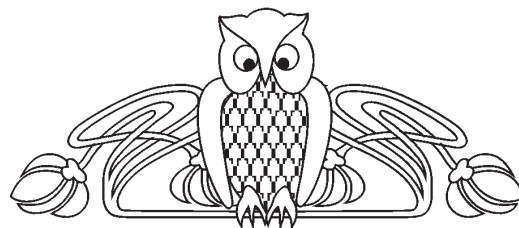




УДК 581.144

Особенности реализации донорно-акцепторных отношений при нарушении целостности зародышевой корневой системы проростка *Triticum aestivum* L.



О. Ф. Шевлягина, В. В. Коробко

Шевлягина Олеся Федоровна, студент биологического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, oshevlyagina@mail.ru

Коробко Валерия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, v.v.korobko@mail.ru

Объектами исследования служили растения яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. Культивирование осуществлялось в климатоканере при температуре $18 \pm 1^\circ\text{C}$ в условиях 16-часового фотопериода и полной этиоляции. Эксперимент проводили в следующих вариантах: удаление главного зародышевого корня; удаление кончика главного зародышевого корня; удаление придаточных корней нижнего яруса. Удаление части корневой системы растений, культивируемых в условиях 16-часового фотопериода, способствует увеличению корневого индекса, уменьшению общей длины корневой системы. При удалении главного корня и корней нижнего яруса показатель корнеобеспеченности растений, выращенных при 16-часовом фотопериоде, существенно не меняется, тогда как декапитация приводит к снижению показателя корнеобеспеченности. Нарушение целостности корневой системы этиолированных проростков приводит к снижению массы проростка и показателя корнеобеспеченности у растений, лишенных нижней пары придаточных корней; повышению корнеобеспеченности проростка при удалении главного корня. Удаление кончика главного корня способствует повышению корневого индекса, не оказывая статистически значимого влияния на длину корневой системы, массу проростка и корней, массовое соотношение корень/побег.

Ключевые слова: этиоляция, донорно-акцепторные отношения, морфогенез пшеницы, показатель корнеобеспеченности.

Поступила в редакцию: 01.02.2020 / Принята: 11.02.2020 / Опубликовано: 01.06.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-219-225>

Целостность растительного организма основывается на сложной системе функциональных и структурных взаимодействий его частей, специализация и дифференциация которых является результатом естественного отбора, обеспечи-

вающего наиболее эффективное выполнение отдельными частями организма своих функций.

Изучение проблемы интеграции в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений (*source-sink*) является актуальной задачей экологии и физиологии растений [1, 2]. Несмотря на значительное количество работ по изучению донорно-акцепторных отношений у растений, до сих пор остается еще много дискуссионных аспектов проблемы, противоречий и неоднозначно трактуемых результатов экспериментальных исследований [3, 4].

Корреляции в развитии корней и надземных органов, их зависимость от условий окружающей среды являются предметом изучения многих исследователей [5–7]. Для исследования этой проблемы широко используются приемы экспериментального моделирования соотношения донора и акцептора: ограничение величины акцепторов или доноров путем их удаления [8–10], затенение целого растения или его частей [11–13] и другие. Исследование особенностей роста и развития растений при ограничении производительности ассимиляционного аппарата способствует пониманию регуляторных механизмов взаимодействия структур, оценке степени напряженности связей и характера конкуренции в донорно-акцепторной системе целого растения.

Материалы и методы

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом исследования служили проростки яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Саратовская 29.

Для изучения морфогенетических аспектов интеграции побега и корневой системы растений у 3-суточных проростков удаляли часть корневой системы. Эксперимент проводили в следующих вариантах: контроль; удаление главного зародышевого корня; удаление кончика главного зародышевого корня; удаление кончика главного зародышевого корня.



дышевого корня; удаление придаточных корней нижнего яруса. Опытные и контрольные растения переносили в непрозрачные вегетационные сосуды объемом 250 мл, заполненные водой. Культивирование осуществлялось в климатикаме при температуре $18 \pm 1^\circ \text{C}$ в абсолютной темноте и при 16-часовом фотопериоде. Измеряли массу проростка, длину корневой системы и первого листа, количество корней; рассчитывали показатель корнеобеспеченности (*root-to-shoot ratio*) [14] и корневой индекс [15]. Результаты исследований подвергались статистической обработке в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010.

