

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ФОТОЛЮМИНОФОРМ АГРОТЕКСТИЛЯ СПАНБОНД НА УКОРЕНЕНИЕ ЧЕРЕНКОВ ТУИ ЗАПАДНОЙ (*THUJA OCCIDENTALIS* L.)

Н.Н. Бессчетнова¹, В.П. Бессчетнов^{1✉}, Р.Н. Храмов²

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Россия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

²ФГБУН «Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук», Россия, 142290, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 3

lesfak@bk.ru

Исследовано влияние светотрансформирующих добавок, интегрированных в укрывные материалы вегетационных сооружений, при укоренении физиологически активных черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.). Испытаны два типа укрывных материалов на основе сетчатого нетканого термоскрепленного полипропиленового полотна: с включением светотрансформирующих добавок и без таковых. Фотолюминофором являлся оксисульфид иттрия, легированный европием ($Y_2O_3:SeU$). Обеспечено соблюдение принципа единственного логического различия, а также базовых требований к постановке опыта. Реализован полевой стационарный опыт с фиксацией морфометрических параметров корневых систем черенков. Установлено усиление регенерационной способности черенков под действием светотрансформирующих укрывных. Обнаружено увеличение показателей корнеобразовательного процесса по средней и суммарной длине придаточных корней, сформированных на регенерировавших черенках. Зафиксировано увеличение анализируемых показателей при использовании в качестве укрывного материала светотрансформирующего волокна во всех повторностях опыта. Обнаружено весьма заметное превышение средней длины корней и их средней суммарной длины по вариантам опыта (типам укрывных): *Thuja occidentalis* f. 'Brabant' — в 2,69 и 2,70 раза; *Thuja occidentalis* f. 'Tiny Tim' — в 1,83 и 3,02 раза; *Thuja occidentalis* f. 'Golden Smaragd' — в 2,26 и 9,17 раза. Подтверждена существенность зафиксированных различий результатами однофакторного дисперсионного анализа. Обнаружено достоверное влияние различий в типах укрытия, которое составило $11,43 \pm 0,90$ % (по методу Плохинского) и $18,93 \pm 0,83$ % (по алгоритму Снедекора). Доказана эффективность применения светотрансформирующего укрывного материала при укоренении черенков различных декоративных форм туи западной.

Ключевые слова: туя западная, черенки, укоренение, теплицы, светотрансформирующие материалы, фотолюминофор, регенерационная способность, корнеобразование

Ссылка для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Храмов Р.Н. Влияние модифицированного фотолюминофором агротекстиля спанбонд на укоренение черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 2. С. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-17-26

Модернизация и последовательный переход к непрерывному и неистощительному лесопользованию заложены в качестве ключевых моментов в Стратегию развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. Повышение эффективности применяемых в отрасли технологий требует реализации инновационного подхода к организации производства всех форм и видов продукции, в том числе к выращиванию посадочного материала древесных растений. Интенсификация данного процесса базируется на широком использовании тепличных комплексов, где активно применяются различные типы полимерных покрытий вегетационных сооружений. Результативность деятельности таких хозяйств во многом определяется техническими свойствами и оптическими характеристиками этих покрытий [1–3]. Включение в их состав светопреобразую-

щих и светокорректирующих материалов (фотолюминофоров) позволяет регулировать спектральные и другие параметры светового потока в количественном и качественном отношении [4–10]. Зафиксирован положительный эффект применения светотрансформирующих материалов, используемых при укоренении черенков различных, в частности древесных и кустарниковых растений [1, 11]. Условия освещенности вызывают адаптивные реакции растений, проявляющиеся в изменении пигментного состава их фотосинтезирующего аппарата [10, 12–14]. Дополнительный свет оказывает положительное влияние на фотосинтез и продуктивность растений, вызывая интенсивное развитие корневых систем [10, 15–17]. Перспективным направлением в применении данных технологий выступает их адаптация к схемам вегетативного размножения древесных и кустарниковых пород. Интерес представляет туя западная (*Thuja occidentalis* L.),

декоративные формы и сорта которой, обладая различиями в пигментном составе хвои и регенерационной способности черенков, находят широкое применение [18–20]. Однако детальных исследований по влиянию люминофоров на рост и развитие корневой системы древесных растений пока еще крайне мало, а публикации по данной тематике ограничены.

Цель работы

Цель работы — выявление влияния качества света на регенерационную способность корней физиологически активных черенков декоративных форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.), выращиваемых под нетканым материалом спанбонд, содержащим неорганический фотолуминофор.

