, мг/кг	186	183	294
S, мг-экв/100 г	11,6	11,0	13,2
T, мг-экв/100 г	14,0	13,3	14,6
V, %	83	82	90
Гумус, %	1,4-1,8		
Si, мг/кг	41,12		

2. Схема вегетационного опыта (2021-2023 г.)

№ п/п	Вариант	Условия вегетации	Доза азота, г/сосуд	Объем раствора аммиачной селитры, см ³
1	0 – контроль	Естественные условия	0	0
2	N ₅₀		250	10
3	N ₁₅₀		750	30
4	N ₁₅₀ + Si		750	30
5	N ₂₅₀		1250	50
6	0 – контроль	Засуха	0	0
7	N ₁₅₀		750	30
8	0+Si – контроль		0	0
9	N ₁₅₀ + Si		750	30

Схема вегетационного опыта приведена в таблице 2, она была идентична для каждой почвы. В вариантах с кремнием семена обрабатывали при посеве силикатом натрия (Na₂SiO₃·9H₂O). На стадии 5-6-й фазы органогенеза сосуды, соответствующие вариантам с засушливыми условиями на всех трех почвах, были убраны под навес и лишены полива, а также попадания атмосферных осадков с целью определения эффективности применения кремниевых удобрений. Далее, через 14 дней, растения возвращали в исходные условия и их водный режим восстанавливался.

Результаты и их обсуждение. В опытах, проводимых с яровой пшеницей сорта Тризо, в вегетационных

сосудах на почвах, различающихся по содержанию подвижного фосфора при сравнении вариантов N₁₅₀ и N₁₅₀ + Si в естественных условиях и в условиях засухи применение кремния способствовало повышению урожайности на почве с низкой степенью обеспеченности подвижным фосфором, на остальных почвах урожайности в варианте N₁₅₀ + Si несколько снижалась по сравнению с вариантом N₁₅₀ (табл. 3). В основном отмечалось уменьшение урожайности в условиях засухи по сравнению с естественными условиями, из чего следует, что уровень депрессии в большинстве случаев был высоким.

3. Влияние кремния на уровень депрессии урожайности зерна яровой пшеницы сорта Тризо (среднее за 2021-2023 г.)

Почва	Контроль			N ₁₅₀			N ₁₅₀ + Si		
	1-я поч-ва	2-я поч-ва	3-я поч-ва	1-я поч-ва	2-я поч-ва	3-я поч-ва	1-я поч-ва	2-я поч-ва	3-я поч-ва
Контроль, естественные условия	2,3	2,3	2,9	13,2	15,8	16,2	13,3	14,6	15,5
Контроль, засуха	2,3	2,6	2,6	10,5	12,8	13,9	10,8	12,4	13,2
% депрессии от засухи (+/-)	0	-13,0	10,2	20,7	19,4	14,6	18,5	15,1	14,8

Вторая функция кремния заключалась в улучшении усвоения фосфора растениями.

На рисунке показаны существенные различия между вариантами с обработкой семян кремнием и без нее в среднем за 3 года. Кремний значительно изменил содержание подвижного фосфора в основной и побочной продукции. Особенно это заметно в вариантах, к которым применялся абиотический стресс. В основной и побочной продукции количество фосфора закономерно возрастало в зависимости от его содержания в почве.

Трехлетние данные показали, что применение кремния способствует увеличению урожайности зерна в контрольном варианте на почвах с низким и средним содержанием подвижного фосфора, а при внесении N₁₅₀ в сочетании с кремнием – на почве с низким его содержанием. Сбор соломы в контрольном варианте был выше на почве со средним содержанием подвижного фосфора, а в варианте N₁₅₀ – с низким (табл.4).

4. Влияние обработки семян силикатом натрия на урожайность зерна и сбор соломы яровой пшеницы сорта Тризо в условиях засухи (среднее за 2021-2023 г.)

Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	Почва	0 – контроль	N ₁₅₀	0 + Si – контроль	N ₁₅₀ + Si
Зерно					
43	1	2,3	10,5	2,8	10,8
69	2	2,6	12,8	3,0	12,4
172	3	2,6	13,8	2,4	13,2
Солома					
43	1	3,9	9,6	3,8	10,0
69	2	3,8	12,2	4,1	11,5
172	3	4,1	15,0	3,9	14,6