Результаты и их обсуждение

При удалении части корневой системы изменяется площадь ее поверхности, что не может не отразиться на обеспечении проростка водой и минеральными элементами; изменяется объем тканей, в которых происходит ряд химических превращений, в том числе и синтез сложных органических веществ; нарушается баланс гормонов, необходимых для нормального роста и

развития органов растения, за счет удаления верхушечной меристемы главного зародышевого корня, которая считается одним из основных мест синтеза цитокининов, участвующих в явлениях коррелятивного роста и апикального доминирования [4, 16].

Установлено, что удаление главного и придаточных корней проростков, культивированных при 16-часовом фотопериоде, негативно влияет на накопление сухой массы побега и корня, которые у опытных растений на 18–19% ниже контрольных значений (рис. 1). При этом показатели корнеобеспеченности у опытных и контрольных растений не имеют статистически значимых отличий. Относительное массовое соотношение корней и побега, называемое корнеобеспеченностью и используемое в качестве показателя стратегии адаптации к условиям роста и развития [17], в условиях эксперимента демонстрирует способность растений регулировать соотношение корень/побег в стрессовых условиях за счет перераспределения пластических веществ между надземными и подземными органами.

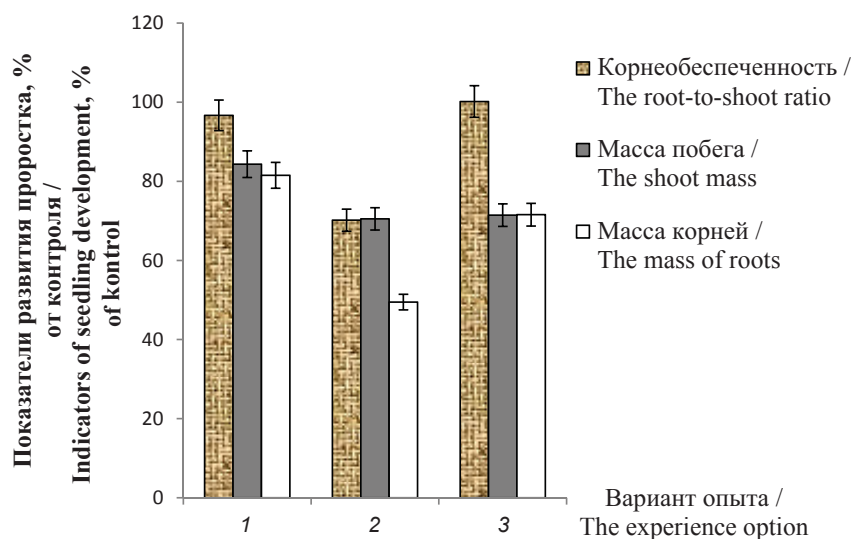


Рис. 1. Особенности роста проростков *Triticum aestivum* L. в условиях 16-часового фотопериода: 1 – удален главный зародышевый корень; 2 – удален кончик главного зародышевого корня; 3 – удалены придаточные корни нижнего яруса

Fig. 1. Features of the growth of seedlings of *Triticum aestivum* L. under a sixteen-hour photoperiod: 1 – removed the main germinal root; 2 – decapitation; 3 – removed the lower tier of germinal roots

Удаление кончика главного корня приводит к снижению показателя корнеобеспеченности. Это происходит в основном за счет уменьшения массы корневой системы (50% от контроля) и в меньшей степени зависит от массы побега (29% от контроля). Длина корневой системы

при этом снижается незначительно (таблица), а корневой индекс возрастает относительно контроля. При удалении главного и придаточных корней у растений, культивированных при 16-часовом фотопериоде, также наблюдается увеличение корневого индекса на 8–14% по



сравнению с контролем. Соотношение длины корней опытных и контрольных проростков (индекс длины корней) часто используется для оценки потенциальной устойчивости растений в лабораторных условиях. Следует отметить, что в полевых условиях тесной связи с данным показателем и урожайностью растений не выявлено (коэффициент парной корреляции между ним и относительной урожайностью зерновых культур составляет 0.50–0.65) [17].

