

*The results of a three-year field experiment conducted on sod-podzolic loamy soil of the Central region of the Russian Federation are considered. The scheme of the field experiment provides for the study of the effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers in increasing doses from 30 to 120 kg of nutrients. with their various combinations for yield, quality and agro-economic indicators of spring wheat grain production. It was shown that all the doses and combinations of fertilizers studied in the experiment increased the yield of the crop, but the maximum grain harvest for an average of 3 years 4.14 t/ha and the payback of fertilizers with an increase in yield were obtained in experiment version N60P60K60. However, a steady increase in the protein content in the grain was noted with increasing doses of nitrogen against a background of PK over 60 kg/ha.*

*Key words: Non-Chernozem zone, spring wheat, mineral fertilizers, yield, quality, effectiveness.*

УДК 57.045:581.1:631.81

## **ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНА И КРЕМНИЯ НА РЕАЛИЗАЦИЮ АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА**

*Л.В. Осипова<sup>1</sup>, д.б.н., И.В. Верниченко<sup>2</sup>, д.б.н., Л.В. Ромодина<sup>2</sup>, к.б.н., Т.Л. Курносова<sup>1</sup>, к.б.н.,  
И.А. Быковская<sup>1</sup>, А.А. Лапушкина<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а, legos4@yandex.ru*

*<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,  
127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49*

**Работа выполнена по госзаданию № 0572-2019-0014**

*В условиях лабораторных и вегетационных опытов выявлены общие и специфические особенности реакции растений ячменя на окислительные стрессы, индуцированные повышенным содержанием в почве алюминия и почвенной засухой. Предпосевная обработка семян (ПОС) биогенными элементами подготавливала растения ячменя к возможным стрессовым воздействиям, способствуя снижению содержания малонового диальдегида (МДА) в растениях, стимулированию поглотительной активности корневой системы и возрастанию содержания хлорофилла b и каротиноидов, а также сокращению периода, когда азотный обмен был подавлен. Это в итоге снижало потери продуктивности ячменя в условиях окислительного стресса, особенно индуцированного засухой.*

*Ключевые слова: яровой ячмень, селен, кремний, предпосевная обработка семян, продуктивность, почвенная засуха, алюминиевая токсичность, окислительный стресс, малоновый диальдегид, фотосинтетические пигменты, меченый азот.*

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.04

Проблема устойчивости зерновых культур к стрессовым факторам в последние годы приобрела исключительную актуальность из-за усиливающегося негативного воздействия последних на формирование продуктивности, что связано с продовольственным обеспечением безопасности страны [1].

В многочисленных исследованиях адаптации растений к различным стрессорам установлено наличие единого механизма развития повреждений и защиты при любых абиотических стрессах [2, 3]. Существование универсального ответа на различные стресс-факторы позволяет предположить возможность одним способом повысить устойчивость к широкому диапазону погодно-климатических ситуаций.

Исследования, проведенные в последние десятилетия, показали, что селен и кремний справедливо могут быть отнесены к биогенным элементам, необходимым для растений. Однако, многие вопросы, освещающие механизмы действия этих элементов, их роль в стрессоустойчивости, остаются нерешенными.

Зерновые культуры в течение вегетации подвергаются действию стрессов различной природы, которые снижают реализацию генетически обусловленного потенциала продуктивности растений. Одним из наиболее распространенных стрессов является токсичное действие алюминия.

Цель исследований - изучить влияние селена и кремния на формирование продуктивности ярового ячменя при действии абиотических стрессов, индуцированных засухой и алюминием.

**Методика.** Опыты проводили с яровым ячменем (*Hordeum vulgare* L.) сорта Надежный. Изучали способы предпосевной обработки семян: 1 – 0,01%-ным раствором  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , 2 – 0,15%-ным раствором  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 3 – раствором солей  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ , взятых в одинаковых соотношениях в количестве раствора для обработки, равном 5% от массы семян.

В лабораторных экспериментах растения выращивали на растворах стрессоров в рулонной культуре в термокамере при постоянном поддержании температуры и влажности. Стрессы моделировали, используя растворы сахарозы 3,8-5,8% и  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 4-12 мг/100 мл.

