

Таким образом, на основании проведённых исследований можно заключить, что семена рододендронов Макино, Смирнова, Уорда, японского, кэтевбинского обладают высоким уровнем пластичности и могут успешно прорасти на воде в диапазоне рН от 5,8 до 7,7. Проращение семян для большинства опытных растений на КС, при рН воды равной 7,0, следует считать оптимальным. Большой размер проростков у исследуемых видов рододендронов, выращенных на СС и ЗС, возможно, обусловлен более низкой интенсивностью света относительно варианта КС.

### Литература

Францева О.В., Спивак В.А. Реакция пигментов фотосинтетического аппарата листьев укореняющихся брахибластов *Ginkgo biloba* L. на факторы внешней среды // Бюлл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. – Саратов: «Научная книга», 2003. - Вып.2. - С.261-267.

Александрова М. С. Рододендроны. – М.: ЗАО «Фитон +», 2001. – 192с.

Шапиро Т.Е. Некоторые закономерности фоторегуляции биологических процессов, происходящих после релаксации фитохромной системы // Физиология растений. Т.37, вып. 4, 1990. – С. 682 – 689.

Уоринг Ф., Филипс И. Рост растений и дифференцировка. – М.: Мир, 1984. – 512 с.

УДК 633.11: 581.142

## ФОТОРЕГУЛЯТОРНЫЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИИ КОЛЕОПТИЛЯ ПШЕНИЦЫ

М.Ю. Касаткин, С.А. Степанов

*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского 410080 Саратов, ул. Астраханская 83, e-mail: stepanovsa@info.sgu.ru*

Множество факторов окружающей среды влияют на морфогенез растения, однако основным из них, регулирующим рост и развитие побега, является свет. От интенсивности и продолжительности освещения, от качества света зависят, в конечном итоге, форма растения и его продуктивность (Добрынин, 1969; Шахов, 1993).

При проращении семени пшеницы основным светочувствительным органом считается coleoptile. От освещения верхушки coleoptile зависят как его рост, так и рост междоузлия первого листа — эпикотилия, выносящего главную зародышевую почку ближе к поверхности почвы. При затенении coleoptile узел кущения может выноситься на поверхность почвы (Смирнов, 1939). До настоящего времени вопрос о механизме данного процесса является дискуссионным.

Для выяснения механизма работы системы, регулирующей рост coleoptile и эпикотилия, в ходе исследования решались следующие задачи: определить влияние света на рост разных частей проростка; выявить оптические свой-

ства колеоптиля.

### Материал и методика

В качестве объекта исследования была взята пшеница *Triticum aestivum* L. сорта Саратовская 36. Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений СГУ. Семена пшеницы проращивались в чашках Петри на увлажнённой фильтровальной бумаге в полной темноте в термостатируемых условиях. Половина из них через 84 часа после замачивания была подвергнута однократному двухчасовому освещению белым светом (интенсивность освещения 5000 лк). Через каждые 12 часов определялись следующие морфометрические показатели роста проростков пшеницы: длина колеоптиля, главного корня, первой и второй пары зародышевых придаточных корней, первого листа и эпикотили. В дальнейшем рассчитывалась средняя скорость роста каждой из частей проростка за данный отрезок времени. Оптические свойства колеоптиля исследовались при помощи бинокулярной лупы МБС-9.

### Результаты и обсуждение

Результаты морфометрического эксперимента показали, что скорость роста корней и первого листа подчинена периодическим колебаниям. Ростовая активность главного корня и первой пары придаточных корней была строго синхронизирована. Вторая пара придаточных зародышевых корней сначала отставала в росте, а затем их рост был согласован с ростом главного корня. После освещения амплитуда колебаний скорости роста корней и первого листа уменьшалась.

Активация ростовой активности эпикотили происходила через 72 часа от посева семян. Длина колеоптиля к этому моменту была  $50,4 \pm 5,1$  мм. В темноте замедление роста колеоптиля осуществлялось после того, как он достигал длины  $99,2 \pm 4,6$  мм. После освещения наблюдалось торможение роста колеоптиля и эпикотили.

Исследование регуляции ростовой активности эпикотили (Смирнов, 1939; Степанов и др., 2005) позволяет предположить, что ткани колеоптиля способны проводить свет с поверхности почвы непосредственно к тканям эпикотили. Это, несомненно, должно отразиться на специфике анатомического строения колеоптиля и его оптических свойствах. Для проверки этой гипотезы была сконструирована специальная установка на базе лупы МБС-9, в которой верхушка колеоптиля освещалась узким пучком света, а его прохождение регистрировалось фотоаппаратом на базальном конце колеоптиля (время экспозиции — 40 мин, чувствительность пленки — 250 ед. ГОСТа). С помощью этой установки была исследована светопроводимость тканей колеоптиля в зависимости от угла, под которым луч падал на верхушку.