Материалы и методы

Объектом исследования служили черенки декоративных форм туи западной, находящиеся на момент заготовки в состоянии активной вегетации. Их возраст составил 3 года при оценке по нижнему срезу черенка. Влияние различий в параметрах черенков исключалось благодаря тому, что помимо выравнивания их размерных и общебиологических характеристик по вариантам и повторностям опыта, учитываемыми признаками в нем выступали параметры корневых систем. В этом отношении все черенки абсолютно тождественны — на момент начала наблюдений не имели корней, обладали нулевыми стартовыми количественными характеристиками (длиной, диаметром, количеством боковых ответвлений и пр.), а значит, были идентичными. Этого практически невозможно добиться для их надземной части. Она, невзирая на предварительное выравнивание линейных параметров, неизбежно сохраняла возникающие по естественным причинам индивидуальные различия по высоте, диаметру, массе, количеству боковых побегов и метамеров на них, состоянию и степени развитости ксилемы, содержанию в тканях запасных питательных веществ и пигментов и пр.

Элиминация влияния различий в условиях среды в вегетационных сооружениях обеспечивалась предельной гомогенизацией субстрата (песок слоем 25 см), однотипностью дренажного основания (щебень слоем 30 см), одинаковыми схемами размещения черенков (5×7 см) и глубиной их посадки (3 см), выравниванием характеристик внешней освещенности, случайным порядком размещения вариантов и многократной повторностью. Проведение работ и формирование выборок осуществлено в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями [21–23].

В качестве повторностей опыта привлечены три декоративные формы туи западной,

получившие обозначения: 1) колоновидная (*Thuja occidentalis* f. 'Brabant'); 2) шаровидная (*Thuja occidentalis* f. 'Tiny Tim'); 3) золотистая (*Thuja occidentalis* f. 'Golden Smaragd').

Выбор обусловлен неодинаковой регенерационной способностью их черенков и различным составом пигментов хвои, участвующих в фотосинтезе. В частности, повторность колоновидная характеризуется сравнительно высоким уровнем укореняемости черенков, шаровидная — укореняется хуже, золотистая — при наиболее затрудненном укоренении отличается пониженным содержанием в хвое хлорофиллов и повышенным содержанием каротиноидов. Содержание и соотношение разных форм хлорофилла и каротиноидов в листовом аппарате традиционно служит информативным признаком сравнительной оценки древесных видов [24, 25]. Количество черенков в каждом варианте и повторности опыта указано в табл. 1.

Испытания проведены по двум типам укрывных материалов, которые выступали вариантами (факторами) опыта. Первый тип (вариант 1) — модифицированный спанбонд с плотностью 30 г/м², с интегрированными в его структуру наночастицами фотолуминофора — оксисульфидом иттрия, легированного европием (Y₂O₂SEu). Детальная характеристика представлена в отечественных публикациях [5]. В таких материалах объединены достоинства обычного агротекстиля с преимуществами укрывных светотрансформирующих пленок [4–10, 16, 17, 26]. Второй тип (вариант 2) — обычный (без люминофора) белый спанбонд (контроль) с той же плотностью. Статистический и дисперсионный анализы выполнены с учетом существующих методических разработок [21–23, 27, 28].

Результаты и обсуждение

Установлены заметные различия в реализации регенерационной способности черенков под светотрансформирующими и обычными укрытиями, оцениваемой по средней и суммарной длине образовавшихся адвентивных корней (табл. 1). Во всех рассматриваемых случаях сравнения светотрансформирующее укрытие усилило корнеобразование на черенках и увеличило среднюю длину их корней. Превышение по среднему показателю составило: по повторности колоновидная — 1,252 раза; шаровидная — 1,829 раза; по форме золотистая — 2,263 раза.

Был выявлен характер влияния различного содержания пигментов в трех повторностях туи на их способность к регенерации придаточных корней. Обращает на себя внимание тот факт, что реакция туи западной золотистой, у которой ослаблена пигментация хвои хлорофиллами при пре-

Т а б л и ц а 1

**Длина придаточных корней на черенках трех форм туи западной
в зависимости от вариантов укрывного материала**
**The length of the adventitious roots on the cuttings of three forms of Northern white-cedar,
depending on the variants of the covering material**

Параметр	Колоновидная		Шаровидная		Золотистая	
	Люминофор	Белый спанбонд	Люминофор	Белый спанбонд	Люминофор	Белый спанбонд
Количество черенков, шт.	377	229	36	28	144	44
Длина, см:						
mid	3,20 ± 0,146	2,56 ± 0,171	2,04 ± 0,270	1,12 ± 0,211	2,21 ± 0,197	0,98 ± 0,191
min	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
max	13,5	12,5	6,5	5,5	10,5	5,0
Коэффициент вариации, %	88,32	101,17	79,31	100,00	107,09	129,96
Точность опыта, %	4,55	6,69	13,22	18,90	8,92	19,59

Т а б л и ц а 2

**Существенность различий в средней длине адвентивных корней
на черенках трех форм туи западной**
**The significance of differences in the average length of adventitious roots on cuttings
of three forms of northern white-cedar**

Показатель	Колоновидная	Шаровидная	Золотистая
Критерий Фишера:			
опытное значение (F_{on})	7,41	6,67	22,34
табличное значение (F_{05}/F_{01})	3,85/6,64	3,99/7,04	3,90/6,79
Доля влияния различий в укрывных материалах (организованный фактор h^2):			
по Плохинскому	0,0122	0,0971	0,0814
по Снедекору	0,0221	0,1525	0,1779
Ошибка доли влияния фактора ($\pm s_n^2$):			
по Плохинскому	0,0016	0,0146	0,0036
по Снедекору	0,0016	0,0137	0,0033
Наименьшая существенная разность на 5%-м уровне значимости (HCP_{05})	0,452	0,703	0,557
Критерий Тьюки на 5%-м уровне значимости (D_{05})	0,456	0,711	0,562

обладании каротиноидов, показала наивысшую чувствительность и более выраженную реакцию на коррекцию светового потока светотрансформирующим укрывным материалом.

