

## РЕАКЦИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ВОДНЫЙ СТРЕСС ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ

*Л.В. Осипова, д.б.н., Т.Л. Курносова, к.б.н., И.А. Быковская, Е.А. Федорова, к.с.-х.н.,  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-  
исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»  
(ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)*

*12755, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31А, E-mail: [legos4@yandex.ru](mailto:legos4@yandex.ru)*

*Представлены результаты исследований по изучению водного статуса листьев и поглотительной способности корневой системы ярового ячменя в условиях нарастающего водного стресса при различной обеспеченности основными минеральными элементами. Установлено, что снижение показателей водообмена сопровождалось уменьшением поглощения меченого азота ( $^{15}\text{N}$ ), по которому оценивали активность поглотительной функции. На естественном фоне питания при наступлении влажности устойчивого завядания (ВУЗ) растения ячменя отличались от растений в вариантах с внесением НРК меньшей оводненностью, низким водонасыщением, более ранним прекращением поглотительной деятельности корней и слабо выраженными репарационными способностями, что привело к большим потерям продуктивности.*

*Ключевые слова: яровой ячмень, водный статус, поглотительная способность, корневая система, водный стресс.*

Для цитирования: Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А., Федорова Е.А. Реакция ярового ячменя на водный стресс при различной обеспеченности минеральным питанием// Плодородие. – 2022. – №5. – С. 33-36.

DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.09.

Глобальные биосферные изменения привели в последние десятилетия к увеличению повторяемости и интенсивности экстремальных явлений, связанных с гидротермическими режимами.

Относительное падение климатически обусловленной урожайности зерновых культур увеличилось на территории РФ на 10-30% [1, 2]. Непредсказуемость и внезапность погодных аномалий в течение вегетационного периода вызывают реакции, направленные на адаптацию и выживаемость, а не на продуктивность. Вопросы повышения устойчивости к засухе, высоким температурам, сильному ветру, приводящие к обезвоживанию растений, приобретают все большую значимость. Предпосылкой повышения адаптивного потенциала полевых культур является изучение реакций надземных органов и корневой системы растений при нарастающем обезвоживании в результате снижения доступной влаги в почве.

Водный статус растений давно изучается в связи с проблемой засухоустойчивости [3]. Корневое питание, как фактор продуктивности и рационального использования удобрений, – основное направление агрохимических исследований, которое отражено в многочисленных работах [4-6]. В современных условиях возросших климатических рисков увеличился интерес к проблеме адаптации корневых систем к абиотическим стрессам [7].

Вопрос о влиянии обеспеченности растения минеральным питанием на устойчивость не имеет однозначного ответа. Повышенный фон питания способствует формированию интенсивно транспирирующей ассимиляционной поверхности, иссушению почвы и повреждению зачаточного колоса, особенно если недостаток влагообеспеченности совпадает с периодом образования колосков и цветковых зачатков на апексе побегов, что часто наблюдается в Нечерноземье. При недостатке минерального питания в растениях слабо выражены защитно-компенсаторные реакции, что может приводить к необратимым повреждениям и потерям урожая [6].

**Цель исследований** – изучить водный статус листьев и поглотительную активность корневой системы ярового ячменя при нарастании водного дефицита на разных фонах обеспеченности основными минеральными элементами.

**Методика.** Опыты проводили с яровым ячменем сорта Московский 86, включенным в Госреестр селекционных достижений в 2011 г. Эксперименты закладывали по методике Журбицкого [8] на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующей агрохимической характеристикой: содержание гумуса (по Тюрину, ГОСТ 2621391) – 2,1 %;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  (ГОСТ 2648358) – 4,5;  $\text{H}_\text{г}$  (ГОСТ 2621291) – 4,2 мг-экв/100 г почвы;  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91) – 93 и 82 мг/кг сухой почвы соответственно.

Растения выращивали на двух фонах питания: на естественном, без внесения НРК и при внесении  $(\text{НРК})_{150}$ .

В течение вегетации в контрольных вариантах поддерживали оптимальный уровень водообеспеченности, в опытном варианте при достижении растениями VI этапа органогенеза, критического по отношению к уровню влаги в почве, полив прекращали до наступления влажности устойчивого завядания (ВУЗ).

Для оценки стрессоустойчивости определяли водный статус листьев. Основные исследования проводили с листьями второго яруса (сверху), которые полностью сформированы и в наибольшей степени отражают состояние всего растения.