Вегетационные опыты проводили в почвенной культуре на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующей агрохимической характеристикой: гумус – 2,1%,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,5,  $\text{H}^+$  – 4,2 мг-экв/100 г почвы; S – 12, T – 13,2 мг-экв/100 г почвы; V – 74%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 93 мг/кг сухой почвы;  $\text{K}_2\text{O}$  – 82, Al – 10,0 мг/кг сухой почвы.

Питательные вещества вносили при закладке опытов: NPK – 100 и 150 мг/кг почвы. В течение вегетации поддерживали оптимальный уровень водообеспеченности – 70% ПВ.

Почву известковали по полной норме Н<sub>г</sub>. Опыты закладывали по общепринятой методике. Почвенную засуху создавали путем прекращения полива на VI этапе органогенеза, полив возобновляли при наступлении влажности устойчивого завядания растений. Алюминий вносили при закладке опыта в дозе 25 мг/кг почвы.

Определяли комплекс физиолого-биохимических показателей, характеризующих неспецифическую устойчивость растений: уровень свободнорадикального окисления, содержание фотосинтетических пигментов и поступление меченого азота. Интенсивность свободнорадикальных процессов определяли по содержанию продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) мембран, реагирующих и дающих стойкое окрашивание с тиобарбитуровой кислотой (ТБК<sub>пр</sub>). Основным продуктом ПОЛ является малоновый диальдегид (МДА), содержание которого определяли на спектрофотометре Helios Omega UV-VIS.

Содержание фотосинтетических пигментов хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов устанавливали в 100%-ной ацетоновой вытяжке спектрометрическим методом.

Поглотительную способность корневой системы и ассимиляцию поступившего азота (<sup>15</sup>N) определяли методом изотопной индикации. Для установления активности корневой системы растений вместе с поливом вносили небольшое количество (15 мг/сосуд) высокообогащенно-

го (95АТ%) стабильным изотопом <sup>15</sup>N нитратного азота в виде Ca(<sup>15</sup>NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Далее через 8 ч, 1 сут, 5 или 7 сут отбирали и фиксировали растительные пробы.

Образцы анализировали на изотопном масс-спектрометре Delta V Advantage. Формула для расчета поступившего азота:

$$N = \frac{N_c \cdot ({}^{15}N_{\text{рп}} - 0,365)}{{}^{15}N_c - 0,365},$$

где N – количество азота, поступившего за период короткой экспозиции, мг/сосуд; N<sub>c</sub> – общее количество азота на конец экспозиции, мг/сосуд; <sup>15</sup>N<sub>рп</sub> – обогащение атомами <sup>15</sup>N в растительной пробе, %; <sup>15</sup>N<sub>c</sub> – обогащение атомами <sup>15</sup>N в соли при внесении, %; 0,365 – естественное обогащение атомами <sup>15</sup>N, %.

Результаты опытов обрабатывали математически. В таблице 1 и на рисунках 1-5 приведены среднеарифметические данные, стандартное отклонение которых не превышало 5% от средних значений.

**Результаты и их обсуждение.** В результате проведенных лабораторных исследований выявлены общие и специфические особенности реакции ячменя на разные виды стрессоров. Показано, что под их воздействием снижались линейные размеры проростков и уменьшалось количество <sup>15</sup>N, поглощенное растением (рис. 1).