Указанные различия между сравниваемыми вариантами укрывного материала оказались существенными, что подтвердил однофакторный дисперсионный анализ по длине адвентивных корней на черенках (табл. 2). В ходе этого анализа на трех формах туи было испытано два варианта укрывного материала — содержащий люминофор и белый спанбонд без него. Тестируемым признаком регенерационной способности служила длина корней. Во всех повторностях опыта установлено наличие существенных различий (см. табл. 2) между применяемыми вариантами укрывных материалов, что подтверждает действительность влияния светотрансформирующего материала на регенерационную способность черенков и темпы их пострегенерационного развития.

Расчетные величины критерия Фишера превосходят соответствующие значения на 1%-м и на 5%-м уровнях значимости. В частности, на 5%-м уровне значимости такое превышение составило от 1,74 раза (по шаровидной форме) до 5,82 раза (по золотистой форме). Эффективность действия организованного фактора (различия в оптических свойствах укрывного материала) при подтвержденной достоверности вместе с тем оказалась невысокой: от $1,22 \pm 0,16$ % (по колоновидной) до $9,71 \pm 1,46$ % (по шаровидной).

Помимо анализа, выполненного по средней длине придаточных корней сравнение вариантов укрывного материала с различными оптическими свойствами проведено по их суммарной длине на отдельном черенке (табл. 3). В данном случае также наблюдалось положительное влияние светотрансформирующего укрывного материала. Все повторности опыта (см. табл. 3) продемонстрировали значительное превышение анализируемых показателей при использовании в качестве

Т а б л и ц а 3

**Суммарная длина придаточных корней трех форм туи западной
в зависимости от укрывного материала**

The total length adventitious roots of the three forms of Northern white-cedar, depending on the covering material

Укрывной материал (варианты опыта)	Колоновидная		Шаровидная		Золотистая	
	Общая суммарная длина, см	Средняя суммарная длина, см	Общая суммарная длина, см	Средняя суммарная длина, см	Общая суммарная длина, см	Средняя суммарная длина, см
Обычный спанбонд	586,10	17,24	31,30	3,48	45,00	1,96
Санбонд с люминофором	1207,80	46,45	73,60	10,51	376,60	17,93

Т а б л и ц а 4

**Существенность различий по суммарной длине адвентивных корней
на черенках трех форм туи западной**

The significance of differences in the total length of adventitious roots on cuttings of three forms of Northern white-cedar

Показатель	Колоновидная	Шаровидная	Золотистая
Критерий Фишера: опытное значение (F_{on}) табличное значение (F_{05}/F_{01})	16,915 3,85/6,64	2,139 3,99/7,04	9,855 3,90/6,79
Доля влияния различий в укрывных материалах (организованный фактор h^2): по Плохинскому по Снедекору	0,2258 0,3507	0,1325 0,1264	0,1865 0,2825
Ошибка доли влияния фактора ($\pm s_h^2$): по Плохинскому по Снедекору	0,0133 0,0112	0,0620 0,0624	0,0189 0,0167
Наименьшая существенная разность на 5%-м уровне значимости (HCP_{05})	14,083	10,248	9,707
Критерий Тьюки на 5%-м уровне значимости (D_{05})	14,083	10,206	9,904

укрывного материала свето-трансформирующего волокна. Превышение общей и средней суммарной длины по вариантам опыта было весьма заметным и соответственно составило: колоновидная — в 2,06 и 2,70 раза; шаровидная — в 2,35 и 3,02 раза; золотистая — в 8,37 и 9,17 раза.

Суммарная длина адвентивных корней, образованных на одном черенке, на котором зафиксирована регенерация, служит вполне надежным критерием косвенной оценки регенерационной активности и общей биопродуктивности — способности формировать большую массу новообразований в процессе регенерации. Это тесно связано и с повышением интенсивности фотосинтеза зеленых черенков древесных растений, находящихся в активной физиологической фазе. Эти различия также оказались существенными (табл. 4).

В рассматриваемом анализе эффективность действия организованных факторов (в данном дисперсионном анализе организованным фактором является различие в типах укрывного материала) оказалась принципиально больше (см. табл. 4), чем в предыдущем случае дисперсионного анализа (см. табл. 2). У форм туи западной с подтвержденным фактом на-

личия существенных различий между вариантами опыта эффективность достигала значений: $22,58 \pm 1,33$ % (колоновидная) и $18,65 \pm 1,89$ % (золотистая). Полученные данные служат надежным подтверждением результативности применения в качестве укрывного материала синтетического волокна со светотрансформирующими добавками. Оценить эффективность влияния каждого из учитываемых в опыте факторов (биологические различия между декоративными формами туи и различия в светорегулирующих свойствах укрывного материала) позволил двухфакторный анализ (табл. 5).

