

ОСОБЕННОСТИ ПРОРАСТАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ПРОРОСТКОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОДИДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Носников В. В., Селишева О. А., Севрук Т. Д.

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (г. Минск, Беларусь)

*Приведены результаты исследований влияния светодиодного освещения монохроматического синего, красного и дальнего красного света, а также их комбинации с белым светом, на процессы прорастания семян, фазу раскрытия семядолей и формирование почки зачаточного побега, а также на рост гипокотыля и массу подземной и надземной частей проростков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и ели европейской (*Picea abies*). Установлено, что монохроматический красный свет, в том числе в смеси с белым, ингибирует процессы прорастания семян как у сосны обыкновенной, так и у ели европейской. Наилучшее влияние у сосны показало освещение красным светом, а у ели – комбинации красного и белого света. На раскрытие семядолей и формирование почки зачаточного побега лучшее влияние оказывает монохроматический красный свет. Использование дальнего красного света стимулирует рост гипокотыля у обеих пород, однако приводит к уменьшению масс надземной и подземной частей. К увеличению этих двух показателей приводит освещение монохроматическим красным светом.*

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ель европейская, монохроматическое светодиодное освещение, прорастание, формирование проростков

FEATURES OF GERMINATION AND FORMATION OF SEEDLINGS OF SCOTTS PINE AND NORWAY SPRUCE DEPENDING ON THE SPECTRAL COMPOSITION OF LED LIGHTING

Nosnikov V. V., Selishcheva O. A., Sevruk T. D.

*The results of studies of the influence of LED lighting of monochromatic blue, red and far-red light, as well as their combination with white light, on the processes of seed germination, the phase of cotyledon opening and the formation of the bud of the embryonic shoot, as well as on the growth of the hypocotyl and the mass of the underground and above-ground parts of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) are presented. It has been established that monochromatic red light, including when mixed with white, inhibits the processes of seed germination in both Scots pine and Norway spruce. The best effect in pine was shown by illumination with red light, and in spruce - a combination of red and white light. Monochromatic red light has the best effect on the opening of cotyle-*

dons and the formation of the bud of the embryonic shoot. The use of far-red light stimulates the growth of the hypocotyl in both breeds, but leads to a decrease in the masses of the above-ground and underground parts. Illumination with monochromatic red light leads to an increase in these two indicators.

Keywords: Scots pine, Norway spruce, monochromatic LED lighting, germination, seedling formation

ВВЕДЕНИЕ

Свет является важной составляющей на всех стадиях развития лесного посадочного материала. Изменение количественных и качественных параметров светового излучения приводит к изменению физиологических процессов, что в свою очередь сказывается на морфологических признаках семян и саженцев.

Наибольшее влияние свет оказывает на стадиях развития растений, которые непосредственно связаны с процессом фотосинтеза. Количественные и качественные параметры света оказывают влияние на процесс онтогенеза. Они изменяют качество роста растений, размерные характеристики вегетативных органов процессы начала и окончания роста растений.

Однако свет, как определенный вид энергии, может оказывать существенное влияние и на начальной стадии развития растения: на момент прорастания семян и образования проростка. Изменение параметров освещения на начальном этапе может стимулировать или ингибировать прорастание семян, менять скорость и направление развития проростка и т.д.

Спектральный состав света относится к его качественным характеристикам. Определенные участки спектра света играют особую роль в жизни растений. К ним относятся синий, красный и дальний красный диапазоны. Включение или исключение одного или нескольких из них приводит к значительному изменению процессов роста и развития растений.

В экспериментах с изучением влияния красного и синего света были выявлено значительное морфофизиологические и биохимические воздействия на растения. Под действием синего света происходило снижение сухой биомассы, а также содержания хлорофиллов, однако наблюдалось увеличение содержания нуклеиновых кислот [1].

Наиболее распространенными физиологическим откликом растений на стимуляцию красным светом являются прорастание семян, деэтиоляция [2], элонгация стебля и листьев, стимулирование перехода к цветению [3].

Синий и красный участки спектра, которые сильно различаются по энергии излучения, воспринимаются разными светочувствительными системами, которым характерны различные сигнальные пути. К таким сигнальным системам относятся фоторецепторы: фитохромы, поглощающие красный свет, криптохромы и фототропины, поглощающие синюю область спектра [4].

Фитохромы являются одними из наиболее характерных фоторецепторов. Они регулируют многие процессы развития, включая прорастание семян и рост гипокотыля [5, 6].

