



# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>

## ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ ДВУХ СОРТОВ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

**Иванов И.И., Кудоярова Г.Р.**

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН  
E-mail: [i\\_ivanov@anrb.ru](mailto:i_ivanov@anrb.ru)

На двух контрастных сортах яровой твёрдой пшеницы сравнивали влияние распределения элементов минерального питания в среде на урожайность и интенсивность развития корневой системы растений. На фоне локального внесения удобрений растения менее чувствительны к засухе по сравнению с разбросным. Неравномерное распределение минерального питания наиболее ярко стимулирует увеличение длины, массы и поверхности корней у сорта со слабой корневой системой, что приводит и к более заметному повышению его засухоустойчивости.

*Ключевые слова:* *Triticum durum*, разделенная корневая система, рост, минеральное питание, засухоустойчивость

## IMPACT OF UNEVEN DISTRIBUTION OF MINERAL NUTRIENTS ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM OF TWO DURUM WHEAT VARIETIES

**Ivanov I.I., Kudoyarova G.R.**

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa  
E-mail: [i\\_ivanov@anrb.ru](mailto:i_ivanov@anrb.ru)

The influence of the distribution of elements of mineral nutrients in the environment on the yield and intensity of the root system of plants on two contrasting varieties of spring durum wheat was compared. Against the background of local fertilizer placement plants are less sensitive to drought compared to broadcast. Uneven distribution of mineral nutrients most clearly stimulates an increase in the length, weight and surface of the roots of varieties with a weak root system, which leads to a more noticeable increase in its drought resistance.

*Keywords:* *Triticum durum*, split-root system, growth, mineral nutrition, drought resistance

*Поступила в редакцию: 9.07.2019*

[DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-3-267-272](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-3-267-272)

## ВВЕДЕНИЕ

Производство и широкое применение химических удобрений обеспечило резкое повышение урожайности растений, став одной из основ «зеленой революции». Положительное действие удобрений определяется стимулирующим влиянием элементов минерального питания (ЭМП) на фотосинтез и рост надземной части растений. Вместе с тем, внесение удобрений отрицательно сказывается на росте и развитии корневой системы. В этом плане действие удобрений противоположно дефициту минерального питания, который вызывает относительную стимуляцию роста корней (т.е. подавляет рост и развитие корней в меньшей степени, чем рост и развитие побега). Поскольку на фоне высокого уровня минерального питания слабые корни могут справиться с задачей поглощения нужного растению количества ЭМП, ингибирующее влияние внесения удобрений на рост корней не всегда проявляется. Вместе с тем, результатом относительного ослабления корневой системы может быть снижение засухоустойчивости растений, поскольку этот показатель напрямую связан с развитием корневой системы [Comas et al., 2013]. Однако, этому феномену уделяется недостаточно внимания, поскольку повышение урожайности растений под