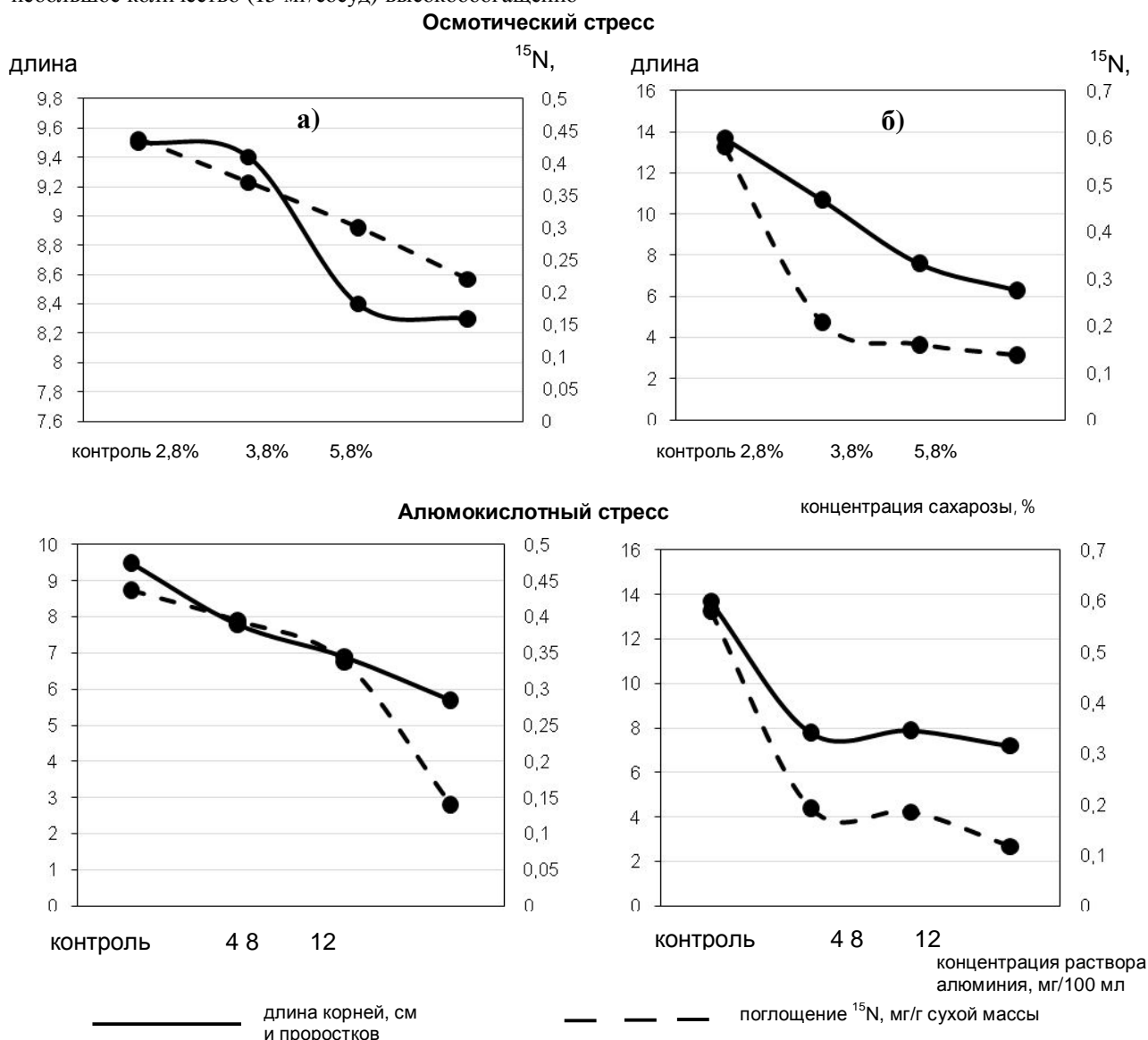


Рис. 1. Влияние стрессоров на длину корней (а) и ростков (б) и поступление <sup>15</sup>N в проростки ячменя

При действии осмотического стресса поглотительная функция снизилась на 37,6-60,7% по отношению к оптимальным условиям в зависимости от концентрации сахарозы 2,8 и 5,8%, соответственно.

Алюминиевая токсичность выражалась как в торможении роста и поглощения  $^{15}\text{N}$ , так и в распределении его по органам проростка.

Предобработка семян селеном и кремнием на первых этапах органогенеза несколько снижала поступление  $^{15}\text{N}$ , однако способствовала передвижению поглощенного азота в надземную часть проростка. Это приводило к активации процесса диэтиоляции, образованию фотосинтетических пигментов, более раннему началу фотосинтеза, что в свою очередь, обеспечивало увеличение поглотительной активности корневой системы.