Прирост биомассы, как один из основных параметров роста, в значительной степени определяется развитием фотосинтезирующих органов. В условиях 16-часового фотопериода удаление

главного корня и его декапитация не оказывают статистически значимого влияния на длину первого листа, но при этом способствуют удлинению его влагалища по сравнению с контролем на 9–12% (см. таблицу). При этом длина пластинки листа составляет 80–81%, что незначительно отличается от контрольных значений. Удаление нижней пары придаточных корней оказывает ингибирующее действие на рост первого листа в длину, приводит к формированию более короткой пластинки первого листа и удлинению его влагалища. Длина пластинки листа проростков с удаленными придаточными корнями составляет 77% от контроля.

**Влияние удаления зародышевых корней на рост проростков *Triticum aestivum* L.
The effect of germinal root removal on the growth of seedlings of *Triticum aestivum* L.**

Вариант опыта / The option experience	Длина корневой системы, мм / The root length system, mm	Корневой индекс, отн. ед. / Root index, rel. un.	Длина влагалища первого листа, мм / The length the sheath of the first leaf, mm	Длина пластинки первого листа, мм / The length of the lamina of the first leaf, mm
Культивирование в условиях шестнадцатичасового фотопериода / The cultivation under sixteen-hour photoperiod				
К	217±15	1.00	34±1	158±7
1	204±10*	1.14	38±2	152±9*
2	203±9*	1.13	36±2*	156±8*
3	177±8	1.08	40±3	132±6
Культивирование в условиях этиоляции / The cultivation under etiolation conditions				
К	211±10	1.00	8±1	136±5
1	170±7	0.92	14±2	145±5*
2	225±14*	1.16	10±1*	147±5
3	128±5	0.82	14±2	132±6*

Примечание. К – контроль; 1 – удален главный зародышевый корень; 2 – удален кончик главного зародышевого корня; 3 – удалены придаточные корни нижнего яруса; * – различия между контрольными и опытными значениями недостоверны при $p < 0.05$.

Note. K – control; 1 – the main germinal root has been removed; 2 – the tip of the main germinal root is removed; 3 – adnexal roots of the lower tier removed; * – differences between control and experimental values are unreliable at $p < 0.05$.

Таким образом, удаление части корневой системы, приводящее к нарушению целостности организма, лимитированию минерального питания, нарушению гормонального баланса проростка, влияет на его рост и развитие. В условиях достаточного снабжения ассимилятами растительный организм реализует приспособительные реакции, которые за счет перераспределения пластических веществ между надземными и подземными органами обеспечивают растению устойчивое функционирование.

Известно, что корневые системы проявляют чувствительность к интенсивности света и длительности светового периода, которая обусловлена в первую очередь с обеспечением продуктами фотосинтеза. Исследования показали [18], что

при затенении посевов рост корней угнетается сильнее, чем рост побега. В нашем эксперименте – в условиях отсутствия света с момента набухания семян и последующего роста и развития проростка – масса контрольных растений в 1.6 раз меньше, чем у растений, культивированных при 16-часовом фотопериоде. Масса корневой системы в обоих условиях составляет 32–33% от массы растения, а показатель корнеобеспеченности равен 0.48 отн.ед., т.е., несмотря на изменение массы проростка в условиях недостаточного снабжения ассимилятами, массовое соотношение частей в системе корень/побег остается устойчивым.

Нарушение целостности корневой системы приводит к снижению массы проростка в целом.



Если в условиях 16-часового фотопериода в большей степени снижается масса проростков в опыте с удалением зоны роста главного корня, то в условиях этиоляции такой эффект отмечен у растений с удаленными придаточными корнями

(рис. 2). Удаление главного корня у этиолированных проростков способствует увеличению массы корневой системы на 30% относительно контроля и побега на 7%; что приводит к повышению показателя корнеобеспеченности проростков.