В табл. 5 представлены оценки влияния рассматриваемых в данном дисперсионном анализе факторов: А — организованный фактор, действие которого связано с различиями в типах укрывных материалов; В — организованный фактор, действие которого связано с различиями между повторностями опыта (принадлежность к сорту/форме туи западной); АВ — эффект взаимодействия организованных факторов А и В; Z — неорганизованный фактор или остаточная дисперсия, соответствующая внутригрупповой изменчивости, индуцируемой пестротой фона не учитываемых в опыте факторов среды.

Двухфакторный дисперсионный анализ по суммарной длине адвентивных корней на одном черенке трех форм туи западной

Two-factor analysis of variance based on the total length of adventitious roots on one cutting of three forms of Northern white-cedar

Показатель	Факторы влияния			
	Укрывной материал (фактор А)	Форма туи западной (фактор В)	Взаимодействие материала и формы туи (фактор АВ)	Остаточная дисперсия (фактор Z)
Критерий Фишера: опытное значение ($F_{оп}$) табличное значение на 5%-м уровне значимости (F_{05})	16,50 3,94	12,69 3,09	2,20 3,09	– –
Доля влияния фактора на формирование общей дисперсии (h^2): по Плохинскому по Снедекору	0,1143 0,1893	0,1759 0,2142	0,0305 –	0,6792 0,5965
Ошибка доли влияния фактора ($\pm s_n^2$): по Плохинскому по Снедекору	0,0090 0,0083	0,0168 0,0160	0,0198 –	0,3208 0,4035

За исключением одного случая (форма шаровидная), существенность достигнутых различий в проявлении регенерационной способности черенков, выразившейся в образовании определенного количества придаточных корней, оцениваемого по их суммарной длине, получила подтверждение. Влияние каждого из независимых организованных факторов в отдельности — укрывной материал (фактор А) и форма туи (фактор В) — вызвало возникновение существенных различий в дисперсионном комплексе. Об этом свидетельствуют опытные значения критерия Фишера, которые были заметно больше соответствующих табличных значений на 5%-м уровне значимости. Однако их взаимодействие — фактор АВ — не дало эффекта существенности различий между анализируемыми образцами. Это указывает на отсутствие выраженной специфичности в реакции различных декоративных форм туи на использование укрывного материала с люминофором. Влияние различий в типах укрытия достоверно и составило $11,43 \pm 0,90$ % (по методу Плохинского) и $18,93 \pm 0,83$ % (по алгоритму Снедекора). Доля влияния различий в происхождении растений (принадлежность к форме) была несколько больше: $17,59 \pm 1,68$ % (по методу Плохинского) и $21,42 \pm 1,60$ % (по алгоритму Снедекора). Отчетливо прослеживается доминирующее влияние фоновой пестроты условий среды в вегетационных сооружениях на формирование общей дисперсии (фактор Z). На долю фактора Z, соответственно, приходится 67,92 % и 32,08 % учитываемых в опыте различий, что можно объяснить высокой чувствительностью испытываемых растений к влиянию внешних фоновых факторов.

В порядке обсуждения можно отметить, что на сегодняшний день трудно объяснить биологиче-

ские механизмы действия светопреобразующего спанбонда, благодаря которым получены такие значимые эффекты стимуляции в укоренении черенков туи, так же, как и в пионерской работе [5] рост биомассы салата и капусты. Согласно неопубликованным данным, аналогичные светопреобразующие покрытия могут увеличить урожай клубней семенного картофеля до 2,5 раза. Результаты 2-летних полевых опытов [29, 30] показали, что солнечный свет, трансформированный полимерной светопреобразующей пленкой, увеличивает в сотни раз численность микроорганизмов в нефтезагрязненной почве, что в разы стимулирует активность ферментов и процессов метаболизма и повышает скорость деградации нефтезагрязнений до 4 раз. Также отмечено [31], что применение микробиологических препаратов при выращивании картофеля позволяет получать прибавку к урожаю до 90 %. На этом основании можно предположить, что наиболее вероятным механизмом таких эффектов в развитии корневой системы туи является светостимуляция эндо- и экзосферной микробиоты растений, однако данная гипотеза требует специальных доказательств.

Выводы

1. Применение светотрансформирующего укрывного материала при укоренении физиологически активных черенков различных декоративных форм (сортов) туи западной вызывает повышение регенерационной способности и дает положительный эффект по количеству образованных на них придаточных корней, их средней и суммарной длине.

2. Усиление роста придаточных корней при использовании фото-регулирующего укрытия зафиксировано во всех вариантах опыта по всем

учитываемым показателям, что свидетельствует об общем положительном эффекте реализации рассматриваемой технологии и возможности широкого применения ее в производстве посадочного материала вегетативного происхождения декоративных форм древесных растений.

