

ISSN 1810-9810 (Print)  
УДК 630.443.2.414

**В. П. Шуканов, И. А. Машкин, Л. А. Корытько**

*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: patphysio@mail.ru*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

**Аннотация.** От качества сеянцев, которое напрямую определяется совершенством технологий выращивания, зависит приживаемость и интенсивность роста лесных культур. Применение экологически безопасных химических веществ является наиболее рациональным способом повышения качества посадочного материала. Но из-за большого разнообразия препаратов не все они в должной мере испытаны на хвойных растениях. Приведены результаты исследования влияния обработки посадочного материала сосны обыкновенной смесями регуляторов роста Экосил Микс и Экосил Плюс, микроудобрения Гисинар-М и фунгицида Винцит Форте на качество сеянцев с закрытой корневой системой. Для наиболее точного отражения действия препаратов измерялись не только биометрические, но и физиолого-биохимические показатели растений (уровень перекисного окисления липидов и содержание пигментов фотосинтеза). Выявлено положительное влияние обработок на ростовые процессы и метаболизм сеянцев сосны обыкновенной.

**Ключевые слова:** сеянцы с закрытой корневой системой, сосна обыкновенная, регуляторы роста, микроудобрения, фунгициды, фотосинтез, пигменты фотосинтеза, окислительный стресс, перекисное окисление липидов

**V. P. Shukanov, I. A. Mashkin, L. A. Korytko**

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, e-mail: patphysio@mail.ru*

### **THE USE OF ECOLOGICALLY SAFE PREPARATION FOR IMPROVING THE QUALITY OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEEDLINGS**

**Abstract.** The survival rate and intensity of growth of forest crops depends on the quality of seedlings, which is directly determined by the perfection of growing technologies. The use of environmentally friendly plant protection products is the most rational way to improve the quality of planting material. Nevertheless, due to the wide variety of preparations, not all of them are thoroughly tested on conifers. This article presents the results of study of the effect of treatment of seeds and seedlings of pine with mixtures of growth regulators Ecosil Mix and Ecosil Plus, microfertilizer Gisinar-M and fungicide Vincit Forte on the quality of ball-rooted seedlings. For the most accurate identification of the effects of plant protection products, biometric and physiological-biochemical parameters of plants were measured (the intensity of lipid peroxidation and the concentration of photosynthesis pigments in needles). As a result, a positive effect of the treatments on the growth processes and metabolism of common pine seedlings was revealed.

**Keywords:** ball-rooted seedlings, Scots pine, growth regulators, microfertilizers, fungicides, photosynthesis, photosynthesis pigments, oxidative stress, lipid peroxidation

**В. П. Шуканаў, І. А. Машкін, Л. А. Карыцько**

*Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,  
Мінск, Беларусь, e-mail: patphysio@mail.ru*

### **ПРЫМЯНЕННЕ ЭКАЛАГІЧНА БЕСПЕЧНЫХ ПРЭПАРАТАЎ ДЛЯ ПАВЫШЭННЯ ЯКАСЦІ СЕЯНЦАЎ ХВОІ ЗВЫЧАЙНАЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

**Анатацыя.** Ад якасці сеянцаў, якое напрамую вызначаецца дасканаласцю тэхналогій вырошчвання, залежыць прыжывальнасць і інтэнсіўнасць росту лясных культур. Прымяненне экалагічна бяспечных хімічных рэчываў з'яўляецца найбольш рацыянальным спосабам павышэння якасці пасадачнага матэрыялу. Але з-за вялікай разнастайнасці прэпаратаў, не ўсе яны ў поўнай меры выпрабаваныя на іглічных раслінах. Прыведзены вынікі даследавання ўплыву апрацоўкі пасадачнага матэрыялу хвой звычайнай сумесямі рэгулятараў росту Экасіл Мікс і Экасіл Плюс, мікраўгнаенняў Гісінар-М і фунгіцыду Вінцыт Форте на якасць сеянцаў з закрытай каранёвай сістэмай. Для найбольш дакладнага адлюстравання дзеяння прэпаратаў вымяраліся не толькі біямэтрычныя, але і фізіялага-біяхімічныя ўласцівасці раслін (узровень прадуктаў перакіснага акіслення ліпідаў, колькасць пігментаў фотасінтэзу). Выяўлены станоўчы ўплыў апрацовак на роставыя працэсы і метабалізм сеянцаў хвой звычайнай.