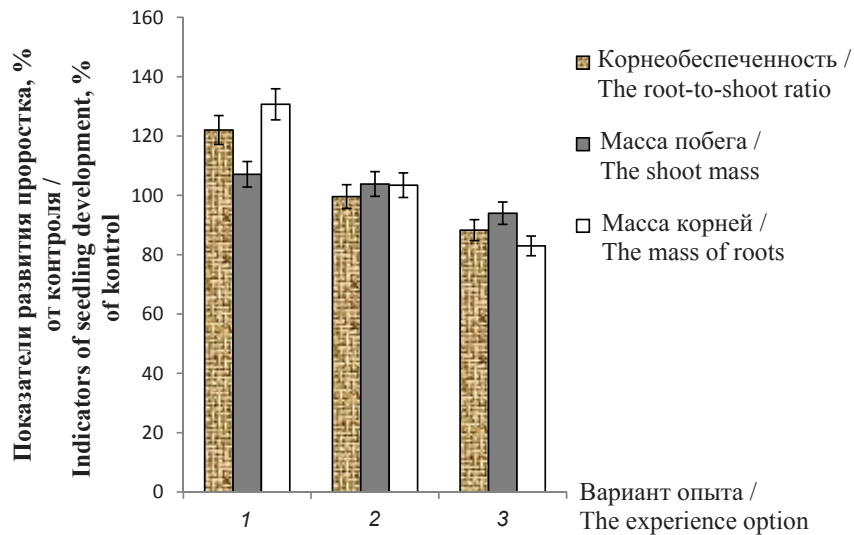


Рис. 2. Особенности роста проростков *Triticum aestivum* L. в условиях этиоляции: 1 – удален главный зародышевый корень; 2 – удален кончик главного зародышевого корня; 3 – удалены придаточные корни нижнего яруса

Fig. 2. Features of the growth of seedling *Triticum aestivum* L. upon cultivation under etiolation conditions: 1 – removed the main germinal root; 2 – decapitation; 3 – removed the lower tier of germinal roots

Значение показателя корнеобеспеченности этиолированных проростков, лишенных нижнего яруса зародышевых корней, уступает значениям в контроле, что обусловлено главным образом снижением массы корневой системы на 17% по сравнению с контролем. В условиях этиоляции декапитация к существенным изменениям массы проростков не привела, различия показателей корнеобеспеченности опытных и контрольных растений статистически не значимы. Сведения о снижении в условиях этиоляции корнеобеспеченности проростка, представленные другими исследователями [19] и полученные нами ранее [5], не противоречат результатам настоящего исследования, так как ранее было показано, что в процессе развития проростка показатель корнеобеспеченности колеблется [20].

Отметим, что у опытных растений, выращенных при 16-часовом фотопериоде, корневой индекс возрастает относительно контроля, тогда как у этиолированных растений удаление главного и пары корней нижнего яруса приводит к снижению данного показателя по сравнению с контрольными. Корневой индекс декапитированных проростков, культивируемых в условиях этиоляции, значительно выше аналогичных зна-

чений в контроле и других вариантах опыта. При этом статистически значимого влияния на длину корневой системы, массу декапитированного проростка и его корневой системы не выявлено.

На основании полученных данных установлено, что отсутствие света с момента набухания семян и в процессе роста и развития проростка приводит к формированию более короткого первого листа по сравнению с листом проростков, культивируемых при 16-часовом фотопериоде. Удаление части зародышевой корневой системы в условиях этиоляции в большей степени влияет на длину листового влагалища: удаление главного корня и нижней пары придаточных способствует увеличению данного показателя роста листа на 70–74% по сравнению с контрольными, тогда как при декапитации длина влагалища первого листа опытных растений составила 10 ± 1 мм, что на 23% больше, чем в контроле. Длина листовой пластинки и целого листа опытных растений, культивируемых в условиях этиоляции, незначительно превышает контроль в опыте с декапитацией и удалением главного корня и статистически не отличается от контрольных значений в опыте с удалением пары придаточных корней нижнего яруса.



Заключение

Принимая во внимание функциональное значение корневой системы, удаление ее части не может не отразиться на росте и развитии растений. Нарушение целостности корневой системы растений, культивируемых при 16-часовом фотопериоде, приводит к удлинению влагалища первого листа, снижению массы проростка. При этом удаление главного корня и пары нижних придаточных корней не нарушает баланса в развитии корневой системы и побега (о чем мы можем судить по значению показателя корнеобеспеченности), тогда как удаление только апикальной части главного корня – места синтеза цитокининов, участвующих в явлениях коррелятивного роста и апикального доминирования, негативно влияет и на накопление массы корневой системой, и на корнеобеспеченность.