Для оценки водного дефицита, оводненности, относительного содержания воды, способности листа к насыщению, водоудерживающей способности определяли сырую и сухую массу листа до и после суточного насыщения водой и после 6-часового завядания.

Растительные пробы отбирали перед началом бесплодного периода через 3 и 8 сут при наступлении ВУЗ, что соответствует 14% ПВ, когда почвенная влага становится недоступной растениям.

Для оценки деятельности корневой системы определяли ее поглотительную способность, используя метод изотопной индикации. Для этого перед началом бесполового периода с последним поливом вносили раствор нитрата кальция, меченый по азоту ( $^{15}\text{N}$ ). Содержание  $^{15}\text{N}$  составляло менее 1% от общего количества азота в корнеобитаемой среде. Определяли содержание  $^{15}\text{N}$  в растениях и по интенсивности его накопления судили об активности поглотительной способности корневой системы. Растительные образцы анализировали на изотопном масс-спектрометре Delta V Advantage с элементным анализатором Flash EA, сопряженным с двухреакторной схемой окисления и восстановления. Расчет поступившего в растения  $^{15}\text{N}$  проводили по Юдину [9].

Растительные пробы отбирали в трех-пятикратной биологической повторностях. На рисунках представлены среднеарифметические данные, стандартные отклонения которых не превышают 5%.

**Результаты и их обсуждение.** В проведенных экспериментах почвенная засуха сопровождалась умеренными температурами воздуха: 18-21°C, что способство-

вало постепенному нарастанию водного дефицита в листьях ярового ячменя. Влажность устойчивого завядания наступала через 10 сут после прекращения полива, что совпало со снижением почвенной влагоемкости до 14%. Уменьшение содержания доступной влаги в почве сопровождалось снижением оводненности листьев на обоих фонах питания. Исходное содержание воды, сырая и сухая масса листьев на протяжении всего периода недостаточного водообеспечения были больше при внесении минеральных элементов (рис. 1-4). В контрольных вариантах различия в оводненности листьев, их способности к насыщению, водоудерживающей способности слабо зависели от условий питания и определялись внешними гидротермическими факторами. На третьи сутки после прекращения полива почвенная влагоемкость снизилась до 57-55%. Оводненность листьев и способность к насыщению изменились незначительно. Водоудерживающая способность не возросла, что свидетельствует об отсутствии у растений необходимости удерживать воду и снижать активность транспирации.