Изучаемые стрессы способствовали неспецифической реакции – развитию окислительного стресса из-за деструктивного действия АФК, приводящего к накоплению продуктов перекисного окисления липидов.

В проведенных опытах содержание малонового диальдегида при действии всех изучаемых стрессоров увеличивалось в надземной части проростка на 20-45%, в корнях – на 15-30% в зависимости от вида стрессора. Наибольшее повреждающее действие оказывал, судя по накоплению МДА, стресс, индуцированный  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Протекторное действие всех способов ПОС снижало редокс-статус растений, наиболее эффективно при совместном влиянии селена и кремния при действии обоих изучаемых стрессоров (рис.2).

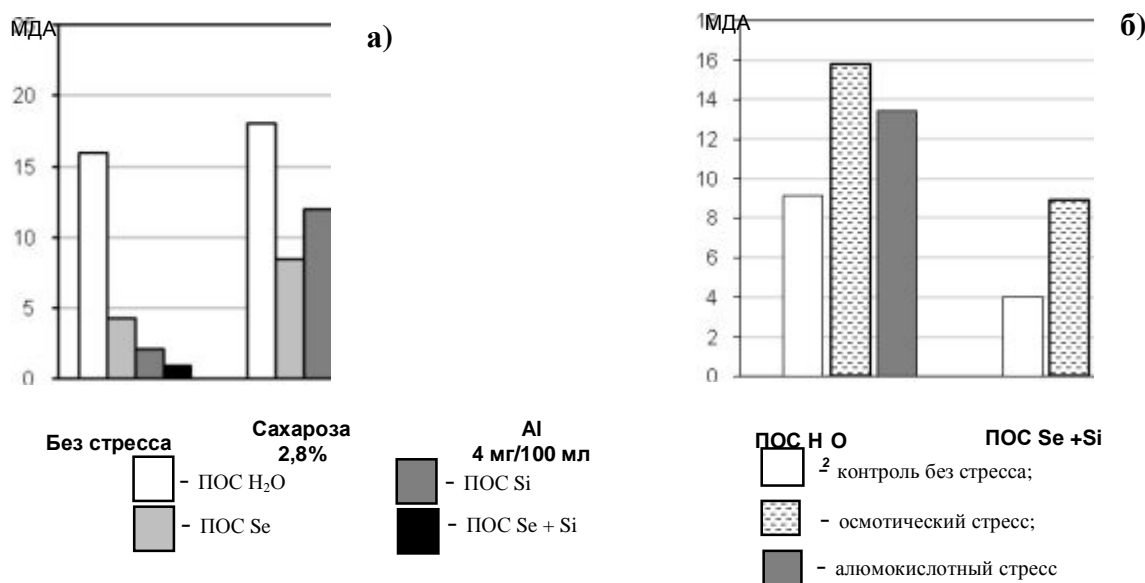


Рис. 2. Содержание МДА в ростках (а) и корнях (б) ячменя в зависимости от ПОС при действии стрессоров (водная культура), мкМ/г сырой массы

В вегетационных опытах неблагоприятные факторы, индуцированные алюминием и засухой, также вызывали развитие окислительного стресса, о чем свидетельствовало возрастание продуктов перекисного окисления липидов мембран (рис. 3).

Алюминий, внесенный в почву при закладке опыта, незначительно повышал уровень свободнорадикального окисления в растениях ячменя.

Использование селена и кремния снижало количество продуктов перекисного окисления липидов и стиму-

лировало поглотительную активность корневой системы взрослых растений ячменя (рис. 4), особенно эффективно в варианте применения селена совместно с кремнием. Однако эти изменения не повлияли на формирование конуса нарастания главного побега. Внесение алюминия в почву не только не ингибировало ростовую функцию, но даже способствовало ее стимуляции.