На основании полученных данных установлены некоторые особенности роста этиолированных растений в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений в системе целого растения. У этиолированных проростков, несмотря на изменение их массы, массовое соотношение частей в системе *корень/побег* остается устойчивым, что демонстрирует способность растений регулировать корнеобеспеченность в стрессовых условиях за счет перераспределения пластических веществ между надземными и подземными органами. Нарушение целостности корневой системы растений в условиях дефицита ассимилятов приводит к снижению массы проростка и показателя корнеобеспеченности у растений, лишенных нижней пары придаточных корней, повышению корнеобеспеченности проростка при удалении главного корня, тогда как декапитация на массовое соотношение *корень/побег* не оказывает существенного влияния.

Список литературы

1. Гамалей Ю. В. Фотосинтез и экспорт фотосинтетантов. Развитие транспортной системы и донорно-акцепторной отношений // Физиология растений. 1998. Т. 45, № 4. С. 614–631.
2. Евдокимова О. А., Захарченко Н. А., Кумаков В. А. Последовательность и сопряженность роста вегетативных органов побега *Triticum aestivum* и *Triticum durum* (Poaceae) // Бот. журн. 2000. Т. 85, № 3. С. 59–64.
3. Carmi A., Hesketh J. D., Enos W. T., Peters D. B. Interrelationships between shoot growth and photosynthesis, as affected by root growth restriction // Photosynthetica. 1983. Vol. 17. P. 240–245.
4. Kharkina T. G., Ottosen C.-O., Rosenqvist E. Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants // Physiol. Plantarum. 1999. № 105. P. 434–441.
5. Шевлягина О. Ф., Коробко В. В. Некоторые особенности роста *Triticum aestivum* L. в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений // Живые системы – 2019 : сб. науч. ст. Саратов : Амрит, 2019. С. 52–54.
6. Бободжанова М. Д. Донорно-акцепторные отношения фотосинтетического аппарата и плодовых органов у разных сортов средневолокнистого хлопчатника : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Душанбе, 1997. 24 с.
7. Киризий Д. А. Влияние дефолиации и затенения на фотосинтез и продуктивность в системе донорно-акцепторных отношений растительного организма // Физиология и биохимия культурных растений. 2003. Т. 35, № 2. С. 95–107.
8. Reddy P. J., Rao D. V. S., Rao G. R., Mahalakshmi B. K. Effect of defoliation on the growth and yield of new plant types of blackgram // Indian J. Plant. Physiol. 2000. Vol. 5, № 1. P. 99–100.
9. Казарян В. О., Оганян А. С. Влияние затемнения стеблей на жизнедеятельность растений *Helianthus annuus* (Asteraceae) // Бот. журн. 1989. Т. 74, № 8. С. 1160–1165.
10. Киризий Д. А., Гуляев Б. И. Продуктивность сахарной свеклы при различных условиях освещения // Физиол. и биохим. культ. раст. 1993. Т. 25, № 2. С. 187–192.
11. Хачатуров Э. Г., Коробко В. В., Степанов С. А. Формирование зародыша зерновки при затенении узлов стебля *Triticum aestivum* L. // Бюл. бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2019. Т. 17, вып. 2. С. 171–178. DOI: 10.18500/1682-1637-2019-2-3-171-178
12. Гиясидинов Б. Б. Показатели фотосинтеза и донорно-акцепторных отношений у разных генотипов хлопчатника при моделировании плодоношения : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Душанбе, 2007. 23 с.
13. Fageria N. K., Baligar V. C., Clark R. B. Physiology of crop production. N.Y. : Food Product Press, 2006. 235 p.
14. Голуб Н. А. Параметры первичной корневой системы озимой пшеницы и возможности их использования в оценке сортов // Физиология продуктивности и устойчивости зерновых культур : сб. науч. тр. Краснодар : Краснодарский НИИ сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко, 1988. С. 42–47.
15. Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Миронова Н. В., Крылатова Я. Г., Жестовская Е. С. Влияние предпосевной обработки (тио)семикарбазонами 2,4-диарил-бицикло[3.3.1]нон-2-ен-9-онов на рост *Triticum aestivum* L. // Бюл. бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2019. Т. 17, вып. 2. С. 124–132. DOI: 10.18500/1682-1637-2019-2-3-124-132
16. Полевой В. В. Фитогормоны. Л. : Изд-во ЛГУ, 1982. 249 с.
17. Лисицын Е. М. Показатели развития корневых систем в эдафической селекции ячменя // Зернобобо-