По данным различных исследователей, фитохромы участвуют в реакции проростков сосны обыкновенной на свет и темноту, влиянии на морфо-

логию вегетирующих органов и активность многих ферментов, а также отвечают за фотопериодическую регуляцию стадии покоя терминальной почки и процессы удлинения хвои [7, 8].

Качество света также регулирует прорастание семян. Красный свет стимулирует прорастание семян растений [9], в то время как дальний красный свет подавляет этот процесс [10].

Соотношение красного и дальнего красного света имеет важное сигнальное значение для процесса прорастания семян, особенно мелких. У них нет достаточного запаса питательных элементов для прохождения большого слоя почвы, поэтому процесс прорастания инициализируется определенным уровнем преобладания красной области спектра над дальней красной, характерным для поверхностного слоя почвы [2].

Способность почвы пропускать свет зависит от ее плотности, размера частиц, содержания гумуса, отражательных свойств ее поверхности и ограничивается оптически активным слоем, который, по данным разных исследователей, составляет 3–100 мм [11]. Величина пропускания света почвой зависит от спектрального состава. Чем больше длина волны оптического излучения, тем на большую глубину она может проникать [12]. Именно по этой причине при увеличении слоя почвы повышается доля участия дальнего красного света, ингибирующего процесс прорастания семян.

Гипокотиль отличается высокой чувствительностью к различным регулирующим воздействиям, в том числе, таким, как световые спектры. В исследованиях, посвященных влиянию спектральных характеристик освещения на рост сеянцев сосны обыкновенной, установлено, что дальний красный свет не оказывает ингибирующего эффекта на рост гипокотыля, в то время как комбинация красного и синего тормозит рост его в высоту [13].

У хвойных растений преобладание дальнего красного света и удаление синего способствуют удлинению стебля, длине междоузлий и усилению апикального доминирования [14]. Оно запускает механизм «избегания тени», который проявляется в большей степени для светлюбивых растений по сравнению с теневыносливыми [2]. Искусственное повышение доли участия дальней красной области спектра при выращивании с использованием освещения привело к увеличению высоты надземной части сеянцев сосны обыкновенной в большей степени по сравнению с растениями ели европейской [15].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки влияния монохромного светодиодного освещения красной, синей и дальней красной области спектра использовались соответствующие светильники, а также комбинация светильников LED FARM 40.1.X с монохромными светильниками. Всего было использовано шесть вариантов опыта: комбинация белого и монохромного синего Б+С (вариант 1), комбинация белого и монохромного красного Б+К (вариант 2), комбинация белого и монохромного дальнего красного Б+ДК (вариант 3), монохромный синий С (вариант 4), монохромный красный К (вариант 5), монохромный дальний красный ДК (вариант 6).

Оценка общего уровня освещенности, а также спектральных характеристик светодиодных источников света проводилась с использованием спектрометра PAR PG200N. Оценка уровня освещенности проводилась для каждой секции бокса по 9-ти точечной матрице с расчетом усредненного значения на высоте 5 см от поверхности субстрата. Спектральные характеристики излучения определялись в центральной точке секции на аналогичной высоте.

Значения потока фотосинтетической активной радиации (ФАР или PFD) в зависимости от длины волны, а также значение энергетической облученности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры освещенности по вариантам

Длина волны	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Облученность, Вт/м ²	49,9	39,6	32,45	56,6	43,9	33,5
Отношение R:B	0,4	11,6	3,6	0,0	824,8	84,1
ФАР в зависимости от длины волны (μмоль м ⁻² с ⁻¹)						
PPFD(400nm–700nm)	208,3	200,2	78,8	214,5	209,8	7,0
PFD(350nm–800nm)	211,1	203,1	196,6	214,9	210,5	205,8
PFD-B(400nm–500nm)	120,1	12,6	10,6	213,3	0,4	0,1
PFD-G(500nm–600nm)	45,8	42,0	32,1	0,6	0,4	0,1
PFD-R(600nm–700nm)	42,4	145,6	36,1	0,5	209,1	6,8
PFD-FR(700nm–800nm)	2,8	2,9	111,8	0,3	0,6	198,9

Результаты спектрального анализа для некоторых вариантов опыта приведены на рисунках 1–3.

