



ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



РОЛЬ АУКСИНОВ И ИХ ПЕРЕНОСЧИКОВ ПРИ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА В РЕГУЛЯЦИИ ВЕТВЛЕНИЯ КОРНЕЙ ПШЕНИЦЫ

Тимергалина Л.Н.¹, Иванов Р.С.^{1*},
Высоцкая Л.Б.¹, Кулуев Б.Р.², Шарипова Г.В.¹

¹ Уфимский Институт биологии Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

² Институт Биохимии и генетики Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: ivanovirs@mail.ru

Свет является жизненно необходимым для любых растений, поэтому имеется множество механизмов адаптации к его недостатку. Например, при затенении другими растениями происходит удлинение стеблей за счет ресурсов, идущих на другие органы, в частности, корни, ветвление которых может уменьшаться. Снижение ветвления корней под влиянием низкой освещенности объясняют снижением транспорта ауксинов (ИУК) от побегов к корням. Однако данные о влиянии низкой освещенности на ауксины довольно противоречивы. Данные, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о снижении концентрации ауксинов в корнях и флоэмном экссудате растений при низкой интенсивности света, что указывает на роль ауксинов в передаче из побега сигнала об этом внешнем факторе и его влиянии на уровень ауксинов в корнях. Ростовая реакция корней на слабое освещение проявлялась в уменьшении ветвления, и, поскольку известно, что ауксины необходимы для индукции роста боковых корней, этот эффект низкого уровня освещения, очевидно, связан с дальним сигналом, идущим от листьев в виде уменьшенной доставки ауксинов через флоэму.

Ключевые слова: пшеница ♦ свет ♦ ауксины ♦ ветвление ♦ переносчик ауксинов *PIN*

ROLE OF AUXINS AND THEIR TRANSPORTERS AT LOW LIGHT INTENSITY IN REGULATION OF WHEAT ROOT BRANCHING

Timergalina L.N.¹, Ivanov R.S.^{1*},
Vysotskaya L.B.¹, Kuluev B.R.², Sharipova G.V.¹

¹ Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of
the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal
Research Centre of the RAS, Ufa, Russia

*E-mail: ivanovirs@mail.ru

Light is vital for any plant, so there are many mechanisms for adapting to its deficiency. For example, when shading by other plants, the stems are elongated due to the resources going to other organs, in particular, roots, the branching of which may decrease. The decrease in root branching under the influence of low light is explained by a decrease in auxin transport (IAA) from shoots to roots. However, data on the effect of low light on auxins is rather contradictory. The data obtained in this work indicate a decrease in the concentration of auxins in the roots and phloem exudate of plants at low light intensity, which indicates the role of auxins in the transmission of a signal from the shoot about this external factor and its effect on the level of auxins in roots. The root growth response to low light was manifested as a decrease in branching, and since auxins are known to be required to induce lateral root growth, this low light effect appears to be related to the long-range signal from the leaves in the form of reduced delivery of auxins through the phloem.

Keywords: wheat ♦ light ♦ auxins ♦ branching ♦ *PIN* auxin transporter

Поступила в редакцию: 31.03.2023

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80)

EDN: [DWOLII](https://www.edn.ru/DWOLII)



ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных факторов окружающей среды для растений является наличие достаточного количества света. Фотоавтотрофные растения неизбежно подвергаются воздействию окружающей среды, к которой разработали сложные способы адаптации для обеспечения доступа к свету [Kami et al., 2010]. Например, при выращивании в непосредственной близости от соседних растений у многих видов развиваются удлиненные стебли и более мелкие листья, что называется реакцией избегания тени (SAR) [Casal, 2013].

