

АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 633.11:[581.823+581.824]+578.686

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ФИТОМЕРОВ ПОБЕГА В ОНТОГЕНЕЗЕ ПШЕНИЦЫ

М. Ю. Касаткин, Н. А. Загнухина, С. А. Степанов

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

Поступила в редакцию 25.09.2017 г.

Изменение спектральных характеристик тканей элементов фитомеров побега в онтогенезе пшеницы. – Касаткин М. Ю., Загнухина Н. А., Степанов С. А. – Цитофотометрическим методом исследовались оптические свойства тканей эпикотилия, узла колосонесущего междоузлия и колосонесущее междоузлие яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Оценивалась спектральная характеристика осевого пропускания света области от 380 до 750 нм паренхимой, тканями проводящего пучка, колленхимой и склеренхимой. Установлена тканевая специфичность оптических свойств разных анатомических структур и их изменение в ходе онтогенеза. Эпикотиль в фенофазу отгиба 4-го листа в паренхиме коры имеет небольшую область поглощения при 430 и 450 нм. В склеренхиме обнаружена область поглощения при 460 нм. В конце вегетации в паренхиме коры эпикотилия происходило смещение области поглощения к 410 нм. В склеренхиме исчезает область поглощения при 460 нм. Исследование узла колосонесущего междоузлия в фенофазу отгиба 4-го листа в начале вегетации установило в его паренхиме чёткие спектры поглощения пигментов фотосинтетического аппарата при 430, 480 и 680 нм, сохраняющиеся к концу вегетации. Отмечено многократное (в 2 – 3 раза) повышение оптической плотности тканей узла колосонесущего междоузлия, которое объясняется оптическим экранированием физиологически важных структур растения. Делается вывод о том, что оптические свойства исследованных структур имеют тканеспецифичность и проявляют зональную приуроченность. Значительные изменения спектральных характеристик тканей узла колосонесущего междоузлия связывают с особой чувствительностью

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОНТОГЕНЕЗЕ

их клеточных структур к действию светового фактора. Делается предположение о значимости поддержания константности светового градиента в узловой зоне побега пшеницы и о высокой активности анатомо-морфологических перестроек её клеток в процессе онтогенеза.

Ключевые слова: яровая пшеница, стебель, оптические свойства, проводящий пучок, колленхима, склеренхима.

Changes in the spectral characteristics of the tissues of shoot phytomers in the wheat ontogenesis. – Kasatkin M. Y., Zagnuhina N. A., Stepanov S. A. – The optical properties of the tissues of the epicotyl, the node of the head internode, and the head internode of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) were studied by the cytophotometric method. The spectral characteristic of the axial light transmission of the region from 380 to 750 nm was studied by parenchyma, by the tissues of the vascular bundle, by collenchyma and sclerenchyma. The tissue specificity of the optical properties of different anatomical structures and their change during ontogenesis is established. Epicotyl in the bending of the 4th leaf phenophase in the cortical parenchyma has a small absorption region at 430 and 450 nm. In sclerenchyma, an absorption region was observed at 460 nm. At the end of vegetation, the absorption region shifted to 410 nm in the epicotyl bark parenchyma. In sclerenchyma, the absorption region disappears at 460 nm. The study of the node of the head internode in the bending of the 4th leaf phenophase at the beginning of the vegetation established in its parenchyma the clear absorption spectra of the pigments of the photosynthetic apparatus at 430, 480, and 680 nm, remaining at the end of the growing season. A multiple (2 – 3 times) increase in the optical density of the tissues of the node of the head internode has been noted, which is explained by the optical screening of physiologically important plant structures. It is concluded that the optical properties of the investigated structures have a tissue-specificity and exhibit a zonal confinement. Significant changes in the spectral characteristics of the tissues of the node of the head internode are associated with the special sensitivity of their cellular structures to the action of the light factor. The assumption is made about the importance of maintaining the constancy of the light gradient in the nodal zone of the wheat stem and the high activity of anatomo-morphological adaptive changes of its cells during ontogenesis.