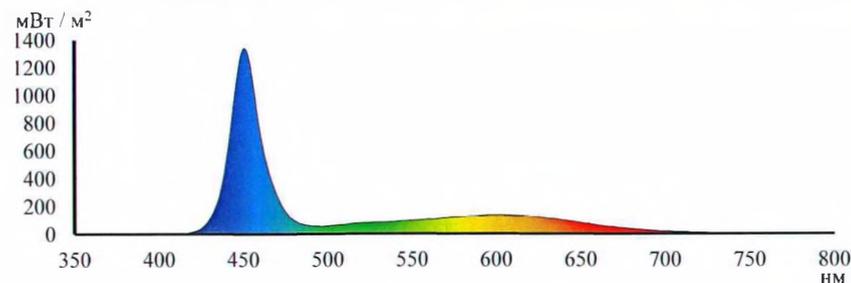


Рисунок 1 – Кривая спектра для варианта 1

Общая освещенность была установлена на уровень PFD (350nm–800nm) 200±20 μмоль м⁻² с⁻¹ или 40±10 Вт/м². Для комбинации ламп соотношение белого и монохромного света составляло 1:1. Посев семян сосны обыкновенной и ели европейской осуществлялся в контейнеры с торфяным субстратом по ТУ ВУ 100061961.002-2015 по 100 семян в каждом в 5 рядов по 20 семян в каждом.

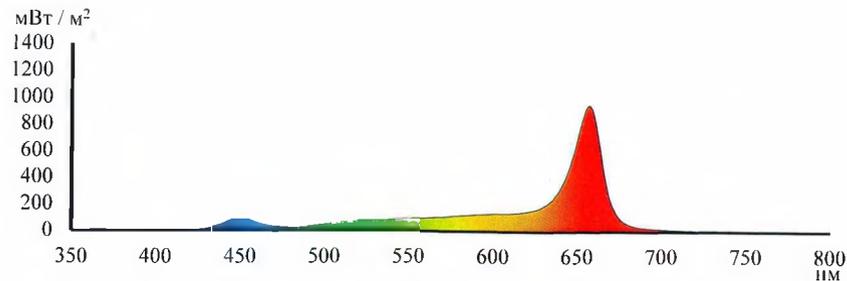


Рисунок 2 – Кривая спектра для варианта 2

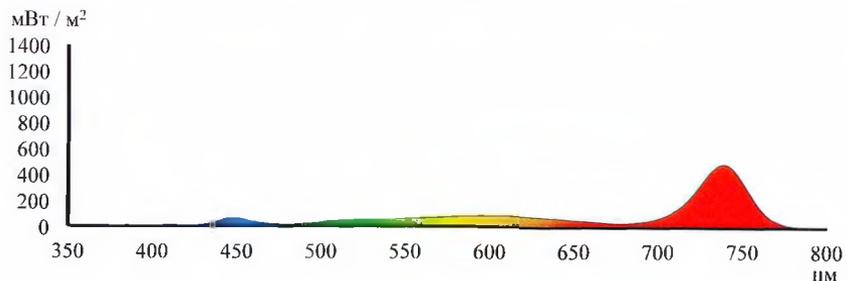


Рисунок 3 – Кривая спектра для варианта 3

Для определения влияния спектрального состава определялись следующие показатели всходов: высота гипокоты (от поверхности субстрата до начала хвоинок). Масса надземной и подземной частей. Производилось также наблюдение за наступлением фенологических фаз. Определялось время появления всходов, разворачивания семядолей, появления почки зачаточного побега и начала разворачивание хвои.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результат влияния освещения монохроматическим синим (С), красным (К) и дальним красным (ДК) светом, а также их комбинации с белым светом (Б+С, Б+К, Б+ДК) на процесс прорастания семян сосны обыкновенной и ели европейской представлен на рисунках 4 и 5.

Для сосны обыкновенной и для ели европейской заметно подавление процесса прорастания семян с освещением монохроматическим дальним красным светом. Для сосны обыкновенной всшло 61,7 % от варианта с комбинацией белого и синего света, показавшего максимальный результат. Для ели европейской освещение дальним красным светом привело к всхожести 77,6 % семян по сравнению с вариантом, где использовался белый и синий свет и который показал также максимальный вариант по всхожести.