3. Наиболее чувствительной к воздействию фоторегулирования спектрального состава солнечного света в вегетационных сооружениях, используемых при укоренении черенков, оказалась золотистая форма — ‘Голден’, которая характеризуется пониженным содержанием хлорофиллов и повышенным содержанием каротиноидов. Косвенно это может служить свидетельством такого изменения спектрального состава солнечного светового излучения, вызванного фотолуминофорными добавками, при котором из числа участвующих в фотосинтезе пластидных пигментов в большей степени повышается активность каротиноидов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность доктору биологических наук В.Д. Креславскому за научное обсуждение результатов, использованное при написании статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер государственного задания 075-01025-23-01).

Список литературы

- [1] Edser C. Light manipulating additives extend opportunities for agricultural plastic films // *Plastics, Additives and Compounding*, 2002, v. 4, no. 3, pp. 20–24. DOI: 10.1016/S1464-391X(02)80079-4
- [2] Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture // *Rapra Review Reports*, 2004, v. 15, no. 2, pp. 1–103.
- [3] Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology // *Horticultural Reviews*, 2012, v. 40, (Horticultural Reviews; Book 108), pp. 259–396.
- [4] Иваницкий А.Е., Райда В.С., Минич А.С., Ивлев Г.А. Исследование свойств фотолуминесцентных пленок при возбуждении солнечным излучением // *Вестник Томского государственного педагогического университета*, 2011. Вып. 8(110). С. 119–123.
- [5] Khramov R.N., Kreslavski V.D., Svidchenko E.A., Surin N.M., Kosobryukhov A.A. Influence of photoluminophore-modified agro textile spunbond on growth and photosynthesis of cabbage and lettuce plants // *Optics Express*, 2019, v. 27, no. 22, pp. 31967–31977. DOI: 10.1364/OE.27.031967
- [6] Brown C.S., Schuerger A.C., Sager J.C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting // *J. of the American Society for Horticultural Science*, 1995, v. 120, no. 5, pp. 808–813. DOI: 10.21273/JASHS.120.5.808
- [7] González A., Rodríguez R., Bañón S. J.A., Franco, Fernández J.A. The influence of photosensitive plastic films as greenhouse cover on sweet pepper yield and on insect pest levels // *Acta Horticulturae*, 2001, v. 559, pp. 233–238. DOI:10.17660/ActaHortic.2001.559.34
- [8] Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I. Plastic films for agricultural applications // *J. of Plastic Film and Sheeting*, 2006, v. 22, no. 2, pp. 85–122. DOI: 10.1177/8756087906064220
- [9] Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I. New Ultrathermic Films for Greenhouse Covers // *J. of Plastic Film and Sheeting*, 2006, v. 22, no. 1, pp. 59–68. DOI: 10.1177/8756087906062764
- [10] Kosobryukhov A.A., Kreslavski D., Khramov R.N., Bratkova L.R., Shchelokov R.N. Effect of additional low intensity luminescence Radiation 625 nm on plant growth and photosynthesis // *Biotronics*, 2000, v. 29, pp. 23–31.
- [11] Карасев В.Е. Полисветаны — полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства // *Вестник Дальневосточного отделения РАН*, 1995. № 2. С. 66–73.
- [12] Smith J.L., Burritt D.J., Bannister P. Shoot Dry Weight, Chlorophyll and UV-B-absorbing Compounds as Indicators of a Plant’s Sensitivity to UV-B Radiation // *Annals of Botany*, 2000, v. 86, no. 6, pp. 1057–1063. DOI:10.1006/anbo.2000.1270
- [13] Jansen M.A.K. Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses // *Physiologia Plantarum*, 2002, v. 116, no. 3, pp. 423–429. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.x
- [14] Delprato M.L., Krapp A.R., Carrillo N. Green Light to Plant Responses to Pathogens: The Role of Chloroplast Light-Dependent Signaling in Biotic Stress // *Photochemistry and Photobiology*, 2015, v. 91, no. 5, pp. 1004–1011. DOI: 10.1111/php.12466
- [15] Щелоков Р.Н. Полисветаны и полисветановый эффект // *Известия АН СССР*, 1986. № 10. С. 50–55.
- [16] Минич А.С., Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С., Карначук Р.А., Головацкая И.Ф., Ефимова М.В., Райда В.С. Роль красного люминесцентного излучения низкой интенсивности в регуляции морфогенеза и гормонального баланса *Arabidopsis thaliana* // *Физиология растений*, 2006. Т. 53, № 6. С. 762–767.
- [17] De Salvador F.R., Scarascia Mugnozza G., Vox G., Schettini E., Mastroilli M., BouJaoudé M. Innovative photosensitive and photoluminescent plastic films for protected cultivation // *Acta Horticulturae*, 2008, v. 801(801), pp. 115–122. DOI:10.17660/actahortic.2008.801.7
- [18] Котынова М.Ю., Бессчетнов В.П. Регенерационная способность представителей рода туя при укоренении черенков в теплицах // *Современное лесное хозяйство — проблемы и перспективы: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию «ВНИИЛГИСбиотех», г. Воронеж, 3–4 декабря 2020 г. Ч-1. Воронеж: Истоки, 2020. С. 40–44.*
- [19] Котынова М.Ю., Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja Occidentalis* L.) в теплицах // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Матер. XVIII Межд. науч.-тех. конф.: г. Вологда, 1 декабря 2020 г. / Отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда: ВоГУ, 2020. С. 147–149.*
- [20] Pedlar J.H., McKenney D.W., Allen D., Lawrence K., Lawrence G., Campbell K. A street tree survey for Canadian communities: Protocol and early results // *The Forestry Chronicle*, 2013, v. 89 (6), pp. 753–758. DOI 10.5558/tfc2013-137