Key words: spring wheat, stem, optical properties, vascular bundle, collenchyma, sclerenchyma.

DOI: 10.18500/1682-1637-2017-15-3-58-65

Проблема целостности растительного организма является центральной для современной биологии растений. Тезис о том, что сигналы межклеточной регуляции (в первую очередь трофические, гормональные и электрофизиологические) распространяются по проводящим пучкам и действуют через мембранную, метаболическую и генетическую внутриклеточные системы регуляции является определяю-

щим на текущем этапе развития физиологии растений (Полевой, 2001; Степанов, 2008). Дальнейшее направление исследований вопросов данной тематики показывает, что роль света в межклеточной сигнализации посредством оптико-волоконных каналов приобретает общебиологическое значение (Sun, 2005; Kumar, 2016).

Особенности взаимодействия проводящих пучков в стебле растения имеют наибольшую топологическую сложность в узловой зоне побега, что делает эту структуру наиболее подходящей в качестве центра интеграции фитомеров (Эсау, 1969; Степанов, 2008). Наложение оптических градиентов тканей на анатомическую сложность узла увеличивает число степеней свободы в регуляции данной структуры.

Целью данной работы явилось изучение оптических свойств тканей элементов фитомеров пшеницы в онтогенезе.

Материал и методы

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. Объектом изучения явилась яровая пшеница *T. aestivum* L. сорта Саратовская 29 из лаборатории селекции пшеницы НИИСХ Юго-Востока (Саратов). Растения выращивались на богарных условиях.

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

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.

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОНТОГЕНЕЗЕ

Микрофотографирование осуществляли на микроскопе БИО-МЕД 6 с помощью цифровой камеры Touptek Photonics UCMS05100KPA (5.1 МРх), подключённой через специальный адаптер FMA050 к микроскопу.

Результаты и их обсуждение

Для определения оптических свойств тканей исследовались поперечные срезы эпикотилия, колосонесущего междоузлия и его узла (рис 1.). В начале вегетации средняя оптическая плотность паренхимы коры в средней части эпикотилия составляла 2.59 ± 0.12 . Анализ спектральных характеристик данной ткани показал наличие небольшой области поглощения при 430 и 450 нм. Проводящий пучок эпикотилия на данном этапе онтогенеза имел среднюю оптическую плотность равную 4.11 ± 0.24 и обнаруживал хорошо выраженные пики поглощения при 410 и 500 нм. Оптическая плотность склеренхимы в указанном органе отмечена в среднем при 3.46 ± 0.16 , что составляет промежуточные значения в сравнении с остальными изученными тканями. В склеренхиме обнаружена область поглощения при 460 нм.

В конце вегетации средняя оптическая плотность паренхимы коры в средней части эпикотилия составляла 2.43 ± 0.09 . Анализ спектральных характеристик данной ткани показал смещение области поглощения к 410 нм. Проводящий пучок эпикотилия на данном этапе онтогенеза имел среднюю оптическую плотность равную 3.33 ± 0.17 и обнаруживал сохранение хорошо выраженного пика поглощения при 410, однако второй пик поглощения смещался в более длинноволно-

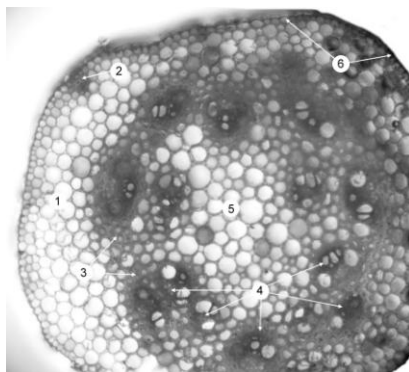


Рис. 1. Поперечный срез средней части эпикотилия пшеницы (увеличение 10×10):