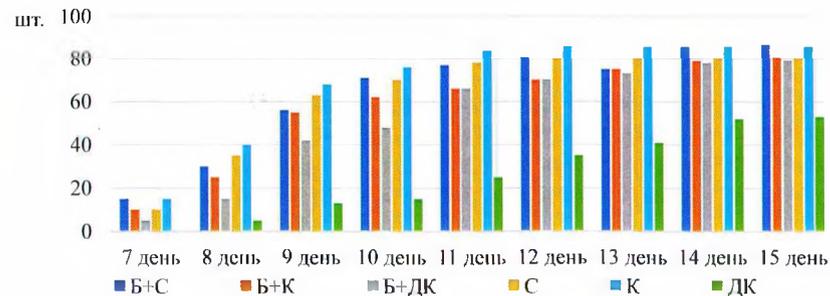


Рисунок 4 – Влияние освещения монохроматическим светом на прорастание семян сосны обыкновенной

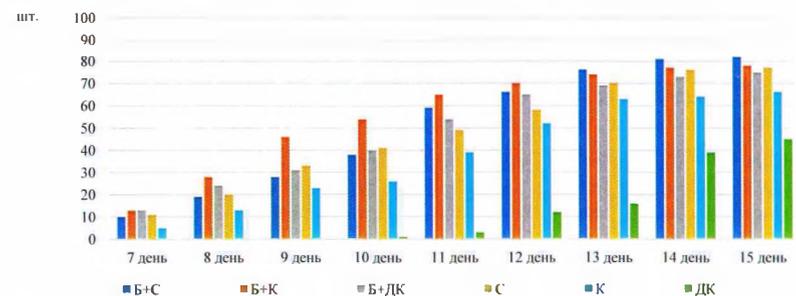


Рисунок 5 – Влияние освещения монохроматическим светом на прорастание семян ели европейской

Использование комбинации белого света и дальнего красного снижает скорость прорастания семян в первые 10 дней для сосны обыкновенной, однако потом данный вариант сравнивается с вариантом, где использовалась комбинация белого и красного, а на 14 и 15 день и с вариантом с монохроматическим синим светом.

Для ели европейской комбинация белого и дальнего красного света не оказала подобного на сосну обыкновенную эффекта. В то же время для данной породы использование монохромного света в течение 12 дней оказывало негативный эффект на процессы прорастания, а для вариантов с красным и дальним красным этот эффект сохранился и до конца эксперимента.

В целом можно отметить, что для сосны обыкновенной наилучшее влияние на всхожесть семян оказали варианты, где использовался монохромный красный, синий, а также комбинация белого и синего света.

Для ели европейской в первые 12 дней наилучшее действие показало освещение комбинацией белого и красного света, однако с 13 дня схожие ре-

зультаты стал показывать и вариант, где использовалась комбинация белого и синего света. Освещение красным светом показало один из наихудших вариантов.

Результат влияния спектрального состава освещения на сроки наступления фазы раскрытия семян у проростков сосны обыкновенной и ели европейской в процентах от максимального количества с данной фазой приведены на рисунках 6 и 7.

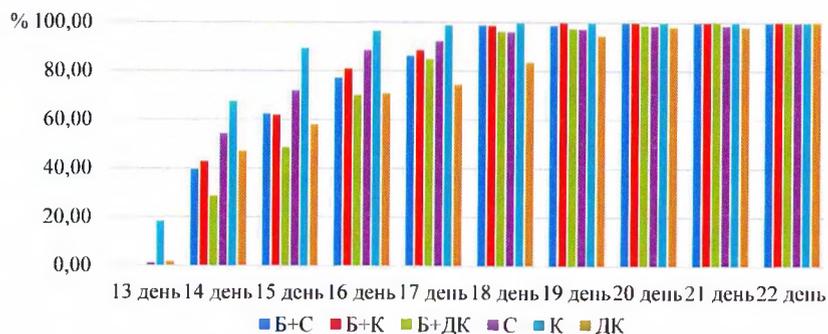


Рисунок 6 – Влияние спектрального состава освещения на сроки наступления фазы раскрытия семян у проростков сосны обыкновенной