При направлении падающего луча перпендикулярно оси колеоптиля ( $90^\circ$ ) свет по тканям не проходил. При падении луча под углом  $45^\circ$  прохождение света регистрировалось на базальном конце колеоптиля, причем сторона, обра-

щенная к свету, была освещена интенсивнее. При освещении верхушки колеоптиля пучком света параллельной его оси ( $0^\circ$ ) свечение базального конца было равномерным.

Распространение света внутри этого органа, как показали наши исследования, зависит от места оптического входа световых лучей и угла их наклона относительно продольной оси проростка. При латеральном освещении отрезка колеоптиля узким пучком белого света с диаметром 50 мкм в области ниже его апикальной части, регистрировалось свечение сегмента колеоптиля шириной 1 мм. Максимальную яркость имел участок ткани, непосредственно примыкавший к лучу. Поперечный срез данных отрезков оставался темным в поле зрения микроскопа. Это свидетельствовало, что свет проходит через ткани колеоптиля и распространяется в осевом направлении от места входа максимально на 1 мм. Таким образом, при угле падения световых лучей в  $0^\circ$  относительно нормали к поверхности колеоптиля, физиологическое действие света будет наблюдаться только в месте его входа в ткань. При увеличении угла падения увеличивается доля света, распространяющегося в тканях колеоптиля. Максимальное количество света, проводимого в осевом направлении по тканям, регистрировалось на торцевом срезе колеоптиля при углах падения световых лучей  $50\text{--}60^\circ$ . Дальнейшее увеличение угла падения снижало интенсивность светового потока в тканях.

На основании полученных результатов нами были проведены математические расчеты, позволяющие оценить светопропускание тканей колеоптиля. Известно (Ландсберг, 1976), что при попадании света на границу раздела двух фаз происходит его отражение и преломление. Интенсивность отраженного света зависит от его угла падения:

$$I_r = 0,5 \cdot \left\{ \left[ \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin(\varphi + \alpha)} \right]^2 + \left[ \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)}{\operatorname{tg}(\varphi + \alpha)} \right]^2 \right\} \cdot I_o,$$

где  $I_r$  — интенсивность отраженного от поверхности света;  $I_o$  — интенсивность падающего на поверхность света под углом  $\varphi$ ;  $\alpha$  — угол между нормалью к поверхности и преломленным лучом.

Для растительных тканей среднее значение показателя преломления составляет 1,4 (Seyfried, Fukshansky, 1983). Расчёты показали, что при таком показателе преломления потери света на отражение практически не наблюдаются при углах падения от  $0^\circ$  до  $50^\circ$  и примерно равны 2,8%, что составляет долю отраженного в случае его нормального падения на поверхность. При дальнейшем увеличении угла падения потери света резко возрастают.

Свет, пройдя ткани колеоптиля, может достигнуть границы раздела фаз ткань-воздух. Возможны два случая распределения лучей в этих средах. При углах падения меньших критического, световые лучи будут выходить из тканей колеоптиля, а при углах падения больше критического — претерпевать полное внутренне отражение, т.е. не будет наблюдаться выхода световых лучей из оптически более плотной среды (тканей колеоптиля) в оптически менее плотную (воздух). Критическое значение угла падения рассчитывается по формуле:

$$\sin i = \frac{1}{n_2},$$

где  $n_2$  — показатель преломления оптически более плотной среды (показатель преломления воздуха  $n_1 = 1$ ) (Ландсберг, 1976).

Для тканей колеоптиля расчетное критическое значение угла падения составляет  $45,585^\circ$ . В результате, чем больше угол падения световых лучей на поверхность колеоптиля, тем большая часть их будет распространяться в осевом направлении этого органа вследствие полного внутреннего отражения на границе раздела фаз ткань–воздух. Однако, при увеличении угла падения количество света, прошедшего в колеоптиль уменьшается из-за потерь на отражение от поверхности тканей. Поэтому, наблюдаемая на практике зависимость количества проводимого по тканям колеоптиля света от угла падения, будет иметь максимум при  $60^\circ$ . Из-за больших потерь на отражение при входе света в колеоптиль для тех углов падения, при которых преломившиеся лучи испытывают полное внутренне отражение, такое вхождение света неэффективно.