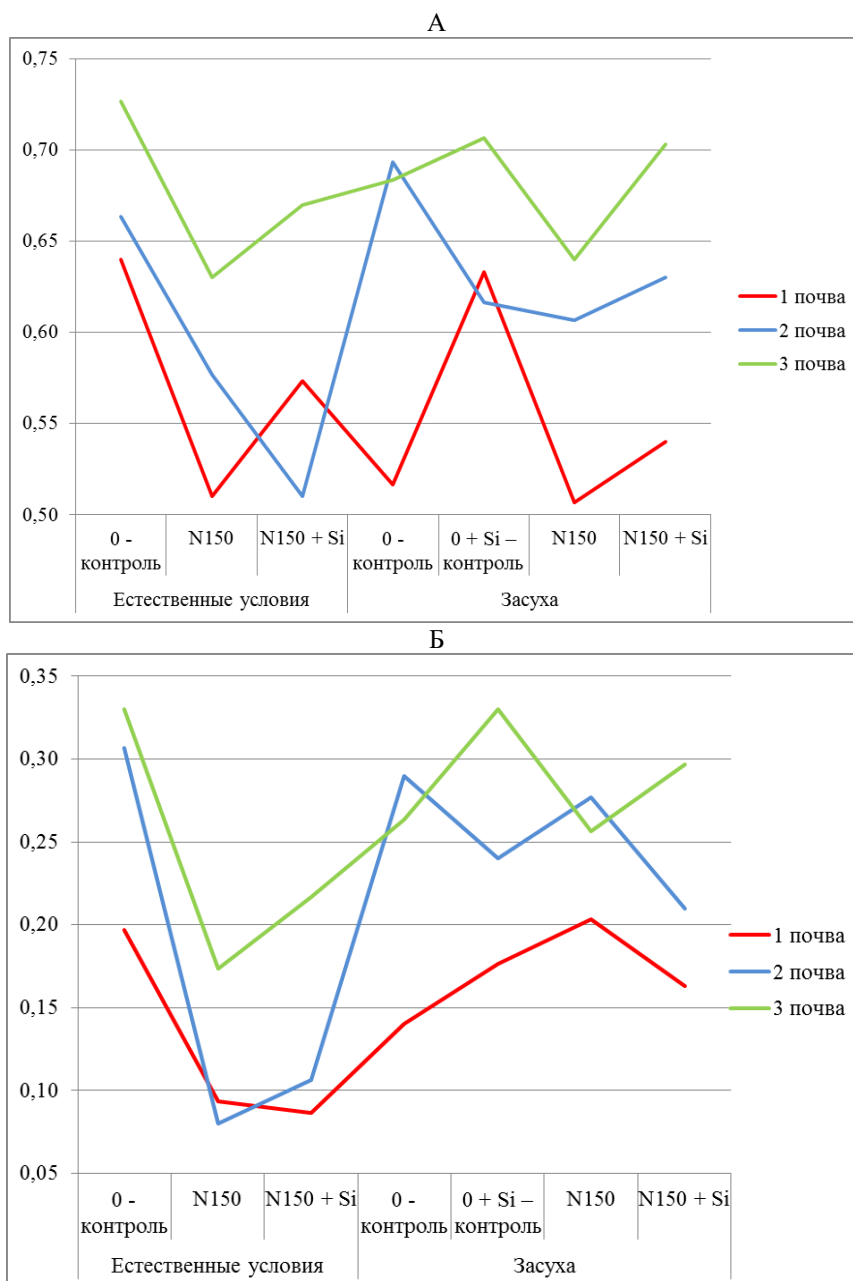


Рис. Влияние кремния на содержание фосфора в зерне (А) и в соломе (Б) (в среднем за 3 года)

Заключение. Кремний и его взаимодействие с другими компонентами питания оказали заметное влияние на устойчивость сельского хозяйства, особенно в современных условиях изменения климата и усиления антропогенного воздействия.

В вегетационном опыте на почве с низким содержанием подвижного фосфора кремний способствует увеличению количества фосфора в основной и побочной продукции как в естественных, так и в стрессовых условиях. На почве со средним содержанием подвижного фосфора внесение кремния влияло на повышение концентрации фосфора только в побочной продукции. На почве с высоким содержанием фосфора применение кремния увеличивало его количество в зерне и соломе при различных условиях вегетации.

Наиболее высокий эффект от внесения кремния получен на почвах с низким и средним содержанием подвижного фосфора.

Литература

1. Алешин Н.Е., Авакян Э.Р. К вопросу о кремниевом обмене риса // Бюл. НТИ ВНИИ риса. – Краснодар, 1978. Вып. 26. – С. 16–20.
2. Верниченко И.В., Осипова Л.В., Яковлев П.А., Быковская И.А., Литвинский В.А. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями меченого ^{15}N нитратного азота в стрессовых условиях выращивания // Агрохимия. – 2017. – №3. – С.10-19.
3. Верниченко И.В., Яковлев П.А. Изучение протекторного действия Se, Si и Zn на устойчивость зерновых культур к почвенной засухе // Агрохимический вестник. – 2014. – № 4. – С. 14-17.
4. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Л. Кремний и жизнь. – Рига: Зинатне, 1978. – 587 с.
5. Куликова А.Х. Влияние кремнистых пород на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Агрохимия. – 2023. – № 12. – С. 11-21.
6. Матыченков В.В., Аммосова Я.М., Бочарникова Е.А. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // Агрохимия. – 2002. – № 2. – С. 86-93.
7. Самсонова Н.Е. Кремний и плодородие почв // Место и роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности страны. В сб. материалов международной научной конференции, Смоленск, 09 декабря 2022 года. – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2022. – С. 295-300.