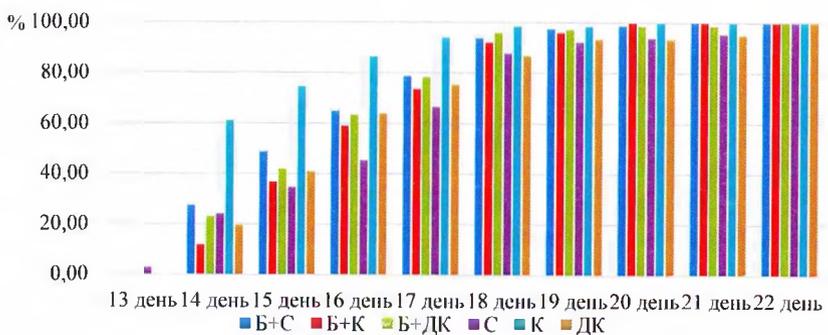


Рисунок 7 – Влияние спектрального состава освещения на сроки наступления фазы раскрытия семян у проростков ели европейской

Анализ данных по влиянию освещения с различным спектром на сроки наступления фазы раскрытия семян у проростков сосны обыкновенной и ели европейской показал, что до 17 дня интенсивнее всего этот процесс идет у варианта, где использовалось монохроматическое освещение красным светом. Это объясняется тем, что красная область света запускает процесс дегидроляции, при котором у всхода происходит перестройка физиологических функций от роста в темноте (в почве) к росту на свету [2].

Однако начиная с 18 дня и далее, интенсивность процесса практически сравнивается, за исключением варианта с освещением дальним красным светом. Этот вариант показывает существенное отставание в сроках наступления данной фазы.

Закономерности по формированию почки зачаточного побега аналогичные.

Результаты анализа высот гипокотыля проростков и масс надземных частей и корневых систем 100 растений сосны обыкновенной и ели европейской представлены в таблицах 2 и 3.

Достоверность результатов устанавливалась определением наименьшей существенной разницы (НСР) для 5 % уровня значимости.

По результатам эксперимента максимальной высотой гипокотыля сосны обыкновенной характеризовался вариант с использованием дальнего красного света. Вариант с синим светом был на 47,5 %, а с красным – на 53,7 % ниже, при этом расхождение между этими вариантами не достоверно. Все варианты с монохромным светом были выше, чем варианты с использованием комбинированного освещения, среди которых максимальной высотой гипокотыля достоверно отличался вариант с использованием белого и дальнего красного света. У данного варианта высота гипокотыля была больше на 26,9 % варианта Б+С и на 36,2 % варианта Б+К.

При сравнении масс надземных частей наименьшее значение было характерно для вариантов с использованием дальнего красного света, хотя достоверное расхождение наблюдалось только у варианта с монохроматическим дальним красным светом. Наибольшей массой надземной части характеризовался вариант с синим светом, масса семян в котором была на 62,9 % больше по сравнению с вариантом ДК. Наибольшие массы корневых систем, достоверно отличающиеся от других вариантов, имели варианты с комбинацией белого и синего, а также красного света, превышающие в 2,6 и 2,2 раза вариант ДК соответственно.

Результаты анализа высот гипокотыля проростков ели европейской показали, что наибольшую высоту имели проростки, освещенные монохромным красным и дальним красным светом, которые достоверно отличались от остальных вариантов, однако не имели существенного различия между собой. Минимальную высоту имел вариант с использованием монохроматического синего света и комбинации белого и синего света, которые были ниже варианта К и ДК на 37,5 и 52,1 % соответственно.

Варианты с использованием дальнего красного света и комбинации белого и дальнего красного света имели наименьшую массу надземной части. Наибольшей массой отличались проростки тех вариантов, где использовался красный свет, как монохроматический, так и в комбинации с белым. Хотя достоверное расхождение наблюдалось только с вариантом ДК.

Влияние на массу корневых систем проростков характеризовалось схожими зависимостями, однако наряду с монохромным красным в наибольшей степени увеличил массу и монохромный синий.

Таблица 2 – Сравнение высоты гипокотили и масс надземной части и корневых систем 100 растений у сосны обыкновенной

Вариант опыта	Высота, см		Масса наземной части, г			Масса корневой системы части, г		
	среднее	ошибка среднего	среднее	ошибка среднего	среднее квадрат. отклонение	среднее	ошибка среднего	среднее квадрат. отклонение
Б+С	2,34	0,159	5,25	0,218	0,097	1,24	0,295	0,132
Б+К	2,18	0,135	5,36	0,740	0,331	0,77	0,302	0,135
Б+ДК	2,97	0,156	4,57	0,655	0,293	0,61	0,169	0,075
С	3,20	0,264	5,80	0,799	0,357	0,47	0,057	0,026
К	3,07	0,210	5,49	2,193	0,981	1,04	0,095	0,042
ДК	4,72	0,411	3,56	0,626	0,280	0,47	0,116	0,052
НСР _{0,5}	0,28	—	1,36	—	—	0,26	—	—