- вые и крупные культуры. 2018. № 2 (26). С. 66–71. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10019
18. Шейн Е. В., Мазиров М. А., Гончаров В. М., Корчагин А. А., Умарова А. Б., Зинченко С. И. Агрофизика : учеб. пособие. Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. 92 с.
19. Странко А. М., Касаткин М. Ю., Степанов С. А. Влияние света на морфогенез пшеницы // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 4. С. 411–414.
20. Шевлягина О. Ф., Коробко В. В. Особенности роста этилированных растений в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 170–176. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-170-176>

Образец для цитирования:

Шевлягина О. Ф., Коробко В. В. Особенности реализации донорно-акцепторных отношений при нарушении целостности зародышевой корневой системы проростка *Triticum aestivum* L. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 219–225. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-219-225>

Some Features of Implementation of Source-Sink Relations in Violation of the Integrity of the Root System of Seedlings of *Triticum aestivum* L.

O. F. Shevlyagina, V. V. Korobko

Olesya F. Shevlyagina, <https://orcid.org/0000-0001-8415-4610>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, oshevlyagina@mail.ru

Valeria V. Korobko, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, v.v.korobko@mail.ru

The object of the study was sprouts of spring soft wheat *Triticum aestivum* L. Cultivation was carried out in a climatic chamber at a temperature of $18 \pm 1^\circ\text{C}$ under the conditions of a sixteen-hour photoperiod and complete etiolation. The experiment was carried out in the following options: removed the main germinal root; decapitation; removed the lower tier of germinal roots. Removing part of the root system of plants cultivated under a sixteen-hour photoperiod increases the root index and reduces the total length of the root system. With the removal of the main root and the roots of the lower tier, the root availability index of plants grown during the sixteen-hour photoperiod does not change significantly, while decapitation leads to a decrease in the root availability index. Violation of the integrity of the root system of etiolated seedlings leads to a decrease in the mass of the seedling and the root support index in plants lacking a lower pair of roots; increase root supply of the seedling when removing the main root. Removing the tip of the main root contributes to an increase in the root index without having a statistically significant effect on the length of the root system, the mass of seedlings and roots, and the mass ratio of root / shoot.

Keywords: etiolation, wheat morphogenesis, donor-acceptor relationship, the root-to-shoot ratio etiolation, light factor, wheat morphogenesis, *Triticum aestivum* L.

Received: 01.02.2020 / Accepted: 11.02.2020 / Published: 01.06.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Reference

1. Gamaley Yu. V. Photosynthesis and export of photo-synthetics. The development of the transport system and donor-acceptor relations. *Plant Physiology*, 1998, vol. 45, iss. 4, pp. 614–631 (in Russian).
2. Evdokimova O. A., Zakharchenko H. A., Kumakov V. A. The sequence and conjugation of the growth of the vegetative organs of the shoot of *Triticum aestivum* and *Triticum durum* (Poaceae). *Botanical Journal*, 2000, vol. 85, iss. 3, pp. 59–64 (in Russian).
3. Carmi A., Hesketh J. D., Enos W. T., Peters D. B. Interrelationships between shoot growth and photosynthesis, as affected by root growth restriction. *Photosynthetica*, 1983, vol. 17, pp. 240–245.
4. Kharkina T. G., Ottosen C.-O., Rosenqvist E. Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants. *Physiol. Plantarum*, 1999, iss. 105, pp. 434–441.
5. Shevlyagina O. F., Korobko V. V. Nekotoryye osobennosti rosta *Triticum aestivum* L. v aspekte realizatsii donorno-aktseptornykh otnosheniy [Some features of the growth of *Triticum aestivum* L. in the aspect of the implementation of donor-acceptor relations]. In: *Zhivyye sistemy – 2019: sb. nauch. st.* [Living Systems – 2019: collection of scientific articles]. Saratov, Amirit Publ., 2019, pp. 53–54 (in Russian).
6. Bobodzhanova M. D. *Donorno-aktseptornyye otnosheniya fotosinteticheskogo apparata i plodovyykh organov u raznykh sortov srednevoloknistogo khlopchatnika* [Donor-acceptor relations of the photosynthetic apparatus and fruit organs in different varieties of medium fiber cotton]. Thesis Dis. Cand. Sci. (Biol.). Dushanbe, 1997. 24 p. (in Russian).
7. Kiriziy D. A. Influence of shading defoliation on photosynthesis and productivity in the system of donor-acceptor relations of plant organism. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 2003, vol. 35, iss. 2, pp. 95–107 (in Russian).
8. Reddy P. J., Rao D. V. S., Rao G. R., Mahalakshmi B. K. Effect of defoliation on the growth and yield of new plant types of blackgram. *Indian J. Plant. Physiol.*, 2000, vol. 5, iss. 1, pp. 99–100.
9. Kazaryan V. O., Oganyan A. S. Influence of darkening of stems on the vital activity of plants *Helianthus annuus* (Asteraceae). *Botanical Journal*, 1989, vol. 74, iss. 8, pp. 1160–1165 (in Russian).
10. Kiriziy D. A., Gulyaev B. I. Sugar beet productivity under various conditions. lighting. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 1993, vol. 25, iss. 2, pp. 187–192 (in Russian).