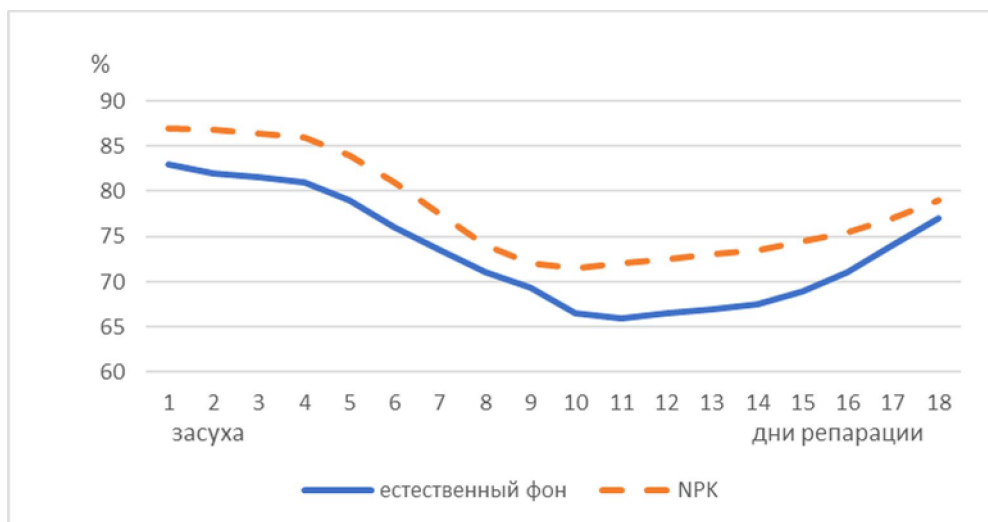


Рис. 1. Оводненность листа в период засухи и репарации

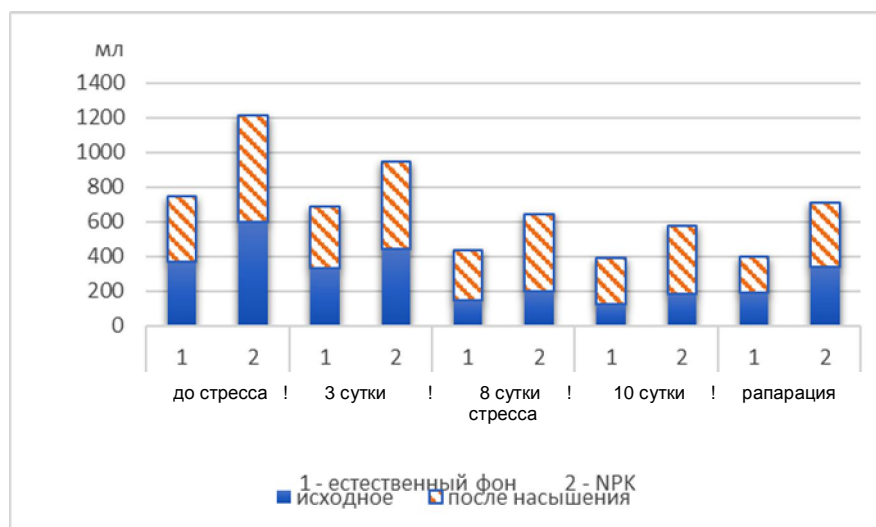


Рис. 2. Содержание воды в листе в период засухи и репарации

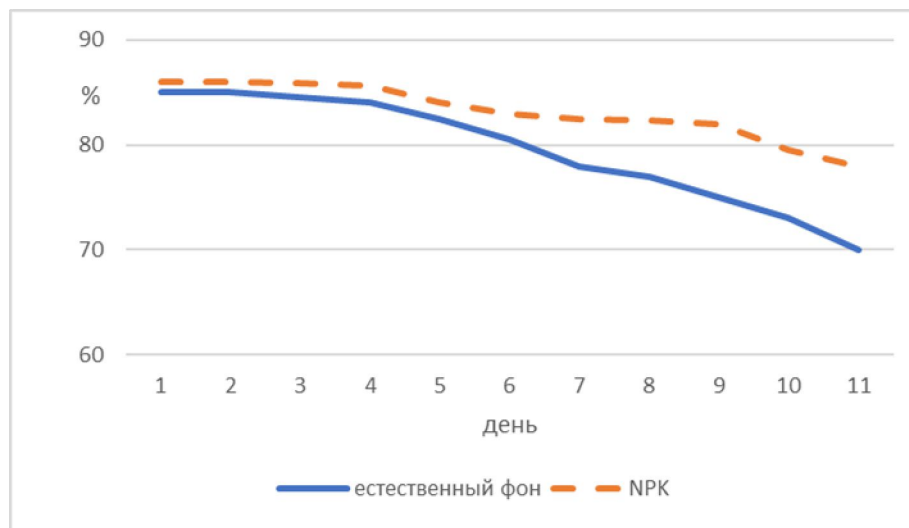


Рис. 3. Водоудерживающая способность листьев при действии водного стресса

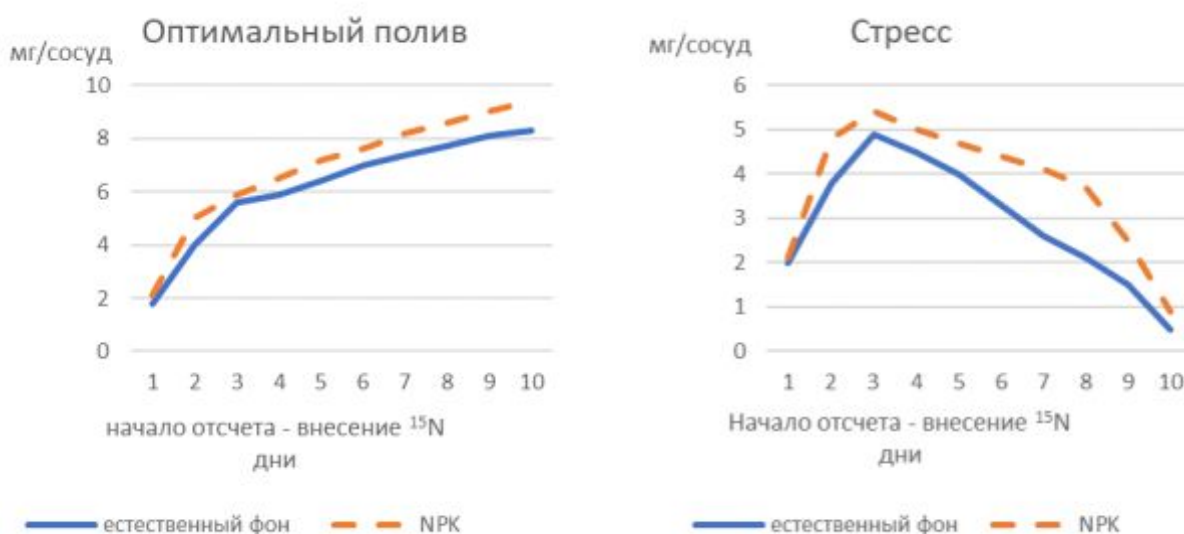


Рис. 4. Поглощение <sup>15</sup>N растениями ячменя в оптимальных условиях водообеспеченности и при водном стрессе

Через 1 сут после внесения меченого азота с последним поливом его содержание в растениях поливного контроля и опытных вариантов было практически одинаковым. На третьи сутки бесполовного периода снижение поглотительной функции корней было незначительным и сопряжено с аналогичными изменениями водного статуса.

При нарастании водного дефицита на восьмые сутки стрессорного воздействия оводненность листьев снизилась до 69,3% на естественном фоне и до 72% на фоне NPK (см. рис. 1). Резко затормозилось поступление <sup>15</sup>N в надземные органы, причем в большей степени на фоне 1 (см. рис. 4). Абсолютное содержание воды в листе значительно уменьшилось (см. рис. 2). Однако способность поглощать воду сохранилась. Количество воды, поглощенное за сутки к исходному количеству воды в листе, составило 48% на естественном фоне и 128% – при внесении NPK. Способность растений удерживать воду также снизилась и в большей степени на низком фоне питания. Изменение водоудерживающей способности, являясь активным процессом, сопряжено с дыханием и связано с изменением структуры воды и белкового комплекса и свидетельствует о нарушении водного обмена растения.

В последние годы установлено, что в растениях, как саморегулирующей системе, при снижении доступной влаги в почве, для предотвращения обезвоживания листьев и поддержания равновесия внутреннего метаболизма включаются механизмы, осуществляющие взаимодействие между корневой системой и листовой поверхностью. В корнях начинают синтезироваться специализированные пептиды, которые, перемещаясь в побег, запускают реакции в