Таблица 3 – Сравнение высоты гипокотили и масс надземной части и корневых систем 100 растений у ели европейской

Вариант опыта	Высота, см		Масса наземной части, г			Масса корневой системы части, г		
	среднее	ошибка среднего	среднее	ошибка среднего	среднее квадрат. отклонение	среднее	ошибка среднего	среднее квадрат. отклонение
Б+С	2,41	0,180	2,91	0,079	0,037	0,44	0,018	0,089
Б+К	2,80	0,150	3,26	0,033	0,017	0,52	0,056	0,107
Б+ДК	2,58	0,136	2,65	0,147	0,079	0,29	0,045	0,031
С	2,40	0,181	2,72	0,150	0,082	0,63	0,074	0,154
ДК	3,30	0,376	2,93	0,195	0,104	0,67	0,069	0,180
НСР _{0,5}	0,28	—	0,61	—	—	0,21	—	—

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Свет оказывает важное влияние на всех этапах развития лесного посадочного материала, в том числе на прорастание семян и особенности формирования проростков. При этом такие качественные характеристики освещения, как спектральный состав могут существенно изменять сроки наступления фаз развития лесных растений, а также размерные параметры их проростков.

Проведенные нами исследования по влиянию монохроматического синего, красного и дальнего красного светодиодного освещения, а также их комбинации с белым светом на прорастание семян, сроки наступления начальных фаз развития и особенности формирования проростков показали, что освещение дальним красным светом посевов сосны обыкновенной и ели европейской, выполненных на торфяном субстрате, приводит к ингибированию процесса прорастания семян как в монохроматическом варианте, так и в комбинации с белым светом. Использование монохроматического красного для сосны обыкновенной и комбинации красного и белого света для ели европейской повышает скорость прорастания семян в первые 10–11 дней.

На скорость наступления фазы раскрытия семядолей и заложение почки зачаточного побега наилучшее влияние оказывает монохроматический красный свет.

Использование дальнего красного света как в качестве единственного источника освещения всходов сосны обыкновенной и ели европейской, так же как и в сочетании с белым светом, приводит к стимулированию роста гипокотили в высоту, однако это приводит к уменьшению как надземной, так и подземной частей проростков.

Применение монохромного красного света, в том числе в сочетании с белым светом, оказывает позитивное влияние как на высоту гипокотили, так и на массу надземной и подземной частей проростка для обеих пород.

Данные установленные особенности прорастания семян и формирования проростков позволяют при использовании управляемого спектрального состава светодиодного освещения, которое может применяться при выращивании посадочного материала с закрытой корневой системой в полностью контролируемых условиях, целенаправленно воздействовать как на процессы прорастания семян, так и на рост в начальной стадии развития растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Fankhauser, C. Light-regulated interactions with SPA proteins underlie cryptochromemediated gene expression / C. Fankhauser, R. Ulm // *Genes & Development*. – 2011. – № 25. – Р. 1004–1009.
- Кулаева, О. Н. Как свет регулирует жизнь растений / О. Н. Кулаева // *Со-росовский образовательный журнал*. – 2001. – Т. 7. – № 4. – С. 6–12.