- [21] Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003, 752 p.
- [22] Srinagesh K. *The Principles of Experimental Research*. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005, 432 p.
- [23] Dean A. Voss D., Draguljić D. *Design and Analysis of Experiments* (Springer Texts in Statistics), Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017, 865 p.
- [24] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Котынова М.Ю. Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2022. № 3. С. 38–58. DOI 10.21178/2079–6080.2022.3.3
- [25] Houpis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide // *Tree Physiology*, 1988, v. 4, no. 2, pp. 187–193. DOI: 10.1093/treephys/4.2.187
- [26] Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. *Greenhouse Cover Technology // Horticultural Reviews*, 2012, v. 40, (Horticultural Reviews; Book 108), pp. 259–396.
- [27] Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003, 488 p.
- [28] Zar J.H. *Biostatistical Analysis: Fifth Edition*. Edinburg Gate: Pearson New International edition — Pearson Education Limited, 2014, 756 p.
- [29] Филатов Д.А., Иванов А.А., Сваровская Л.И., Юдина Н.В. Влияние светокорректирующей пленки и гуминовых кислот на биохимическое окисление нефти в почве // *Агрохимия*, 2011. № 10. С. 76–82.
- [30] Филатов Д.А., Иванов А.А., Сваровская Л.И., Юдина Н.В. Активация биохимических процессов в нефтезагрязненной почве с применением светокорректирующей пленки и гуминовых кислот // *Почвоведение*, 2011. № 2, С. 226–232
- [31] Жевора С.В., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Шабанов А.Э. Биологическая активность почвы, урожайность и качество картофеля в зависимости от использования микробиологических препаратов // *Российская сельскохозяйственная наука*, 2019. № 4. С. 31–35. DOI: 10.31857/S2500-26272019431-35

Сведения об авторах

Бессчетнова Наталья Николаевна — д-р с.-х. наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», besschetnova1966@mail.ru

Бессчетнов Владимир Петрович  — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», lesfak@bk.ru

Храмов Роберт Николаевич — канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., ФГБУН «Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук», khramov30@mail.ru

Поступила в редакцию 21.08.2023.

Одобрено после рецензирования 20.12.2023.

Принята к публикации 06.02.2024.

EFFECT OF SPUNBOND AGROTEXTILE MODIFIED WITH PHOTOLUMINOPHORE ON ROOTING OF NORTHERN WHITE CEDAR (*THUJA OCCIDENTALIS* L.) CUTTINGS

N.N. Besschetnova¹, V.P. Besschetnov^{1✉}, R.N. Khramov²

¹Nizhegorodsky State Agrotechnological University, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

²Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, 3, Institutskaya st., 142290, Pushchino, Moscow reg., Russia

lesfak@bk.ru

The effect of light-transforming additives integrated into the covering materials of vegetation structures during the rooting of physiologically active cuttings of Northern white-cedar (*Thuja occidentalis* L.) was investigated. Two types of covering materials based on a mesh nonwoven thermally bonded polypropylene fabric were tested: with the inclusion of light-transforming additives and without them. A covering material was used with a photoluminophore introduced into its composition, which is yttrium oxysulfide doped with europium (Y₂O₃SEu). The principle of the only logical difference is observed, as well as the basic requirements for the formulation of experience. A field stationary experiment was implemented with the fixation of morphometric parameters of root systems of cuttings. The strengthening of the regenerative ability of cuttings under the action of light-transforming shelters has been established. An increase in the indicators of the root-forming process was found in the average and total length of the adventitious roots formed on regenerated cuttings. A significant excess of the analyzed indicators was recorded when using a light-transforming fiber as a covering material in all repetitions of the experiment (forms and varieties). The excess of the average length of the roots and their average total length according to the variants of the experiment (types of shelters) was very noticeable and, accordingly, amounted to: *Thuja occidentalis* f. 'Brabant' — 2,69 and 2,70 times; *Thuja occidentalis* f. 'Tiny Tim' — 1,83 and 3,02 times; *Thuja occidentalis* f. 'Golden Smaragd' — 2,26 and 9,17 times. The significance of the recorded differences was confirmed by the results of one-factor analysis of variance. A significant effect of differences in the types of shelter was found, which amounted to 11,43 ± 0,90 % (according to the Plokhinsky method) and 18,93 ± 0,83 % (according to the Snedekor algorithm). The positive effect of a light-transforming covering material for rooting cuttings of various decorative forms of Northern white-cedar was proved.