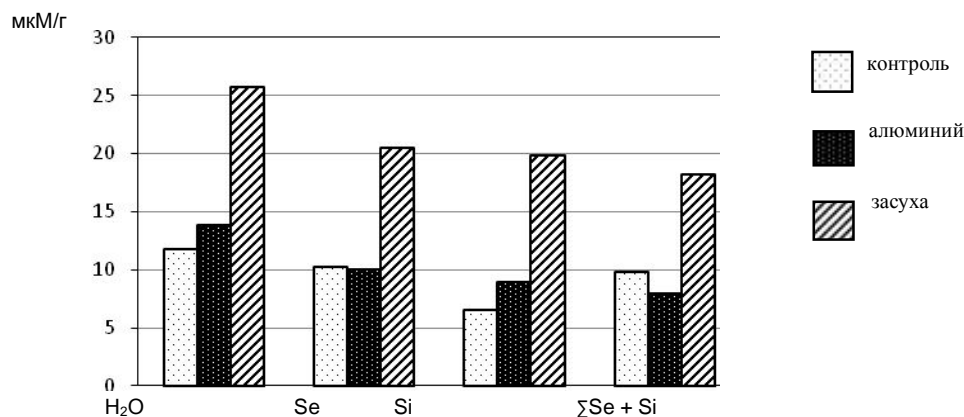
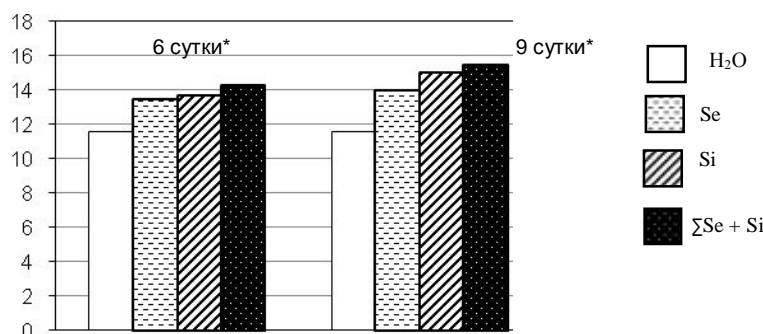


Рис. 3. Содержание МДА в листьях ячменя при разных способах ПОС в зависимости от вида стрессора (вегетационный опыт)

мг/сосуд



\* после внесения метки (<sup>15</sup>N)

Рис. 4. Поглощение растениями ячменя меченого нитратного азота <sup>15</sup>N на фоне повышенного содержания алюминия в почве при разных способах ПОС (вегетационный опыт)

Внесение в почву алюминия снижало размеры поглощения растениями ячменя меченого азота нитратов. Скорость поступления азота <sup>15</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в надземную часть растения ячменя была даже больше, чем без внесения алюминия. Отсутствие избытка алюминия и его негативного влияния на опытные растения связано, по-видимому, с детоксикацией вносимой соли алюминия повышенным содержанием фосфора в исходной почве и внесением до посева растений дополнительно 100 мг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 кг почвы. Отмеченная стимуляция поглощения нитратного азота в опытах при внесении AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O связана с компенсаторным повышением продуктивности растений [2] небольшими количествами алюминия, оставшимися после его связывания в почве с фосфором. Обработка семян селеном и кремнием не влияла на интенсивность поглощения меченого нитратного азота.

Алюминий не влиял на продуктивность ячменя, хотя урожай зерна в ряде случаев имел тенденцию к повышению. На накопление биомассы соломы испытанная доза алюминия также не оказала достоверного влияния (табл. 1).

При действии почвенной засухи в растениях содержание малонового диальдегида возрастало в 2,5 раза, что свидетельствует о жестком развитии окислительного стресса. Биогенные элементы снижали напряжен-

ность окислительного стресса, уменьшая содержание МДА на 20,0, 22,6 и 29,2% соответственно при ПОС селеном, кремнием и их совместном применении.