Нами установлено, что лишь 5-10% от падающего светового потока проводится тканями колеоптиля, остальная часть, пройдя его ткани, поглощается в них или рассеивается во внешнюю среду. При таком вхождении в колеоптиль свет не попадает в проводящий пучок, а количество проводимого паренхимными тканями света зависит от степени развития пигментов фотосинтетического аппарата в клетках субэпидермального слоя: чем сильнее пигментация, тем больше потери света при вхождении в колеоптиль. На светорассеивание оказывают влияние и размеры клеток колеоптиля. Нами установлено, что мелкоклеточность структур колеоптильного узла обеспечивает значительный рассеив светового потока.

Наилучшее проведение света наблюдается при попадании его на верхушку колеоптиля. Верхушка колеоптиля представляет собой эллипсоид, несколько сплюснутый в дорзовентральном направлении. Отсутствие межклетников и гомогенная, с мелкими вакуолями, цитоплазма клеток делает эту структуру оптически однородной. Благодаря этому при попадании света на верхушку уменьшение светового потока определяется лишь потерями на отражение от поверхности, но не рассеиванием внутри тканей. Кривизна поверхности верхушки колеоптиля такова, что при любом угле падения отражение света от поверхности не превышает 5%, при этом практически все лучи испытывают полное внутреннее отражение. Таким образом, форма верхушки колеоптиля обеспечивает поступление светового потока внутрь тканей с минимальными потерями. Радиус кривизны верхушки оптимален и для распределения светового потока в этой структуре.

Свет, попав в верхушку колеоптиля, в результате многократного полного внутреннего отражения на внутреннем и внешнем эпидермисах создает максимальную интенсивность светового потока в двух оптических фокусах верхушки, где расположены элементы проводящих пучков, по которым возможно его распространение в нижележащие структуры.

Таким образом, верхушка колеоптиля способна воспринимать, фокусировать и направленно передавать световой поток в зону проведения. Как известно

(Добрынин, 1969), эта структура первой дифференцируется в процессе закладки колеоптиля и таким образом способна воспринимать свет уже на самых ранних этапах развития. Форма и размеры верхушки практически не изменяются в процессе роста.

Изучение фоточувствительности различных зон колеоптиля показывает, что наибольшей чувствительностью к свету обладает верхняя часть верхушки протяжённостью 100 мкм (Lange, 1927). В этот участок, по нашим расчетам, свет входит с минимальными потерями на отражение от поверхности раздела фаз и практически все преломленные лучи испытывают полное внутреннее отражение, т.е. могут проводиться по тканям колеоптиля. В ниже расположенной зоне колеоптиля длиной 1 мм отмечено резкое уменьшение чувствительности к свету, с сохранением данной тенденции к основанию колеоптиля.

В итоге, регуляция ростовой активности эпикотилия и, соответственно, положение узла кущения в почве на определенном расстоянии от поверхности осуществляется светом, фокусируемом в апексе колеоптиля и распространяющегося в дальнейшем преимущественно по проводящим тканям. Интенсивность светового потока, очевидно, регулирует растяжение тканей эпикотилия, что является предметом дальнейших исследований.

### *Литература*

Добрынин Г.М. Рост и формирование хлебных и кормовых злаков. Л.: Колос, 1969. 228 с.

Степанов С.А., Коробко В.В., Касаткин М.Ю. Рост и развитие эпикотилия яровой пшеницы //Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета. - Саратов: Изд-во «Научная книга», 2005, вып. 4, с. 238-243.

Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 926 с.

Смирнов Б.М. Заложение узла кущения у пшеницы, ячменя и овса //Соц. зерн. хоз-во. 1939. №6. С. 142-155.

Шахов А.А. Фотоэнергетика растений и урожай. М.: Наука, 1993. 411с.

Lange S. Die Verteilung der Lichtempfindlichkeit in der Spitze der Hafercoleoptile //Jahrb. f. Wiss. Bot. 1927. 67. S. 1-51.

Seyfried M., Fukshansky L. Light gradient in plant tissue //Appl. optics. 1983. Vol. 22, N9. P. 1402-1408.

УДК 633.11: 581.8

### МЕТАМЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОВОДЯЩИХ ТКАНЕЙ ПЛАСТИНКИ ЛИСТЬЕВ ПШЕНИЦЫ

С.А. Степанов, Ю.В. Даштоян, Д.А. Хакалова

*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского 410080 Саратов,  
ул.Астраханская 83, e-mail:stepanovsa@info.sgu.ru*

Особенностью злаковых растений является хорошо выраженная метамерность их строения, определяемая деятельностью конуса нарастания побега.