Keywords: northern white-cedar, cuttings, rooting, greenhouses, light-transforming materials, photoluminophore, regenerative ability, root formation

Suggested citation: Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Khramov R.N. *Vliyaniye modifitsirovannogo fotolyuminoformom agrotekstilya spanbond na ukoreneniye cherenkov tui zapadnoy (Thuja occidentalis L.)* [Effect of spunbond agrotexile modified with photoluminophore on rooting of Northern white cedar (*Thuja occidentalis* L.) cuttings]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-17-26

References

- [1] Edser C. Light manipulating additives extend opportunities for agricultural plastic films. *Plastics, Additives and Compounding*, 2002, v. 4, no. 3, pp. 20–24. DOI: 10.1016/S1464-391X(02)80079-4
- [2] Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture. *Rapra Review Reports*, 2004, v. 15, no. 2, pp. 1–103.
- [3] Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. *Greenhouse Cover Technology*. Horticultural Reviews, 2012, v. 40, (Horticultural Reviews; Book 108), pp. 259–396.
- [4] Ivanitskiy A.E., Rayda V.S., Minich A.S., Ivlev G.A. *Issledovanie svoystv fotolyuminescentnykh plenok pri vobuzhdenii solnechnym izlucheniem* [Investigation of the properties of photoluminescent films when excited by solar radiation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Tomsk State Pedagogical University Bulletin], 2011, v. 8 (110), pp. 119–123.
- [5] Khramov R.N., Kreslavski V.D., Svidchenko E.A., Surin N.M., Kosobryukhov A.A. Influence of photoluminophore-modified agro textile spunbond on growth and photosynthesis of cabbage and lettuce plants. *Optics Express*, 2019, v. 27, no. 22, pp. 31967–31977. DOI: 10.1364/OE.27.031967
- [6] Brown C.S., Schuerg A.C., Sager J.C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. of the American Society for Horticultural Science*, 1995, v. 120, no. 5, pp. 808–813. DOI: 10.21273/JASHS.120.5.808
- [7] González A., Rodríguez R., Bañón S. J.A., Franco, Fernández J.A. The influence of photosensitive plastic films as greenhouse cover on sweet pepper yield and on insect pest levels. *Acta Horticulturae*, 2001, v. 559, pp. 233–238. DOI:10.17660/ActaHortic.2001.559.34
- [8] Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I. Plastic films for agricultural applications. *J. of Plastic Film and Sheeting*, 2006, v. 22, no. 2, pp. 85–122 DOI: 10.1177/8756087906064220
- [9] Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I. New Ultrathermic Films for Greenhouse Covers. *J. of Plastic Film and Sheeting*, 2006, v. 22, no. 1, pp. 59–68. DOI: 10.1177/8756087906062764
- [10] Kosobryukhov A.A., Kreslavski D., Khramov R.N., Bratkova L.R., Shchelokov R.N. Effect of additional low intensity luminescence Radiation 625 nm on plant growth and photosynthesis. *Biotronics*, 2000, v. 29, pp. 23–31.