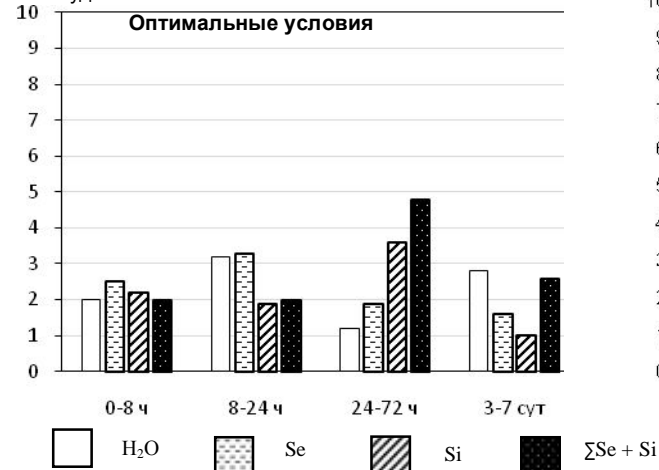
#### 1. Продуктивность ярового ячменя

| Вариант ПОС       | Масса зерна, г/сосуд |                 |        | Масса соломы, г/сосуд |                 |        |
|-------------------|----------------------|-----------------|--------|-----------------------|-----------------|--------|
|                   | контроль             | Стресс          |        | контроль              | Стресс          |        |
|                   |                      | алюмоокислотный | засуха |                       | алюмоокислотный | засуха |
| H <sub>2</sub> O  | 17,6                 | 21,4            | 7,5    | 15,8                  | 17,0            | 19,1   |
| Se                | 17,4                 | 20,2            | 9,5    | 15,6                  | 16,1            | 20,1   |
| Si                | 18,7                 | 22,1            | 9,4    | 16,6                  | 17,4            | 21,0   |
| Se + Si           | 18,1                 | 20,8            | 12,4   | 17,5                  | 15,7            | 18,8   |
| HCP <sub>05</sub> | 1,3                  | 1,6             | 0,8    | 1,4                   | 1,7             | 1,8    |

Все способы применения селена и кремния способствовали возрастанию содержания хлорофилла *b* и каротиноидов, выполняющих адаптивную функцию наряду с основной фотосинтетической.

Почвенная засуха существенно влияла на процесс поглощения ячменем внесенного меченого нитратного азота. Растения ячменя, семена которых перед посевом были обработаны растворами селена и кремния, успешнее выходили из подавленного состояния и быстрее восстанавливали свою способность к поглощению азота (рис. 5).

мг/сосуд



мг/сосуд

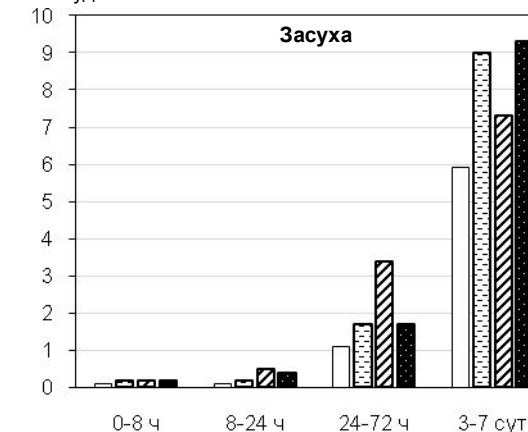


Рис. 5. Поглощение <sup>15</sup>N в оптимальных условиях культивирования и во время репарации в различные периоды после окончания засухи (вегетационный опыт)

Внесение алюминия в почву приводило к повышению образования свободных радикалов в растениях. Однако, закрепление его в почве и эффективная работа антиоксидантной системы во всех вариантах опыта ограничивала его токсичное влияние. Применение селена и кремния в этой ситуации несколько стимулировало реализацию адаптивных реакций.

**Выводы.** Окислительные стрессы, моделированные в водной культуре: алюмоокислотный и осмотический тормозили рост и поглотительную функцию корневой системы проростков ячменя, причем алюмоокислотный стресс в большей степени. ПОС селеном и кремнием уже на этапе проростков активировала систему защиты растений от воздействия стрессов и способствовала поступлению  $^{15}\text{N}$  в надземную часть растений.

В вегетационном опыте доза алюминия 25 мг/кг почвы не повлияла на продуктивность и накопление биомассы соломы ячменя, что связано с детоксикацией соли алюминия повышенным содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  в поч-

ве, а небольшое количество алюминия, не связанное почвой, стимулировало поглощение  $\text{NO}_3^-$  растениями.

Окислительный стресс, индуцированный засухой, действовал на растения ячменя сильнее алюмоокислотного стресса, что выражалось в повышенной депрессии продуктивности.