3. Цыганкова, В.А. Генетический и эпигенетический контроль роста и развития растений. Гены фотоморфогенеза и регуляция их экспрессии светом / В.А. Цыганкова [и др.] // Біополімери і клітина. – 2004. – Т. 20, № 6. – С. 451–471.
4. Каргашов, А.В. Морфогенез ассимилирующих органов семян сосны обыкновенной и ели европейской при действии красного и синего света / А.В. Каргашов [и др.] // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2014. – № 1 (26). – С. 167–182.
5. Casal J.J. Shade avoidance // The Arabidopsis book / American Society of Plant Biologists. – 2012. – Т. 10. – P. 1–19.
6. Casal, J.J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade / J.J. Casal // Ann. Rev. Plant Biol. – 2013. – № 64. – P. 403–427.
7. Fernbach, E. Coaction of blue ultraviolet A light and light absorbed by phytochrome in controlling growth of Pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings / E. Fernbach, H. Mohr // Planta. – 1990. – № 180. – P. 212–216.
8. Coaction of blue light and light absorbed by phytochrome in control of glutamine synthetase gene expression in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings / Emlinger M. et al. // Planta. – 1994. – №192. – P. 189–194.
9. Kvaalen, H. Light quality influences germination, root growth and hypocotyl elongation in somatic embryos but not in seedlings of Norway spruce / H. Kvaalen, M. Appelgren // In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant. – 1999. – Т. 35. – С. 437–441.
10. Durzan, D.J. Inhibition of female cone production in white spruce by red light treatment during night under field conditions / D.J. Durzan, R.A. Campbell, A. Wilson // Environmental and Experimental Botany. – 1979. – Vol. 19. – № 3. – P. 133–144.
11. Караванова, Е.И. Оптические свойства почв и их природа / Е.И. Караванова. – Москва: Изд-во МГУ, 2003. – 151 с.
12. Баскин, В.В. Отражение и пропускание света поверхностным слоем почвы / В.В. Баскин // Физика и биофизика почв. – Л.: Колос, 1969. – С. 132–146.
13. Ranade, S. Ecotypic variation in response to light spectra in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) / S. S. Ranade, M.R. García-Gil // Tree Physiology. – 2013. – Vol. 33. – P. 195–201.
14. Improved elongation of Scots pine seedlings under blue light depletion is not dependent on resource acquisition / Sarala M. et al. // Functional Plant Biology. – 2009. – Vol. 36. – № 8. – P. 742–751.
15. Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra / Riikonen, J. et al. // Environmental and Experimental Botany. – 2016. – Vol. 121. – P. 112–120.

Статья поступила в редколлегию 12.04.2024 г.



ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ПРИЗНАКОМ ДЛИНЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА, НА ОСНОВЕ ТРАНСКРИПТОМНЫХ ДАННЫХ

Падутов В.Е., Можаровская Л.В., Ивановская С.И., Пантелеев С.В.
Институт леса Национальной академии наук Беларуси (г. Гомель, Беларусь)

На основе транскриптомного анализа сосны обыкновенной идентифицированы транскрипты генов α -тубулина (TUA), β -тубулина (TUB), сахаросинтазы (SUS) и актина (act), ассоциированных с признаком длины целлюлозного волокна. Для исследуемых транскриптов генов TUB, SUS и act сосны обыкновенной отмечено менее двух мутаций на 100 н.о., полиморфизм транскриптов гена TUA составляет более 18 мутаций на 100 н.о. На основе результатов анализа нуклеотидной структуры и полиморфизма исследуемых транскриптов генов разработан набор праймеров для изучения их функциональной активности. С применением ОТ-ПЦР в реальном времени проведена апробация разработанного набора праймеров. Для деревьев с различающейся длиной целлюлозного волокна, установлена экспрессия генов (TUA, TUB, act, SUS), отмечена повышенная работа генов (TUA, TUB, act) компонентов цитоскелета клеток в сравнении с активностью генов сахаросинтазы (SUS), участвующих в биосинтезе целлюлозы. Представленный набор праймеров в дальнейшем будет использоваться для изучения взаимосвязи экспрессионной активности генов TUA, TUB, SUS, act и фенотипического проявления признака – длины целлюлозного волокна.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), целлюлозное волокно, транскриптом, α -тубулин, β -тубулин, сахаросинтаза, актин, ДНК-маркер.

IDENTIFICATION AND STUDY OF POLYMORPHISM OF SCOTS PINE GENES ASSOCIATED WITH THE TRAITS OF CELLULOSIC FIBER LENGTH BASED ON TRANSCRIPTOME DATA

Padutov V.E., Mozharovskaya L.V., Ivanovskaya S.I., Panteleev S.V.

Based on transcriptomic analysis of Scots pine, transcripts of the α -tubulin (TUA), β -tubulin (TUB), sugar synthase (SUS), and actin (act) genes associated with the cellulose fiber length trait were identified. For the studied transcripts of the Scots pine TUB, SUS and act genes, less than two mutations per 100 nt were noted; the polymorphism of TUA gene transcripts was more than 18 mutations per 100 nt. Based on the results of the analysis of the nucleotide structure and polymorphism of the studied gene transcripts, a set of primers was developed to study their functional activity. The developed set of primers was tested using real-time RT-PCR. For trees with different lengths of cellulose fiber, the expression of genes (TUA, TUB, act, SUS) was established; increased activity of genes (TUA, TUB, act) of the