листовых пластинках [10]. Устьица закрываются, но снижение устьичной проводимости компенсируется увеличением гидравлической проводимости, притоком воды из корней в результате активизации специализированных водных каналов – аквапоринов [11, 12]. Поддержание оводненности формирующегося зачаточного колоса обеспечивается также активизацией его акцепторной функции, увеличением потоков воды из нижних листьев к молодым, защищающим апекс побегов.

Наступление влажности устойчивого завядания, при которой почвенная влага становится недоступной растениям, отмечалось на 10-е сут бесполовного периода и сопровождалось падением оводненности и водоудерживающей способности листьев, снижением способности их к насыщению и прекращением поглотительной деятельности корневой системы (см. рис. 1-4).

К этому периоду прекратилось накопление биомассы растений, что обусловлено, вероятно, усилением дыхания и использования ассимилятов на поддержание структур и оводненности растительного организма.

Однако, несмотря на негативное действие водного стресса, после его окончания наблюдалось восстановление роста и развития растений. На 10-е сут репаративного периода восстановились оводненность листа и его способность к насыщению, причем в большей степени на фоне NPK (см. рис. 1, 4). Обезвоживание растений в период формирования зачаточного колоса привело к снижению продуктивности ярового ячменя на обоих фонах питания.

На естественном фоне зерновая продуктивность снизилась на 37,6% по сравнению с поливным вариантом – от 0,81 г зерна с растения до 0,50 г. При увеличении обеспеченности растений минеральным питанием депрессия продуктивности была ниже и составляла 23,1%. При большей продуктивности в поливном контроле (0,98 г/растение) масса зерна в опытном варианте с внесением NPK составляла 0,75 г/растение и была больше, чем на фоне без удобрений на 33%. Обеспечение растений питанием способствует сохранению водного статуса и поглотительной активности корневой системы ярового ячменя в период ограниченного водообеспечения и меньшим потерям продуктивности.