Применение биогенных элементов существенно сокращало период, когда азотный обмен был подавлен, что снижало потери зерна ячменя в условиях почвенной засухи.

#### Литература

1. Второй оценочный доклад об изменении климата на территории РФ. – М.: Росгидромет, 2014.-1008 с.
2. Игнатъева С.Л., Большакова Л.С., Павлова Н.И., Пухальская Н.В., Зиангирова Ю.Р., Веселова Ю.Н. Исследование влияния солей алюминия на ростовые процессы зерновых культур //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2012. - № 1. - С. 53-62.
3. Mobin M. Effects of cadmium-induced oxidative stress on growth and nitrogen assimilation in blackgram. //J. of agr. Science. - 2013. - Vol. 58. - № 1. - P. 31-39.

### INFLUENCE OF SELENIUM AND SILICON APPLICATION ON ADAPTIVE CAPACITY OF SPRING BARLEY UNDER THE ACTION OF OXIDATIVE STRESS

L.V. Osipova<sup>1</sup>, I.V. Vernichenko<sup>2</sup>, L.V. Romodina<sup>2</sup>,  
T.L. Kurnosova<sup>1</sup>, I.A. Bykovskaya<sup>1</sup>, A.A. Lapushkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia, E-mail: legos4@yandex.ru;

<sup>2</sup>RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, Moscow, 127434, Russia

*In terms of laboratory and vegetation experiments identified common and specific features of the reaction of barley plants on oxidative stress induced by high content of aluminum in soil and soil drought. Presowing seed treatment (PST) nutrients prepared plants barley for possible stress influences, contributing to the reduction of malonic dialdehyde (MDA) in plants stimulate the absorption activity of the root system and increase content chlorophyll b and carotenoids as well as reduce the period of the nitrogen exchange depression, which ultimately reduced the loss of productivity of barley under conditions of oxidative stress, particularly drought-induced.*

*Key words: spring barley, selenium, silicon, seed treatment, productivity, soil drought, aluminum toxicity, oxidative stress, malonic dialdehyde, photosynthetic pigments, tagged nitrogen.*

## УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РЭГГИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

Х.К. Абделаал (Египет), РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева

127550, Россия, г. Москва, Лиственничная аллея, д. 3, E-mail: [h.kamal2007@gmail.com](mailto:h.kamal2007@gmail.com)

*Рассмотрены вопросы влияния различных сроков применения регулятора роста Рэгги на урожай и качество зерна яровой тритикале в условиях Центрального района Нечерноземной зоны. Наиболее эффективна обработка растений препаратом Рэгги у сортов яровой тритикале Тимирязевская и Кармен в фазе кушения: урожайность повышалась у сорта Тимирязевская на 0,48 т/га при урожае на контроле 5,22 т/га, а у сорта Кармен – на 0,13 т/га при урожае на контроле 5,10 т/га. У сорта Укро при обработке растений препаратом Рэгги в фазе кушения прибавка урожая незначительна и составила в среднем 0,01 т/га. Больший эффект от применения препарата Рэгги у сорта Укро получен при двукратной обработке растений в фазы кушения и выхода в трубку. Прибавка урожая составила 0,51 т/га при урожае на контроле 5,11 т/га. Применение регулятора роста Рэгги не оказало существенного влияния на качество зерна изучаемых сортов яровой тритикале.*

*Ключевые слова: яровая тритикале, урожайность зерна, качество, масса 1000 семян, натура, белок, клейковина, регулятор роста.*

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.05

Обеспечение отрасли животноводства качественными кормами – одна из стратегических задач агропромышленного комплекса Российской Федерации. Решить ее можно, возделывая зерновые культуры с высокой потенциальной урожайностью и хорошими адаптационными показателями. Такой культурой является яровая тритикале. Зерно яровой тритикале может при-

меняться для производства муки и выпечки кондитерских изделий, в перерабатывающей промышленности для производства крахмала, спирта. Однако, основное направление её использования - на зернофураж, так как эта культура имеет определенное преимущество перед другими яровыми зерновыми по кормовым достоинствам, в частности, по содержанию незаменимых