влиянием удобрений маскирует возможные потери, вызванные снижением засухоустойчивости растений. Многолетние исследования, которые проводились в нашей лаборатории, показали, что локальное внесение удобрений вызывает стабильное повышение урожайности растений в условиях засухи по сравнению с традиционным разбросным внесением удобрений [Трапезников et al., 2003]. В отсутствие засухи преимущество локального внесения удобрений проявляется не всегда [Трапезников и др., 2013]. При таком способе внесения удобрений они не перемешиваются с почвой, а вносятся локально (например, в виде ленты на некотором расстоянии от семян с помощью специальной сеялки). Повышение засухоустойчивости растений при локальном (неравномерном) внесении удобрений связывают с функциональной специализацией корней, при которой корни, находящиеся в непосредственной близости от локально внесенного удобрения, активно ветвятся, что позволяет им эффективно поглощать ионы, а более отдаленные от «очага» удобрений корни, меньше ветвятся, растут в глубину и ответственны за поглощение воды [Трапезников et al., 2003]. Эти особенности роста и развития корней изучали в модельной гидропонической системе с «расщепленной» корневой системой (split root system). При этом корни распределяли между двумя контейнерами с одинаковой и различной концентрацией ЭМП. Было показано, что неравномерное распределение ЭМП между контейнерами адекватно имитирует локальное внесение удобрений: в контейнере с повышенной концентрацией ЭМП («высокосолевые корни» – ВС корни) корни активно ветвятся, а на фоне более низкой концентрации («низкосолевые корни» – НС корни) – быстрее удлиняются. Представляло интерес сравнить влияние неравномерного распределения ионов, имитирующего локальное внесение удобрений, с равномерным распределением усредненной концентрации ЭМП (имитация традиционного распределения удобрений). Важно было проверить, связано ли повышение засухоустойчивости растений при действии локального внесения удобрений с активацией под его влиянием роста корней. Такого рода исследования мы до сих пор проводили лишь на сорте Безенчукская 139, и полученные на этом сорте результаты не противоречили нашей гипотезе [Коробова и др., 2019]. Необходимо было убедиться, что и на других сортах этот феномен (активация роста корней под влиянием локального питания растений) будет воспроизводиться.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В полевых опытах с яровой твердой пшеницей [Трапезников и др., 2013] выбрали сорта для сравнения их ростовых параметров в лабораторных условиях. Семена твердой пшеницы (*Triticum durum*) сорта Башкирская 27 (традиционный для региона) и линии ИБ (получена отбором растений сорта Безенчукская 139 путем их выращивания в условиях сильного осмотического стресса) проращивали на водопроводной воде в течение 4 суток. Для закладки опыта использовали блоки из двух сосудов с питательной средой Хогланда-Арнона I (X-A) различной концентрации с добавлением одного и того же количества микроэлементов. Для имитации гетерогенного питания проростки с пятью развитыми зародышевыми корнями размещали на границе сосудов так, чтобы два зародышевых корня

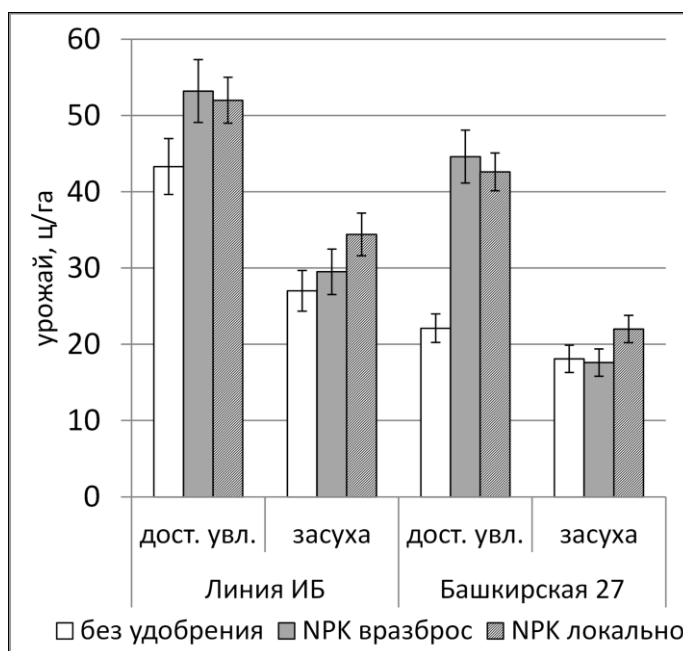
находились в питательном растворе, где концентрация макроэлементов была в 3 раза выше, чем в стандартном растворе X-A (ВК, 300% X-A), а три других корня – в растворе низкой концентрации ЭМП (НК, 1% X-A). На гомогенной среде оба сосуда содержали питательную смесь усредненной концентрации (150% X-A). Для оценки влияния дефицита питания на развитие корней использовали блоки, у которых оба контейнера содержали раствор низкой концентрации (НК, 1% X-A). Объем сосуда 1.2 л. Проростки закрепляли на стыке сосудов с помощью силиконовых трубочек с прорезями. Растения выращивали при освещенности 400 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) ФАР с 14-часовым фотопериодом. Температуру воздуха днем и ночью поддерживали на уровне 26/20°C.

Площадь поверхности корней оценивали по их сканированным изображениям с помощью программы ImageJ (National Institute of Health, USA, <https://imagej.nih.gov>).