- [11] Karasev V.E. *Polisvetany — polimernye svetotransformiruyushchie materialy dlya sel'skogo khozyaystva* [Polysvetans — polymer light-transforming materials for agriculture]. Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 1995, no. 2, pp. 66–73.
- [12] Smith J.L., Burritt D.J., Bannister P. Shoot Dry Weight, Chlorophyll and UV-B-absorbing Compounds as Indicators of a Plant's Sensitivity to UV-B Radiation. *Annals of Botany*, 2000, v. 86, no. 6, pp. 1057–1063. DOI:10.1006/anbo.2000.1270
- [13] Jansen M.A.K. Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses. *Physiologia Plantarum*, 2002, v. 116, no. 3, pp. 423–429. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.x
- [14] Delprato M.L., Krapp A.R., Carrillo N. Green Light to Plant Responses to Pathogens: The Role of Chloroplast Light-Dependent Signaling in Biotic Stress. *Photochemistry and Photobiology*, 2015, v. 91, no. 5, pp. 1004–1011. DOI: 10.1111/php.12466
- [15] Shchelokov R.N. *Polisvetany i polisvetanovyy effekt* [Polysvetans and polysvetan's effect]. Izvestiya AN SSSR [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 1986, no. 10, pp. 50–55.
- [16] Minich A.S., Minich I.B., Zelen'chukova N.S., Karnachuk R.A., Golovatskaya I.F., Efimova M.V., Rayda V.S. *Rol' krasnogo luminescentnogo izlucheniya nizkoy intensivnosti v regulyatsii morfogeneza i gormonal'nogo balansa Arabidopsis thaliana* [The role of low-intensity red luminescent radiation in the regulation of morphogenesis and hormonal balance of *Arabidopsis thaliana*]. Fiziologiya rasteniy [Russian J. of Plant Physiology], 2006, v. 53, no. 6, pp. 762–767.
- [17] De Salvador F.R., Scarascia Mugnozza G., Vox G., Schettini E., Mastrotrilli M., BouJaoudé M. Innovative photoselective and photoluminescent plastic films for protected cultivation. *Acta Horticulturae*, 2008, v. 801(801), pp. 115–122. DOI:10.17660/actahortic.2008.801.7
- [18] Kotynova M.Yu., Besschetnov V.P. *Regeneratsionnaya sposobnost' predstaviteley roda tuja pri ukorenenii cherenkov v teplitsakh* [Regenerative ability of representatives of the genus tuja when rooting cuttings in greenhouses]. *Sovremennoe lesnoe khozyaystvo — problemy i perspektivy: mater. Vseros. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 50-letiyu «VNILGISbiotekh».* Voronezh, 3–4 dekabrya 2020. Chast'–1 [Modern forestry — problems and prospects. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of VNILGISBIOTECH: Voronezh, December 3–4, 2020. Part 1]. Voronezh: Istoki, 2020, pp. 40–44.
- [19] Kotynova M.Yu., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Ukorenenie cherenkov dekorativnykh form tui zapadnoy (Thuja Occidentalis L.) v teplitsakh* [Rooting cuttings of ornamental forms of Northern white-cedar (*Thuja Occidentalis* L.) in greenhouses]. Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Mater. XVIII Mezhd. nauch.-tekh. konf. [Actual problems of the development of the forest complex. Materials of XVIII International Scientific and Technical Conference], Vologda, December 1, 2020. Ed. S.M. Khamitova. Vologda: Vologda State University, 2020, pp. 147–149.
- [20] Pedlar J.H., McKenney D.W., Allen D., Lawrence K., Lawrence G., Campbell K. A street tree survey for Canadian communities: Protocol and early results. *The Forestry Chronicle*, 2013, v. 89 (6), pp. 753–758. DOI 10.5558/tfc2013-137
- [21] Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003, 752 p.
- [22] Srinagesh K. *The Principles of Experimental Research*. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005, 432 p.
- [23] Dean A. Voss D., Draguljić D. *Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics)*, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017, 865 p.
- [24] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kotynova M.Yu. *Sezonnyy kharakter sodержaniya pigmentov v khvoe tui zapadnoy v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [The seasonal nature of the pigment content in the conifers of the Western tuja in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry], 2022, v. 3, pp. 38–58. DOI 10.21178/2079–6080.2022.3.3
- [25] Houpis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide. *Tree Physiology*, 1988, v. 4, no. 2, pp. 187–193. DOI: 10.1093/treephys/4.2.187
- [26] Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology. *Horticultural Reviews*, 2012, v. 40, (Horticultural Reviews; Book 108), pp. 259–396.
- [27] Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003, 488 p.
- [28] Zar J.H. *Biostatistical Analysis: Fifth Edition*. Edinburg Gate: Pearson New International edition — Pearson Education Limited, 2014, 756 p.
- [29] Filatov D.A., Ivanov A.A., Svarovskaya L.I., Yudina N.V. Vliyanie svetokorrektiruyushchey plenki i guminovykh kislot na biokhicheskoe okislenie nefi v pochve [Effect of light-corrective film and humic acids on the biochemical oxidation of petroleum in the soil]. *Agrokhiimiya* [Agricultural Chemistry], 2011, v. 10, pp. 76–82.
- [30] Filatov D.A., Ivanov A.A., Svarovskaya L.I., Yudina N.V. *Aktivatsiya biokhicheskikh protsessov v neftezagryaznennoy pochve s primeneniem svetokorrektiruyushchey plenki i guminovykh kislot* [Activation of biochemical processes in oil-contaminated soil with the use of light-correcting film and humic acids]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2011, v. 2, pp. 226–232
- [31] Zhevorova S.V., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V., Shabanov A.E. *Biologicheskaya aktivnost' pochvy, urozhaynost' i kachestvo kartofelya v zavisimosti ot ispol'zovaniya mikrobiologicheskikh preparatov* [Biological activity of soil, yield and quality of potatoes depending on the use of microbiological preparations]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Sciences], 2019, v. 4, pp. 31–35. DOI: 10.31857/S2500-26272019431-35

Acknowledgments

The authors express their gratitude to V.D. Kreslavsky, Doctor of Biological Sciences, for scientific discussion of the results used in the article.

The work was carried out with financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state task number 075-01025-23-01).

Authors' information

Besschetnova Natal'ya Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, besschetnova1966@mail.ru

Besschetnov Vladimir Petrovich [✉] — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Forest crops of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, lesfak@mail.ru

Khramov Robert Nikolaevich — Cand. Sci. (Phys. and Math.), Leading Researcher at the Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, khramov30@mail.ru

Received 21.08.2023.

Approved after review 20.12.2023.

Accepted for publication 06.02.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest