

## СТРУКТУРНАЯ БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 633.14:[581.823+581.824]+57.013

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ РЖИ

М. Ю. Касаткин, А. М. Каргатова, С. А. Степанов

*Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н. Г. Чернышевского  
Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83  
E-mail: kasatkinmy@info.sgu.ru*

Поступила в редакцию 04.04.2019 г.

После доработки 20.05.2019 г.

Принята к публикации 14.06.2019 г.

Цитофотометрическим методом *in vivo* исследовались спектральные характеристики тканей колеоптиля и листа двухсуточных проростков озимой ржи. Оценивалась оптическая плотность осевого пропускания света видимой области спектра паренхимой и тканями проводящих пучков у проростков, выращенных на свету и в полной темноте. Выявлено, что в условиях этиоляции все изученные ткани имели минимальные средние значения оптической плотности в видимой части спектра по сравнению с таковыми при прорастании в условиях освещения. Отмечено, что при выращивании в полной темноте наиболее оптически плотными ткани являлись в синей области спектра. Установлена тканевая специфичность оптических свойств разных анатомических структур. Выявлено, что наибольшее влияние условия выращивания оказывают на оптические свойства клеток проводящего пучка колеоптиля. Делается предположение, что паренхима колеоптиля не является фотоморфогенетически активной на данном этапе онтогенеза. Показано, что действие светового фактора проявляется как в изменении ультраструктуры ткани, что сказывается на их оптической плотности, так и в новообразовании пигментных систем.

**Ключевые слова:** озимая рожь, колеоптиль, лист, оптические свойства, проводящий пучок.

DOI: 10.18500/1682-1637-2019-2-3-115-123

Физиологическая значимость видимой части электромагнитного спектра для растения в современном понимании определяется тем, что свет является как источником энергии, так и самым быстро меняющимся информативным фактором внешней среды (Dietz, 2015; Vignolini, 2016). Считается, что ответная реакция на воздействие света в большинстве случаев определяется оптическими свойствами растительных тканей, зависящими в свою очередь от содержания пигментов и структурных особенностей клеток (Vogelmann, 1993).

Благодаря изменениям ультраструктуры тканей в процессе онтогенеза и развёртыванию пигментных систем, оптические параметры растительного организма получают возможность адаптивно подстраиваться с малым временем отклика к меняющимся условиям. Определение спектра поглощения видимой части света тканями, т.е. их спектральной характеристики *in vivo*, представляет интерес с целью идентификации механизмов, регулирующих гомеостаз клеток, тканей и органов растения.

Целью настоящего исследования являлось определение спектральных характеристик тканей проростков ржи на свету и в условиях этиоляции.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом изучения являлись проростки озимой ржи сорта Саратовская 7. Семена проращивались в термостатируемых условиях в вермикулите с глубиной заделки 6 см при 18 °С. Источником освещения являлись люминесцентные лампы белого света с максимальной освещённостью 6000 лк.

Изучение спектральных характеристик в области от 380 до 750 нм проводили согласно методики для цитофотометрических исследований (Агроскин, 1977; Merzlyak, 2005). Источником света служила галогеновая лампа накаливания мощностью 75 Вт. Пучок света большой степени монохроматичности ( $\pm 2$  нм) подавался на микроскоп МББ-1А. Для получения света с узкой длиной волны использовался монохроматор спектрофотометра SPEKOL 11. Интенсивность прошедшего через ткани света определяли с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-68 со спектральной чувствительностью, лежащей в области 300–820 нм.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ РЖИ

Временные препараты растительного материала готовили на ручном микротоме. Толщина среза подбиралась таким образом, чтобы оптическая плотность тканей укладывалась в пределы от 0.2 до 0.8, тем самым уменьшая погрешность измерения (Агроскин, 1977). Для сравнения неодинаковых по толщине срезов все значения оптической плотности пересчитывались на 1000 мкм. Оптические свойства тканей изучались через 2-е суток с момента начала опыта в средней части колеоптиля и 1-го листа, находящейся ниже 1 см от верхушки органа.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали исследования, оптические свойства тканей, представленных в колеоптиле и первом листе, существенно различаются. В частности, в условиях этиоляции проводящий пучок листа имеет наибольшую оптическую плотность равную 4.2. Проводящий пучок колеоптиля занимает промежуточное положение по этому показателю (2.9). Паренхима колеоптиля имеет среднюю оптическую плотность 1.6. Изменение средней оптической плотности по участкам спектра, условно разбитую на синюю (400 – 490 нм), жёлто-зелёную (500 – 590 нм) и красную (600 – 700 нм), показывает различие у изученных тканей. В частности, наибольший вклад в оптическую плотность ткани наблюдается в синей области спектра у проводящих пучков колеоптиля и зародышевого листа (рис. 1). Паренхима колеоптиля имеет примерно одинаковую оптическую плотность на всём протяжении видимого спектра. Небольшие пики поглощения обнаруживаются в синей части спектра в проводящем пучке 1-го листа (420, 440 и 480 нм) и колеоптиля (400 и 470 нм).

В условиях освещения ранжированность изученных тканей по величине оптической плотности сохраняется, однако меняется уровень каждого из соответствующих показателей оптической плотности. Наибольшее значение оптической плотности по-прежнему свойственно проводящему пучку листа – 5.4, тогда как проводящий пучок колеоптиля обнаруживает меньшие значения (3.8). Минимальная оптическая плотность среди изученных тканей принадлежит паренхиме колеоптиля – 2.4.

Выявлено влияние условий освещения во вклад различных областей спектра в общую оптическую плотность ткани (рис. 2). Для проводящего пучка и паренхимы колеоптиля в условиях освещения отмечено практически одинаковое поглощение во всём видимом спектре.

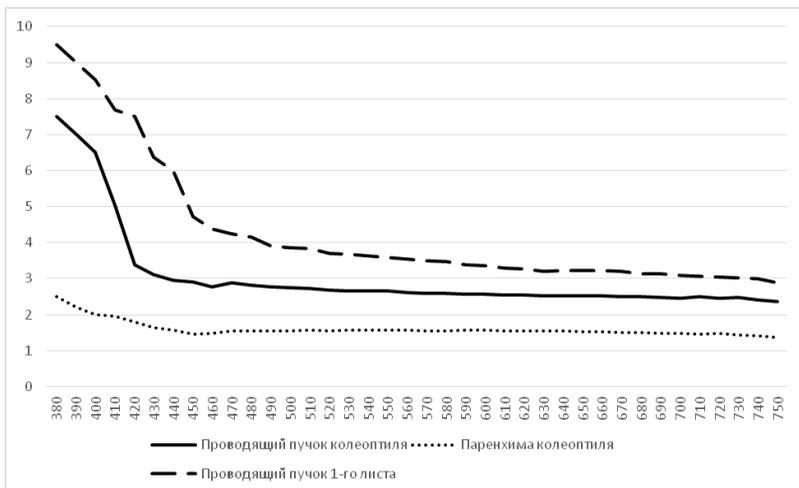


Рис.1. Оптическая плотность тканей проростка в условиях темноты.

Рис.1. The optical density of the tissues of the seedling in dark conditions.

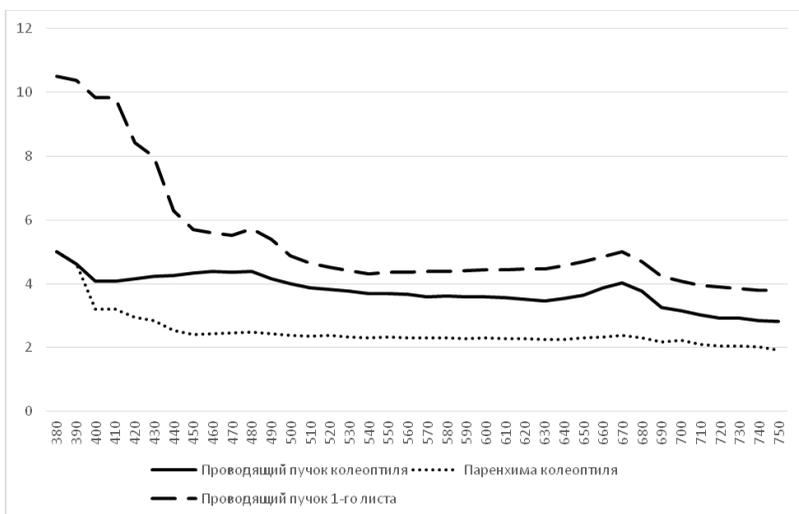


Рис. 2. Оптическая плотность тканей проростка в условиях освещения.

Рис. 2. The optical density of the tissues of the seedling in lighting conditions.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ РЖИ

Оптическая плотность проводящего пучка листа в синей области в 2 раза выше, чем в остальных областях спектра поглощения. Изучение спектральных характеристик тканей в условиях освещения показывает наличие выраженных областей поглощения в проводящем пучке листа в синем участке спектра при 410 и 480 нм, в красной области присутствует пик при 670 – 680 нм. Это указывает на присутствие пигментов фотосинтетического аппарата и связано с рассеиванием световых лучей из прилегающего мезофилла. Присутствие следов пигментов фотосинтеза отмечено также и в проводящем пучке колеоптиля из-за влияния хлорофиллоносной обкладки.

Изменчивость оптических свойств растительных органов в первую очередь связывают с механизмами адаптации к внешним факторам. Считается, что условия внешней среды могут влиять на состав пигментных систем растительных органов (Физиология..., 2005). Имеются также данные, свидетельствующие о том, что немалый вклад в оптические свойства растительных тканей вносят морфологические и анатомические особенности ультраструктуры клеток (Vogelmann, 1993).

С другой стороны, следует различать два вида адаптации – филогенетическую и онтогенетическую, имеющих разные временные масштабы (Рабинович, 1951). Онтогенетическая адаптация, в свою очередь, может также складываться из процессов разных уровней иерархии – одни онтогенетические приспособления медленны и устойчивы, другие сравнительно быстрые и обратимые. Медленные процессы, как правило, связаны с формированием структуры растительных фитомеров в онтогенезе и определяются, в основном, функционированием генетической подсистемы. Более быстрые процессы формируют динамическое равновесие образования и распада того или иного пигмента.

В то же время, существуют адаптационные механизмы со временем отклика на внешнее воздействие от нескольких секунд до часов (конформационные перестройки пигмент-белковых комплексов, изменение pH внутренней среды определённого компартмента, движение хлоропластов). С учётом выше изложенного, можно предположить, что оптические свойства этиолированных тканей являются филогенетической адаптацией. Данный тип адаптации предоставляет некую базовую совокупность физиологических ответных реакций, на которой надстраиваются процессы онтогенетической адаптации. Действительно, в условиях этиоляции все изученные ткани имели минимальные

средние значения оптической плотности в видимой части спектра по сравнению с таковыми, отмеченными при прорастании в условиях освещения. Полученные данные свидетельствуют о том, что свет повышает оптическую плотность ткани и приводит к появлению новых пигментных систем.

Анализ изменения оптических свойств и характера спектральных кривых растительных тканей позволяет оценить и её физиологическую активность, а также тип основного процесса. Паренхима колеоптиля поглощает свет примерно одинаково на всём видимом участке спектра как в условиях этиоляции, так и при освещении. Различие между вариантами опыта заключается в изменении уровня спектральных кривых, но не их формы. Следовательно, основной вклад в оптические свойства этой ткани вносят цитоморфологические изменения клеток, а не перестройки или новообразование пигментных систем (Vogelmann, 1993). Таким образом, паренхима колеоптиля не является фотоморфогенетически активной на данном этапе онтогенеза.

Проводящий пучок колеоптиля, как и его паренхима, обнаруживает одинаковую оптическую плотность, начиная с 420 нм в условиях этиоляции и при освещении. В отличие от паренхимы колеоптиля, в проводящем пучке этиолированных тканей отмечен участок с высокой оптической плотностью в синей области спектра (380 – 420 нм), который практически пропадает в условиях освещения. Выращивание на свету приводит к новообразованию пигментов фотосинтетического аппарата в клетках обкладки пучка как колеоптиля, так и листа. Необходимо отметить, что общая форма кривой спектральных характеристик проводящего пучка листа не меняется по вариантам опыта – в условиях освещения появляются только небольшие области поглощения при 480 и 680 нм. Таким образом, фотоморфогенетически активными является обкладка проводящих пучков колеоптиля и 1-го листа.

## **ВЫВОДЫ**

1. В условиях этиоляции наиболее оптически плотными в синей области спектра являются ткани проводящих пучков колеоптиля и первого листа.

2. Действие светового фактора на проростки проявляется как в изменении ультраструктуры ткани, что сказывается на их средней оптической плотности, так и в новообразовании пигментных систем.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ РЖИ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Агроскин Л. С., Папаян, Г. В.* Цитофотометрия. Аппаратура и методы анализа клеток по светопоглощению. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1977, 295 с.

*Касаткин М. Ю., Степанов С. А., Страпко А. М.* Влияние этиоляции на спектральные характеристики тканей колеоптиля и эпикотили пшеницы // Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета. 2017. Т. 15, вып. 1. С. 50 – 59.

*Рабинович Е.* Фотосинтез. Том I. М.: Иностранная литература, 1951. 648 с.