Статистические показатели рассчитывали стандартными методами с использованием программы MS Excel. В лабораторных исследованиях число повторностей составляло 24-30 растений. Результаты по урожайности растений приведены по трём благоприятным (больше 180 мм дождей в апреле-июне) и трём засушливым годам (ниже 75 мм). На рисунках приведены средние значения и их стандартные ошибки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность растений линии ИБ была выше, чем у Башкирской 27 как в более влажные, так и засушливые годы (рис. 1). Как и следовало ожидать, внесение удобрений обычным способом (вразброс) увеличило продуктивность урожайность. Действие удобрений было более заметным в более влажный год, и прибавка урожая была больше у растений Башкирской 27: у нее урожай вырос почти в два раза, в то время как у линии ИБ – лишь на 22% по сравнению с вариантом без удобрений. На фоне внесения удобрений разница между сортами уменьшилась, хотя линия ИБ оставалась более урожайной. В год с большим количеством осадков различия по продуктивности растений обоих сортов на фоне разбросного и локального внесения удобрений были недостоверными. Уменьшение количества осадков снижало продуктивность растений, а степень снижения зависела от фона минерального питания. В отсутствие удобрений под влиянием засухи урожайность снижалась в меньшей степени, чем

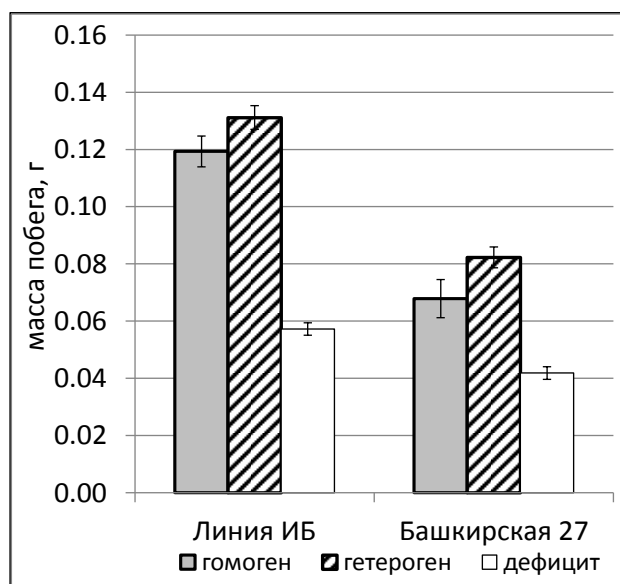


**Рис. 1. Урожай сортов яровой твёрдой пшеницы в условиях засухи и достаточного увлажнения при различном характере распределения удобрения в почве. ц/га**

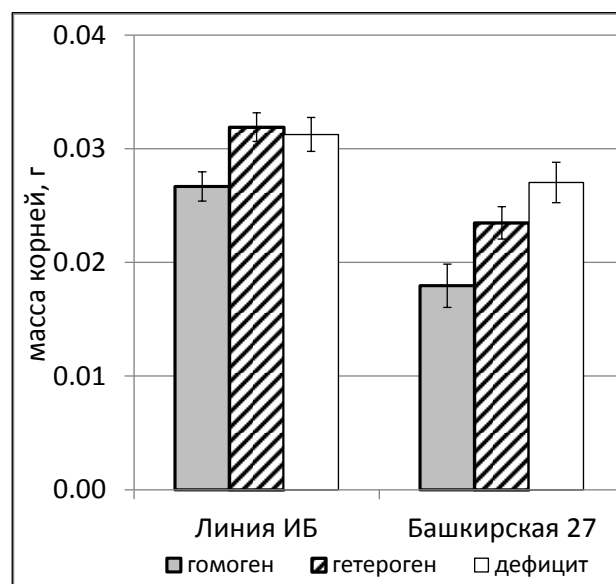
продуктивность растений, а степень снижения зависела от фона минерального питания. В отсутствие удобрений под влиянием засухи урожайность снижалась в меньшей степени, чем