Эта реакция увеличивает их шансы достичь солнечного света по сравнению с другими растениями и, таким образом, представляет собой конкурентное преимущество [Hautier et al., 2009]. Выделение дополнительных ресурсов для роста вверх настолько важно, что это происходит за счет других функций, таких как рост корней. Развитие корней происходит под землей в темноте. Однако архитектура корней фотоморфогенных проростков предполагает, что морфология корней модулируется сигналами, поступающими от надземных тканей. Гормоны растений, фотосинтетические продукты и, в последнее время, белки напрямую связывают с передачей сигналов на большие расстояния между побегами и корнями [Lee et al., 2017; van Gelderen et al., 2018]. Снижение ветвления корней под влиянием низкой освещенности объясняют снижением транспорта ауксинов (ИУК) от побегов к корням [Reed et al., 1998]. В то же время эти данные, основанные на оценке способности экзогенных ауксинов стимулировать ветвление в условиях низкой освещенности, не всегда давали однозначные результаты. Хотя низкие концентрации экзогенного гормона действительно стимулировали ветвление, высокие концентрации ауксина подавляли развитие боковых корней [Ivanchenko et al., 2010]. Очевидно, оценка влияния освещения на содержание эндогенных ауксинов дает более реалистичную информацию. В то же время очень мало работ, в которых изучалось влияние освещения на уровень эндогенных ауксинов в связи с их транспортом в корни и влиянием на ветвление корней. Данные о влиянии низкой освещенности на ауксины довольно противоречивы. Так, изучение ранних ответов на сигналы затенения показало, что синтез и транспорт ауксина быстро активируются у арабидопсиса, что способствует удлинению клеток гипокотилей [Ma, Li, 2019]. В противоположность этому, другие исследователи обнаружили увеличение количества ауксинов в надземной части растений арабидопсиса при высокой, а не низкой интенсивности света [Hersch et al., 2014]. Принимая во внимание это противоречие, в данной работе мы изучили не только концентрацию ауксинов в побегах и корнях растений, но и связь с формированием боковых корней, а также измерили экспрессию гена *TaPIN*, кодирующего переносчик ауксинов в условиях низкой интенсивности света.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растения мягкой пшеницы сорта Омская 35 выращивали на среде Хогланда-Арнона. В большей части экспериментов растения росли на фоне освещенности $220 \text{ ммоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$, однако в экспериментах, в которых изучалось влияние пониженной освещенности, ее уменьшали до $20 \text{ ммоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Количество боковых корней оценивали через трое суток после воздействия. Содержание ауксина индолилуксусной кислоты (ИУК) определяли, как описано [Трекозова и др., 2015]. При сборе флоэмного сока, диффундирующего из срезанного побега, в раствор добавляли этилендиаминтетрауксусную кислоту, которая связывает кальций и таким образом предотвращает закупорку флоэмных сосудов [Jiang et al., 2007]. Экспрессию генов оценивали с помощью ПЦР с детекцией результатов в реальном

времени, как описано [Коробова и др., 2016]. Для количественного анализа транскриптов гена переносчика ауксинов пшеницы *TaPIN1* мы использовали описанные ранее праймеры [Talboys et al., 2014]. В качестве внутреннего контроля использовали гены домашнего хозяйства: конститутивно экспрессируемый ген фактора элонгации трансляции (*HvEF-1A*).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Через 4 дня после снижения освещенности количество боковых корней растений пшеницы было в 4 раза меньше, чем у растений, которые продолжали расти на фоне исходной, более высокой освещенности (табл. 1).

Таблица 1. Влияние нормальной и пониженной освещенности на число боковых корней растений пшеницы.

Освещенность	Число боковых корней
Нормальная освещенность	33,5 ± 4,2 ^б
Пониженная освещенность	7,6 ± 1,5 ^а

Представлены средние значения и их ошибки (n=30). Достоверно различающиеся средние значения помечены разными буквами (p < 0.05, t-тест)

Поскольку известно, что ветвление корней зависит от ауксинов, мы провели иммуноферментный анализ их содержания в побегах и корнях растений пшеницы (табл. 2). Как видно из таблицы, иммуноанализ выявил более низкий уровень этих гормонов в корнях и их накопление в побегах по сравнению с контролем (растениями, росшими в условиях нормальной освещенности). Оценка уровня ауксинов в экссудате из побега показала снижение оттока ауксинов из побега в корни на 10 % по сравнению с контролем (табл. 3). Эти результаты позволяют объяснить накопление ауксинов в побегах и снижение их уровня в корнях.