8. Самсонова Н.Е. Роль кремния в формировании устойчивости растений к стрессорам // Тенденции повышения конкурентоспособности и экспортного потенциала продукции агропромышленного комплекса, Смоленск, 17 ноября 2021 года.
9. Anderson D.L., Matichenkov V.V., Snyder G.H. Silicon in the soil and plant (Part II) // Sugar Journal. 1995. June. P. 8-10.
10. Bhat J.A., Shivraj S.M., Singh P., Navadagi D.B., Tripathi D.K., Dash P.K., Solanke A.U., Sonah H., Deshmukh R. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants // Plants. 2019. Vol. 8. P. 71.
11. Ghosh S.K., Pal S., Banerjee S., Chakraborty N. In vitro study of lysis of cell wall preparation from phomopsisvexans by lytic enzyme from some biocontrol agents // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2015. Vol. 4 (10). P. 153-157.
12. Ma J.F., Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants // Trends Plant Sci. 2006. Aug. 11 (8). P. 392-397
13. Maschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition. London: Academic Press, 1995. 352 p.
14. Schaller J., Puppe D., Kaczorek D., Ellerbrock R., Sommer M. Silicon cycling in soils revisited // Plants (Basel, Switz.). 2021. Vol. 10. P. 295.
15. Zhu Y.-X., Gong H.J., Yin J.L. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: a review // Plants. 2019. Vol. 8 (6). P. 147.

FUNCTIONAL ROLE OF SILICON IN STRESS TOLERANCE AND PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT

Chugunova A.I.,

D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry,
ul. Pryanishnikova, 31a, Moscow, 127434 Russia. E-mail: anastasiya.semenova96@list.ru.

In the article the functional role of silicon in ensuring productivity and resistance of spring wheat (Triticum aestivum L.) to unfavorable environmental factors is considered in detail. The interaction of silicon with other nutritional elements is analyzed, which allows to optimize the use of nutrients and increase the adaptive potential of plants. The peculiarities of the biogeochemical cycle of silicon and factors affecting its availability to plants are also discussed. The possibilities of using silicon as a factor for increasing plant resistance to abiotic stresses, which is of great importance for the development of sustainable agriculture, are investigated.

Keywords: silicon, spring wheat, stress tolerance, plant nutrition, abiotic stresses, silicon fertilizers, plant adaptation.

УДК 581.48

DOI: 10.25680/S19948603.2025.145.03

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКАРИФИКАЦИИ СЕМЯН БОБОВЫХ С ТВЕРДОЙ ОБОЛОЧКОЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ПРОРАСТАНИЯ

Р.Ф. Байбеков², ак. РАН, А.А. Дудина¹, Е.Э. Нефедьева¹, д.б.н., С.Л. Белопухов², д.с.-х.н.,

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
400005, проспект им. В.И. Ленина, д. 28, г. Волгоград, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49, as.sklyarova.95@mail.ru

В проводимом исследовании оценивали влияние методов скарификации, таких как обработка кипятком, замачивание в ацетоне в течение 15 и 30 мин, обработка импульсным давлением 11 и 29 МПа, на конечный результат прорастания семян козлятника восточного с твердой оболочкой, среднее время прорастания и длину проростков. Скарификация кипятком и 30-минутная обработка ацетоном оказались наиболее эффективными, достигнув прорастания в 33,3 и 30% соответственно. Механическая скарификация привела к наиболее быстрому и стабильному прорастанию семян. Обработка ацетоном показала эффективность, зависящую от времени: 30-минутная обработка оптимизировала как скорость, так и интенсивность прорастания, в то время как 15-минутная обработка приводила к снижению скорости прорастания. Обработка импульсным давлением в 11 МПа была менее эффективной, максимальная концентрация ПКВ составляла 11,94%. Эти результаты подтверждают роль физической и химической скарификации в нарушениях покоя семян бобовых и дают ценную информацию для оптимизации процедур проращивания козлятника восточного и подобных видов.

Ключевые слова: козлятник восточный, скарификация, твердая семенная оболочка, всхожесть, прорастание.

Для цитирования: Байбеков Р.Ф., Дудина А.А., Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л. Эффективность скарификации семян бобовых с твердой оболочкой для улучшения их прорастания // Плодородие. – 2025. – №4. – С. 11-15. DOI: 10.25680/S19948603.2025.145.03.

Семейство бобовых включает в себя род галега (Galega). Козлятник восточный – многолетнее бобовое растение, которое выращивалось как ценное кормовое растение и стало предметом многочисленных экспериментов.

В настоящее время козлятник восточный классифицируется как представитель семейства бобовые (Fabaceae), подсемейства Faboideae, а известными сортами являются Гале, Горноалтайский 87 и Ялгинский. Как

кормовое растение оно широко культивируется в России и странах Балтии [7].

Естественной средой обитания козлятника восточного являются лесистые предгорные районы Армении, Грузии, Дагестана и Азербайджана [6].

Козлятник восточный – многолетнее травянистое растение с перисто-сложными темно-зелеными листьями (рис. 1). Доля листьев в надземной массе может достигать 70%. Листья расположены на стеблях высотой 40-150 см. Прилистники вырастают до 5-20 см в длину; листья