на фоне внесения удобрений вразброс (на 18–38% по сравнению с более влажным годом в варианте без удобрений и на 40–45% – на фоне внесения удобрений вразброс у Башкирской 27 и Линии ИБ, соответственно). Растения, которые росли на фоне локального внесения удобрений, оказались менее чувствительными к засухе по сравнению с разбросным внесением удобрений: на фоне локального внесения удобрений урожайность снизилась под влиянием засухи на 34-40% (у линии ИБ и Башкирской 27, соответственно). В результате в более засушливые годы продуктивность была выше на фоне локального внесения удобрений по сравнению с разбросным. Таким образом, полученные результаты подтвердили, что внесение удобрений вразброс делает растения более чувствительными к засухе по сравнению с вариантом без удобрений, а локальное внесение удобрений снижает падение урожайности под влиянием засухи. Важно было сопоставить эти результаты с особенностями роста и развития корневой системы растений.

Тотальный дефицит ЭМП (5% среда X-A в обоих контейнерах) приводил к резкому торможению накопления массы побега (рис. 2). При этом масса корней не уменьшалась, а даже была больше по сравнению с вариантом с равномерным распределением оптимальной концентрации ЭМП между контейнерами (рис. 3).



**Рис. 2. Масса побега растений яровой твёрдой пшеницы при гомогенном и гетерогенном распределении и дефиците ЭМП, г**

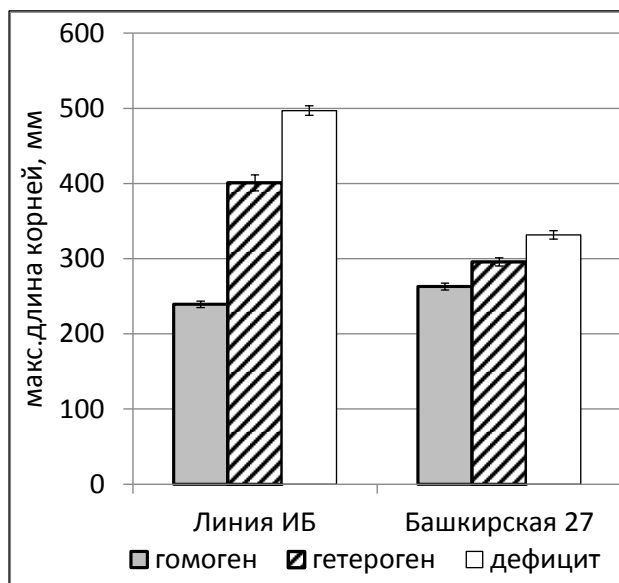


**Рис. 3. Масса корней растений яровой твёрдой пшеницы при гомогенном и гетерогенном распределении и дефиците ЭМП, г**

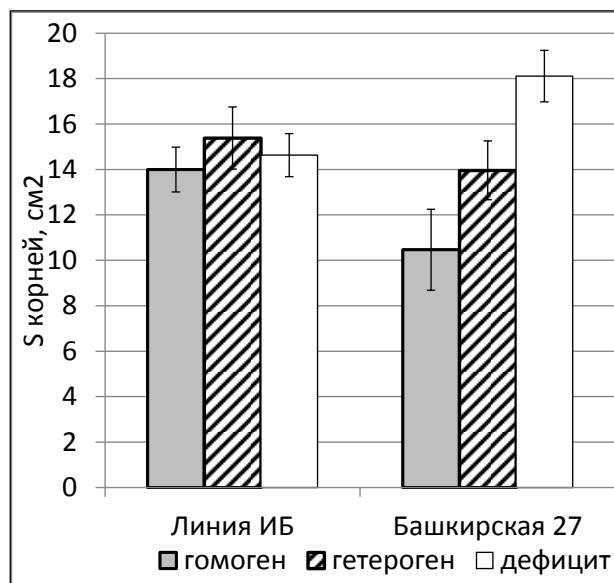
Локальное повышение концентрации ЭМП в одном из контейнеров сопровождалось активацией накопления биомассы корней, и она была на таком же уровне, как и при дефиците питания у Линии ИБ, и на промежуточном уровне между тотальным дефицитом и равномерным распределением достаточного количества ЭМП – у Башкирской 27 (рис. 3).