Таблица 2. Содержание ауксинов в побегах и корнях растений пшеницы, которые росли при нормальной и пониженной освещенности.

Освещенность	Побеги		Корни	
	4 часа	28 часов	4 часа	28 часов
Нормальная освещенность	108,7 ± 11,2 ^г	46,8 ± 6,2 ^б	40 ± 5,8 ^б	66,1 ± 8,1 ^в
Пониженная освещенность	150,3 ± 23,8 ^д	79,7 ± 9,3 ^в	29,6 ± 3,2 ^а	27,4 ± 2,4 ^а

Представлены средние значения и их ошибки (n=3). Статистически различающиеся средние значения обозначены разными буквами (p < 0.05, t-тест)

Таблица 3. Содержание ауксинов в флоэмном экссудате растений пшеницы, которые росли при нормальной и пониженной освещенности.

Освещенность	4 часа	28 часов
Нормальная освещенность	7,1 ± 0,6 ^б	8,7 ± 0,2 ^г
Пониженная освещенность	6,5 ± 0,1 ^а	7,7 ± 0,2 ^б

Представлены средние значения и их ошибки (n=3). Статистически различающиеся средние обозначены разными буквами (p < 0.05, t-тест)

Таблица 4. Уровень транскриптов *TaPIN1* гена в побегах и корнях растений пшеницы, которые росли при нормальной и пониженной освещенности. Значения экспрессии нормированы по уровню транскриптов гена *RL1* пшеницы.

Освещенность	Побеги	Корни
Нормальная освещенность	46 ± 7 ^a	122 ± 29 ^b
Пониженная освещенность	59 ± 9 ^a	75 ± 7 ^a

Представлены средние значения и их ошибки (n=3). Статистически различающиеся средние обозначены разными буквами (p < 0.05, t-тест)

Определение уровня транскриптов *TaPIN* гена выявило снижение его экспрессии в корнях под влиянием пониженной освещенности и отсутствие реакции на счет в побегах (табл. 4). Эти результаты свидетельствуют о том, что данные переносчики не участвовали в загрузке ауксинов во флоэму листа, но могли регулировать их разгрузку в корнях (пониженный уровень переносчика мог снижать приток ауксинов в корни).

ВЫВОДЫ

Таким образом, данные, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о снижении концентрации ауксинов в корнях и флоэмном экссудате растений при низкой интенсивности света, что указывает на роль ауксинов в передаче из побега сигнала об этом внешнем факторе и его влиянии на уровень ауксинов в корнях. Ростовая реакция корней на слабое освещение проявлялась в уменьшении ветвления, и, поскольку известно, что ауксины необходимы для индукции роста боковых корней, этот эффект низкого уровня освещения, очевидно, связан с дальним сигналом, идущим от листьев в виде уменьшенной доставки ауксинов через флоэму. В настоящих экспериментах нам не удалось показать участие PIN транспортеров в загрузке ауксинов во флоэму, так как не было обнаружено влияния низкой освещенности на уровень транскриптов этих генов.