**Заключение.** Установлено, что поглотительная способность корневой системы сопряжена с процессами водообмена листовой поверхности. При нарастающем водном дефиците изменение водного статуса листьев и поглотительной способности корней, оцениваемой по поступлению меченого азота в растения, взаимообусловлено и отражает условия минерального питания и

водообеспечения. На естественном фоне питания, без внесения основных минеральных элементов, растения ячменя быстрее теряли способность к водоудержанию и поглощению  $^{15}\text{N}$  корневой системой. Оптимизация минерального питания способствовала длительному сохранению физиологических функций, что обеспечивало большую устойчивость и продуктивность ячменя.

#### Литература

1. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в РФ (в области компетенции Росгидромета). – Санкт-Петербург. Саратов: Амирит, 2020. – 120 с.
2. Богданович А.Ю., Павлова В.Н., Ранькова Э.Я., Семенов С.М. Влияние изменений засушливости в России в XX веке на пригодность территорий для возделывания зерновых культур // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 20-35.
3. Генкель Н.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. – М.: Наука, 1982. – 280 с.
4. Смирнов П.М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с  $^{15}\text{N}$ ). – М.: МСХА, 1982. – 74 с.
5. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. – М.: ВНИИА, 2022. – 256 с.
6. Ниловская Н.Т., Осипова Л.В. Приемы управления продукционным процессом яровой пшеницы агрохимическими средствами в условиях засухи. – М.: ВНИИА, 2009. – 175 с.
7. Кошкин Е.И., Гусейнов Г.Г. Экологическая физиология сельскохозяйственных культур. – М., 2020. – 576 с.
8. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука, 1968. – 598 с.
9. Юдин Ф.А. Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1980.
10. Ahangor M.A., Ashraf M. Brassinosteroids regulate growth in plants under stressful environments and crosstalk with other potential phytohormones / J. Plant Growth Regul. 2018. V. 37. P. 1007.
11. Stendle E. Water uptake by roots / Plant Soil. 2000. V. 226. P. 15-56.
12. Maurel C., Luu D.T., Santoni V. Plant aquaporins membrane channels with multiple integrated function / Ann. Rev. Plant Physiol. 2008. V. 59. P. 595-624.

UDC 633:57.045

## REACTION OF SPRING BARLEY TO WATER STRESS WITH DIFFERENT AVAILABILITY OF MINERAL NUTRITION

*L.V. Osipova, T.L. Kurnosova, I.A. Bykovskaya, E.A. Fedorova*  
*Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry,*  
*Federal Agency Research Organization,*  
*ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550, Russia; E-mail: [legos4@yandex.ru](mailto:legos4@yandex.ru)*

*Identification of the results of studies on the study of the ingestion of the water status and the absorptive capacity of the root system of spring barley under conditions of increasing water stress with a certain supply of basic mineral values. It was found that the decrease in water exchange was accompanied by a decrease in the absorption of labeled nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ), which was used to evaluate the activity of the absorption function. Against the natural background of nutrition with the onset of moisture, stable wilting (SW) differed from the variants with the introduction of NPK, lower water content, low water saturation capacity and earlier cessation of the absorptive activity of the roots and weakly expressed reparative abilities, which led to large losses in productivity.*

*Keywords: spring barley, water status, absorptive capacity of the root system, water stress*

УДК 631.82; 631.815

DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.010

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ ПО НОРМАТИВАМ ОКУПАЕМОСТИ

*А.А. Хрунов, к.б.н., А.Н. Налиухин, д.с.-х.н., Н.К. Сидоренкова, к.с.-х.н.,*  
*ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева*  
*[alekxhrunov@gmail.com](mailto:alekxhrunov@gmail.com), [naliuhin@yandex.ru](mailto:naliuhin@yandex.ru), [sidnadejda@mail.ru](mailto:sidnadejda@mail.ru)*  
*127550, Москва, Тимирязевская улица, 49*

*Работа выполнена под руководством д.с.-х.н. С.А. Шафрана*

*Рассмотрена методика определения доз удобрений по нормативам окупаемости. В основе этого метода лежит обобщение результатов многочисленных полевых опытов, позволивших достаточно точно определить величину урожая без удобрений и прибавки урожая от различных доз удобрений в зависимости от агрохимических*