- 1 – клетки коровой паренхимы,
- 2 – проводящий пучок коры,
- 3 – склеренхима центрального цилиндра, 4 – проводящие пучки,
- 5 – паренхима центрального цилиндра, 6 – клетки эпидермиса

вую сторону и приобретал более широкую область при 460 – 470 нм. Оптическая плотность склеренхимы в указанном выше органе отмечена в среднем 3.13 ± 0.22 . Характер спектральной кривой поглощения становится более гладкий: исчезает отмеченная на более ранних этапах развития эпикотили область поглощения при 460 нм, что приводит к выравниванию оптической плотности в более длинноволновых областях в пределах 3.0.

Исследование верхнего узла, под междоузлием колосоножки, в фенофазу отгиба 4-го листа, установило в его паренхиме чёткие спектры поглощения пигментов фотосинтетического аппарата при 430, 480 и 680 нм (рис. 2).

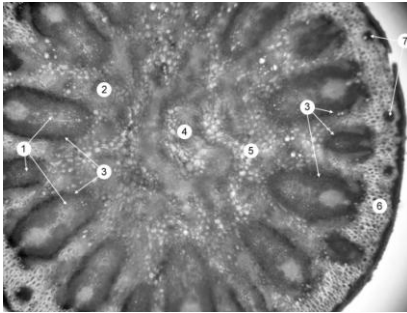


Рис. 2. Поперечный срез средней части верхнего узла стебля пшеницы (увеличение 4×10):

- 1 – проводящий пучок;
- 2 – паренхима;
- 3 – хлорофиллоносная обкладка пучка; 4 – склеренкиды;
- 5 – центральная паренхима узла;
- 6 – склеренхимная обкладка;
- 7 – проводящие пучки влагалища флагового листа.

терные для пигментов фотосинтетического аппарата, локализованных в паренхимных клетках.

Склеренхима в средней части узла в конце вегетации имеет оптическую плотность для исследованного участка спектра 6.51 ± 0.32 . У проводящего пучка это значение оказалось равным примерно

Средняя оптическая плотность клеток хлорофиллоносной паренхимы составляла 3.45 ± 0.23 . Проводящий пучок указанного выше узла обнаружил среднюю оптическую плотность в исследованном диапазоне длин волн видимого участка спектра равной 3.08 ± 0.14 . На спектральной кривой присутствовал лишь один пик поглощения при 410 нм. Склеренхима узла имеет среднюю оптическую плотность 2.93 ± 0.25 . Из-за особенности архитектуры тканей в месте исследования часть проходящего светового потока из нижележащих и прилегающих слоёв клеток спектральные характеристики склеренхимы имеют небольшие участки поглощения, харак-

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОНТОГЕНЕЗЕ

10.03 ± 0.24 . Межпучковая паренхима имела сходное в пределах ошибки значение оптической плотности 10.19 ± 0.60 . Данное многократное повышение (2 – 3 раза) оптической плотности можно объяснить оптическим экранированием физиологически важных структур растения, что было ранее описано для других групп растений (Соловченко, Мерзляк, 2010). Это может косвенно свидетельствовать о значимости поддержания константности светового градиента в узловой зоне побега пшеницы и о высокой активности анатомо-морфологических перестроек клеточных структур в процессе онтогенеза.

В верхней части узла, в области влагилищной подушки флагового листа, нами отмечено присутствие колленхимы, средняя оптическая плотность которой составляет 1.94 ± 0.07 . Склеренхима в этой части узла показала меньшую среднюю оптическую плотность (4.55 ± 0.17) в сравнении с описанным ранее значением. Оптическая плотность проводящего пучка также меньше измеренной в средней части узла и составляет 5.42 ± 0.23 .