Работа выполнена по теме № 123020800002-2 в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-01134-23-00

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробова А.В., Высоцкая Л. Б., Васинская А.Н., Кулуев Б.Р., Веселов С.Ю., Кудоярова Г.Р. Связь накопления биомассы корней с содержанием и метаболизмом цитокининов у нечувствительных к этилену растений // Физиология растений. 2016. Т. 63. № 5. С. 636–643. DOI: 10.7868/S0015330316050079
2. Трекозова А.В., Высоцкая Л.Б., Кудоярова Г.Р. Ростовый ответ и его регуляция у растений ячменя при дефиците питания // Изв. УНЦ РАН. 2015. № 4. С. 168–170.
3. Casal J.J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade // Annu Rev Plant Biol. 2013. V. 64. P. 403–27. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050312-120221
4. van Gelderen K., Kang C., Pierik R. Light signaling, root development, and plasticity // Plant Physiol. 2018. V. 176. № 2. P. 1049–1060. DOI: 10.1104/pp.17.01079
5. Jiang F., Timergalina L., Kudoyarova G., Jeschke W.D., Hartung W. Growth and development of the facultative root *Hemiparasite Rhinanthus minor* after removal of its host // Funct Plant Biol. 2007. V. 34. № 3. P. 237–245. DOI: 10.1071/FP06262

6. Hautier Y., Niklaus P.A., Hector A. Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication // *Science*. 2009. V. 24 (5927). P. 636–638. DOI: [10.1126/science.1169640](https://doi.org/10.1126/science.1169640)
7. Hersch M., Lorrain S., de Wit M., Trevisan M., Ljung K., Bergmann S., Fankhauser C. Light intensity modulates the regulatory network of the shade avoidance response in *Arabidopsis* // *Proc Natl Acad Sci USA*. 2014. V. 111. № 17. P. 6515–6520. DOI: [10.1073/pnas.1320355111](https://doi.org/10.1073/pnas.1320355111)
8. Ivanchenko M.G., Napsucialy-Mendivil S., Dubrovsky J.G. Auxin induced inhibition of lateral root initiation contributes to root system shaping in *Arabidopsis thaliana* // *Plant J*. 2010. V. 64. P. 740–752. DOI: [10.1111/j.1365-313X.2010.04365.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04365.x)
9. Kami C., Lorrain S., Hornitschek P., Fankhauser C. Light-regulated plant growth and development // *Curr Top Dev Biol*. 2010. V. 91. P. 29–66. DOI: [10.1016/S0070-2153\(10\)91002-8](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(10)91002-8)
10. Lee H.J., Park Y.J., Ha J.H., Baldwin I.T., Park C.M. Multiple routes of light signaling during root *Photomorphogenesis*. // *Trends Plant Sci*. 2017. V. 22 (9). P. 803–812. DOI: [10.1016/j.tplants.2017.06.009](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.009)
11. Ma L., Li G. Auxin-dependent cell elongation during the shade avoidance response // *Front Plant Sci*. 2019. V. 10. Article 914. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00914>
12. Reed R.C., Brady S.R., Muday G.K. Inhibition of auxin movement from the shoot into the root inhibits lateral root development in *Arabidopsis* // *Plant Physiology*. 1998. V. 118 (4). P. 1369–1378. DOI: [10.1104/pp.118.4.1369](https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1369)
13. Talboys P.J., Healey J.R., Withers P.J., Jones D.L. Phosphate depletion modulates auxin transport in *Triticum aestivum* leading to altered root branching // *J Exp Bot*. 2014 V. 65. № 17. P. 5023–5032. DOI: [10.1093/jxb/eru284](https://doi.org/10.1093/jxb/eru284)

Цитировать как

Тимергалина Л.Н., Иванов Р.С., Высоцкая Л.Б., Кудуев Б.Р., Шарипова Г.В. Роль ауксинов и их переносчиков при низкой интенсивности света в регуляции ветвления корней пшеницы // *Экобиотех*, 2023. Т. 6 (1). С. 76-80. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80) EDN: DWOLII

Cited as

Timergalina L.N., Ivanov R.S., Vysotskaya L.B., Kuluev B.R., Sharipova G.V. Role of auxins and their transporters at low light intensity in regulation of wheat root branching. *Ekobioteh*. 2023. V. 6 (1). P. 76-80. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80) EDN: DWOLII (In Rus.)