11. Hachaturov E. G., Khachaturov E. G., Korobko V. V., Stepanov S. A. Formation of the germ of the weevil during shading of the nodes of the stem *Triticum aestivum* L. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*, 2019, vol. 17, iss. 2, pp. 171–178. DOI: <https://doi.org/10.18500/1682-1637-2019-2-3-171-178>
12. Giyasidinov B. B. *Pokazateli fotosinteza i donorno-aktseptornykh otnosheniy u raznykh genotipov khlochatnika pri modelirovanii plodonosheniya* [Indicators of photosynthesis and donor-acceptor relations in different cotton genotypes in fruiting modeling]. Thesis Dis. Dr. Sci. (Biology). Dushanbe, 2007. 23 p.
13. Fageria N. K., Baligar V. C., Clark R. B. *Physiology of Crop Production*. New York, Food Product Press, 2006. 235 p.
14. Golub N. A. Parametry pervichnoy kornevoy sistemy ozimoy pshenitsy i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya v otsenke sortov [Parameters of the primary root system of winter wheat and the possibility of their use in the evaluation of varieties]. In: *Fiziologiya produktivnosti i ustoychivosti zernovykh kul'tur : sb. nauch. tr.* [Physiology of Productivity and Stability of Grain Crops. Collected papers]. Krasnodar, Krasnodarskiy NII sel'skogo khozyaistva im. P. P. Lukyanenko, 1988, pp. 42–47 (in Russian).
15. Korobko V. V., Pchelintseva N. V., Mironova N. V., Krylatova Ya. G., Zhestovskaya E. S. Effect of presowing treatment of (thio) with hemicarbazones 2,4-diaryl-bicyclo [3.3.1] non- 2-en-9-ones on the growth of *Triticum aestivum* L. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*, 2019, vol. 17, iss. 2, pp. 124–132 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1682-1637-2019-2-3-124-132>
16. Polevoy V. V. *Fitogormony*. [Phytohormones]. Leningrad, Izd-vo LGU, 1982. 249 p. (in Russian).
17. Lisitsyn E. M. Indicators of the development of root systems in edaphic selection of barley. *Legumes and Large Crops*, 2018, vol. 2, iss. 26, pp. 66–71 (in Russian). DOI: [10.24411 / 2309-348X-2018-10019](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10019)
18. Shein Ye. V., Mazirov M. A., Goncharov V. M., Korchagin A. A., Umarova A. B., Zinchenko S. I. *Agrofizika* [Agrophysics]. Vladimir, Izd-vo VIGU, 2014. 92 p. (in Russian).
19. Strapko A. M., Kasatkin M. Yu., Stepanov S. A. Light influence on morphogenesis wheat. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2016, vol. 16, iss. 4, pp. 411–414 (in Russian). DOI: [10.18500/1816-9775-2016-16-4-411-414](https://doi.org/10.18500/1816-9775-2016-16-4-411-414)
20. Shevlyagina O. F., Korobko V. V. Some features of growth of etiolated plants in the aspect of implementation of donor/acceptor relations. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 170–176 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-170-176>

Cite this article as:

Shevlyagina O. F., Korobko V. V. Some Features of Implementation of Source-Sink Relations in Violation of the Integrity of the Root System of Seedlings of *Triticum aestivum* L. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 219–225 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-219-225>