На фоне дефицита ЭМП линия ИБ почти в 1,5 раза превосходила Башкирскую 27 по максимальной длине корней (рис. 4). Повышение уровня минерального питания приводило к укорочению корней, но на фоне локального повышения концентрации ЭМП (только в одном из контейнеров) корни были длиннее. Удлинение корней способствует оптимизации

поглощения воды и нитратов из глубины почвы, где во время засухи еще остается вода, и куда растворимые в воде нитраты вымываются дождями [Lynch, 2013]. Поэтому не удивительна высокая урожайность растений линии ИБ с более длинными корнями. Также прослеживается связь между уменьшением длины корней под влиянием повышенного уровня минерального питания и увеличением чувствительности к засухе продуктивности растений на фоне внесения удобрений (рис. 1). Увеличение длины корней под влиянием локального повышения концентрации ЭМП также соответствует повышению урожайности растений под влиянием локального внесения удобрений (рис. 4, 1).



**Рис. 4.** Максимальная длина корней растений яровой твёрдой пшеницы при гомогенном и гетерогенном распределении и дефиците ЭМП, мм



**Рис. 5.** Площадь корней растений яровой твёрдой пшеницы при гомогенном и гетерогенном распределении и дефиците ЭМП, мм<sup>2</sup>

Площадь поверхности корней была на удивление стабильной (одинаковой на всех фонах минерального питания) у растений Линии ИБ (рис. 5). По изменению площади корней растения Башкирской 27 повторяли реакцию массы и длины корней: площадь была максимальной на дефиците ЭМП, резко снижалась под влиянием равномерного распределения достаточной концентрации ЭМП, а на фоне локального питания площадь корней занимала промежуточное положение между дефицитом и равномерным оптимальным питанием.

Таким образом, результаты анализа показателей роста корней в гидропонической культуре подтверждают гипотезу о том, что неравномерное распределение ЭМП активизирует рост и развитие корневой системы по сравнению с равномерным, что позволяет объяснить повышение урожайности растений под влиянием локального внесения удобрений на фоне засухи. Сравнение сортов твердой пшеницы показало большую длину корней и более стабильные значения их площади у растений линии ИБ, чем можно объяснить более высокую урожайность растений, как в условиях засухи, так и большего уровня дождей. В целом анализ роста корней в гидропонической культуре на фоне моделируемого уровня и

распределения ЭМП позволяет выявить механизм повышения засухоустойчивости растений и прогнозировать урожайность растений в полевых условиях.

Влияние локального питания на урожайность растений сорта Баширская 27 было более значительным, что позволяет рекомендовать этот способ внесения удобрений, особенно в случае слабых сортов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Кудоярова Г.Р., проект № 18-04-00460) и в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190099-6 (Иванов И.И.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробова А.В., Иванов И.И., Ахиярова Г.Р., Веселов С.Ю., Веселов Д.С., Кудоярова Г.Р. Влияние неравномерного распределения макроэлементов на содержание гормонов и удлинение корней у растений пшеницы // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 5. С. 367–374. DOI: [10.1134/S0015330319050105](https://doi.org/10.1134/S0015330319050105)
2. Трапезников В.К., Иванов И.И., Кудоярова Г.Р. Влияние технологии внесения минеральных удобрений на устойчивость сортов яровой пшеницы к дефициту воды // Агрoхимия. 2013. № 1. С. 26–34.
3. Comas L.H., Becker S.R., Cruz V.M., Byrne P.F., Dierig D.A. Root traits contributing to plant productivity under drought // *Frontiers in Plant Sciences*. 2013. V. 4: 442. DOI: [10.3389/fpls.2013.00442](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442)
4. Lynch J.P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems // *Annals of Botany*. 2013. V. 112, N 2. P. 347–357. DOI: [10.1093/aob/mcs293](https://doi.org/10.1093/aob/mcs293)
5. Trapeznikov V.K., Ivanov I.I., Kudoyarova G.R. Effect of heterogeneous distribution of nutrients on root growth, ABA content and drought resistance of wheat plants // *Plant and Soil*. 2003. V. 252, N 2. P. 207–214. DOI: [10.1023/A:1024734310214](https://doi.org/10.1023/A:1024734310214)