Спектральные характеристики изученных тканей узла выявили присутствие в них разных пигментных систем. В склеренхиме в верхней и средней частях узла обнаружен пик поглощения в районе 460 – 470 нм, что визуальным образом подтверждается желтоватой окраской этой ткани на препарате. Начиная примерно с 550 нм и до конца изученного спектра (750 нм) в обеих частях узла склеренхима не обнаруживает присутствие пигментов, кривая поглощения имеет гладкий вид с оптической плотностью около 4.0 и 6.0 для верхней и средней частей узла соответственно. Спектральные характеристики тканей проводящего узла не подтверждают присутствие каких-либо пигментных систем. Межпучковая паренхима обнаруживает характерные для хлорофиллов пики поглощения в синей (область 410 нм) и красной (660 нм) областях. При исследовании оптических характеристик колленхимы были обнаружены небольшие области поглощения, также характерные для хлорофиллов, что, по нашему мнению, объясняется рассеиванием света близлежащими паренхимными клетками, богатыми пигментами фотосинтеза – хлорофиллами и каротиноидами.

Исследование оптических свойств тканей колосонесущего междоузлия также проводилось для различных его тканей: паренхимы, склеренхимы, флоэмы и ксилемы проводящих пучков, хлоренхимы (рис3.).

В фенофазу отгиба 4-го листа среднее значение оптической плотности склеренхимы составляло 3.48 ± 0.14 . Спектральные её свойства характеризовались наличием следов пигментов хлорофилльной природы, причины присутствия которых уже обсуждались выше. Проводящий пучок имел среднюю оптическую плотность в пределах 3.55 ± 0.20 . Характерных пиков поглощения отмечено не было.

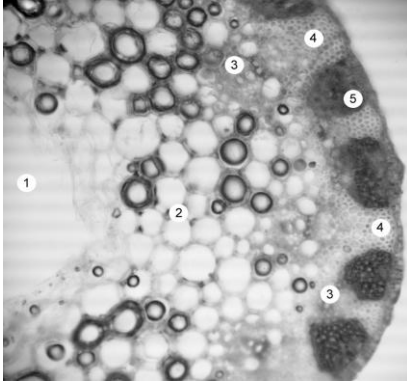


Рис. 3. Поперечный срез верхней части колосонесущего междоузлия (увеличение 10×10):

- 1 – центральная полость междоузлия стебля;
- 2 – паренхимные клетки;
- 3 – проводящий пучок;
- 4 – склеренхима; 5 – хлоренхима

Таким образом, оптические свойства исследованных структур имеют тканеспецифичность и проявляют зональную приуроченность. Наибольшим изменениям в онтогенезе подвержены спектральные характеристики тканей колосонесущего узла. Оптическая плотность тканей узла выше по сравнению с остальными исследованными органами примерно в 3 раза, что сви-

детельствует об активации функции оптического экранирования.

Список литературы

- Агроскин Л. С., Папаян, Г. В.* Цитофотометрия. Аппаратура и методы анализа клеток по светопоглощению. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1977. 295 с.
- Полевой В. В.* Физиология целостности растительного организма // Физиология растений. 2001. Т. 48, № 4. С. 631 – 643.
- Соловченко А. Е., Мерзляк М. Н.* Оптическое экранирование как фотозащитный механизм растений. М.: А-Литера, 2010. 164 с.
- Степанов С. А.* Проблема целостности растения на современном этапе развития биологии // Известия Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология. 2008. Т. 8, вып. 2. С. 50 – 57.
- Эсау К.* Анатомия растений. М.: Мир, 1969. 564 с.
- Kumar S., Boone K., Tuszyński J.* Possible existence of optical communication channels in the brain, 2016 (<http://dx.doi.org/10.1101/062745>)

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОНТОГЕНЕЗЕ

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 // J. Plant Physiol. 2005. V. 162 (2). P. 151–160.

Sun Q., Yoda K., Suzuki H. Internal axial light conduction in the stems and roots of herbaceous plants // J. Exp. Bot. 2005. Vol. 56, № 409. P. 191–203.