Физиология растений / Под ред. Ермакова И. П. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 640 с.

*Dietz K.-J.* Efficient high light acclimation involves rapid processes at multiple mechanistic levels // Journal of Experimental Botany. 2015. Vol. 66, № 9. P. 2401 – 2414.

*Merzlyak M. N., Solovchenko A. E., Smagin A. I., Gitelson A. A.* Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment // Journal of Plant Physiology. 2005. Vol. 162, № 2. P. 151 – 160.

*Vignolini S., Moyroud E., Glover B. J., Steiner U.* Analysing photonic structures in plants // Journal of the Royal Society Interface. 2013. Vol. 10. P. 1 – 9.

*Vogelmann T. C.* Plant tissue optics // Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 1993. Vol. 44. P. 231 – 251.

---

### Образец для цитирования:

*Касаткин М. Ю., Карзатова А. М., Степанов С. А.* Спектральные характеристики тканей проростков ржи // Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2019. Т. 17, вып. 2 – 3. С. 115 – 123. DOI: 10.18500/1682-1637-2019-2-3-115-123.

М. Ю. Касаткин, А. М. Каргатова, Степанов С. А.

## THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE TISSUE SEEDLINGS OF RYE

M. Yu. Kasatkin, A. M. Kargatova, S. A. Stepanov

*N. G. Chernyshevsky Saratov State University*  
83 Astrakhanskaya Str., Saratov 410012, Russia  
E-mail: kasatkinmy@info.sgu.ru

Received April 4, 2019; Revised May 20, 2019; Accepted June 14, 2019

An *in vivo* cytophotometric method was used to study the spectral characteristics of coleoptile tissue and a leaf of two-day seedlings of winter rye. The optical density of axial transmittance of light in the visible region of the spectrum by parenchyma and tissues of conducting beams in seedlings grown in light and in complete darkness was estimated. It was revealed that under conditions of etiolation all the studied tissues had minimal average values of optical density in the visible part of the spectrum as compared to those during germination under illumination conditions. The tissue specificity of the optical properties of different anatomical structures has been established. It was revealed that the growing conditions have the greatest influence on the optical properties of the cells of the conducting coleoptile bundle. It is suggested that the coleoptile parenchyma is not photomorphogenetically active at this stage of ontogenesis. It has been shown that the effect of the light factor is manifested both in a change in the ultrastructure of the tissue, which affects their optical density, and in the new formation of pigment systems.

**Key words:** winter rye, coleoptile, leaf, optical properties, conducting beam.

DOI: 10.18500/1682-1637-2019-2-3-115-123

### REFERENCES

- Agroskin L. S., Papayan, G. V. *Cytophotometry. Equipment and methods of analysis of light absorption cells*. Leningrad: Nauka Publ., 1977. 295 p. (in Russian).
- Dietz K.-J. Efficient high light acclimation involves rapid processes at multiple mechanistic levels. *Journal of Experimental Botany*, 2015, vol. 66, iss. 9, pp. 2401 – 2414.
- Kasatkin M. Yu., Stepanov S. A., Strapko M. A. The Influence of etiolation on the spectral characteristics of the tissues of the epicotyl and coleoptile of wheat. *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*, 2017. vol. 15, iss. 1, pp. 50 – 59. (in Russian).
- Merzlyak M. N., Solovchenko A. E., Smagin A. I., Gitelson A. A. Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕЙ ПРОРОСТКОВ РЖИ

for non-destructive assessment. *Journal of Plant Physiology*, 2005, vol. 162, iss. 2, pp. 151 – 160. (in Russian).

*Plant physiology*. Ed. Ermakov I. P. Moscow: Publishing Center “Academy”, 2005. 640 p.

Rabinovich E. *Photosynthesis. Volume 1*. Moscow: Foreign literature Publ., 1951. 648 p. (in Russian).

Vignolini S., Moyroud E., Glover B. J., Steiner U. Analysing photonic structures in plants. *Journal of the Royal Society Interface*, 2013, vol. 10, pp. 1 – 9.

Vogelmann T. C. Plant tissue optics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1993, vol. 44, pp. 231 – 251.

---

### **Cite this article as:**

Kasatkin M. Yu., Kargatova A. M., Stepanov S. A. The spectral characteristics of the tissue seedlings of rye. *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*, 2019, vol. 17, iss. 2 – 3, pp. 115 – 123. (in Russian).

DOI: 10.18500/1682-1637-2019-2-3-115-123.