**Ключавыя словы:** сеянцы з закрытай каранёвай сістэмай, хвоя звычайная, рэгулятары росту, мікраўгнаенні, фунгіцыды, фотасінтэз, пігменты фотасінтэзу, акісляльны стрэс, перакіснае акісленне ліпідаў

**Введение.** Эффективность создания искусственных насаждений при лесоразведении и лесовосстановлении во многом определяется качеством посадочного материала, которое напрямую коррелирует с совершенством технологий выращивания, и в дальнейшем влияет на продуктивность будущих древостоев, а также их устойчивость и санитарное состояние [1]. Поэтому получение качественного посадочного материала и разработка новых действенных агротехнических приемов его выращивания всегда остается актуальной проблемой. Технология выращи-

вания сеянцев постоянно развивается, но иногда новые приемы, связанные с прогрессивным стремлением к сокращению запретности производства, и его механизация приводят к ухудшению качества посадочного материала и негативному воздействию на окружающую среду. Следовательно, разработка мероприятий по повышению качества и болезнеустойчивости посадочного материала древесных культур при соблюдении принципов полной экологической безопасности является одним из приоритетных направлений научных исследований в лесном хозяйстве [2, 3].

Всходы и сеянцы нередко страдают от болезней, вызванных грибковыми фитопатогенами, что является серьезной проблемой при их выращивании. В связи с чем значительную роль играют мероприятия по обработке посадочного материала, направленные не только на активацию ростовых процессов, но и на дезинфекцию от фитопатогенных грибов [4–6]. Так как основная задача защиты растений от фитопатогенных грибов в настоящее время сводится к получению нужного эффекта с наименьшей нагрузкой на окружающую среду, то достигнуть ее можно при использовании высокоэффективных синтетических и природных соединений, а также их смесей при минимальном расходе фунгицидов для оказания не только прямого защитного эффекта, но и косвенного (регулирующее действие на само растение).

В Республике Беларусь разработано множество препаратов для активации ростовых процессов и повышения болезнеустойчивости растений. Однако большинство из них всесторонне изучены и разрешены к применению именно на сельскохозяйственных культурах, в то время как их влияние на древесные породы исследовано недостаточно. Следует также отметить, что зачастую работы, представленные в данной области, базируются на морфобиометрических характеристиках и визуальном анализе фитосанитарного состояния обработанных защитными и стимулирующими веществами растений. Такой подход не может позволить всесторонне отразить эффективность применения тех, или иных химических препаратов, так как инфекции, вызванные грибковыми патогенами, не всегда проявляются внешне [7, 8]. В связи с этим необходимо исследовать действие обработок на болезнеустойчивость и по физиолого-биохимическим показателям. Учет интенсивности и особенностей протекания патологических и защитных реакций открывает возможность не только всесторонне характеризовать механизмы повышения продуктивности и болезнеустойчивости растений, но и наиболее точно выявлять фитотоксическое действие препаратов.

**Материалы и методы исследования.** В качестве объектов исследования использованы семена и сеянцы с закрытой корневой системой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Партии семян заготовлены на территории Молодечненского лесхоза в 2016 г., по своим посевным качествам они относились к первому классу, были полностью очищены от примесей и загрязнений. Сеянцы выращивались в лабораторных условиях с использованием кассет фирмы Plantek 35F, разделенных на 35 ячеек, которые изготовлены из жесткой пластмассы и предназначены для многократного использования. Данные кассеты имеют вертикальные щели и направляющие ребра в стенках ячеек, которые способствуют наиболее естественному и правильному развитию корневой системы, а имеющиеся боковые щели предотвращают образование недостатка кислорода в почвенном комке ячейки и одновременно выполняют роль дренажа при чрезмерном поливе [9–11]. В качестве почвы для заполнения ячеек использован специализированный грунт для выращивания хвойных пород растений. Семена высевались в ручную на глубину 1 см по две штуки в одну ячейку [10–13].

В ходе исследования произведена предпосевная обработка семян сосны композиционными составами (расход рабочего раствора 10 мл/кг семян), включающими фунгицид Винцит Форте (50 мл/л), регуляторы роста Экосил Плюс (0,1 мл/л) или Экосил Микс (0,1 мл/л), пленкообразователь Гисинар-М (25 мл/л) с параллельным поливом части сеянцев 0,02 %-ными растворами регуляторов роста Экосил Плюс или Экосил Микс (расход рабочей жидкости составляет 5 л на 1 м<sup>2</sup>).

Винцит Форте, КС (флутриафол 37,5 г/л + тиабендазол 25 г/л + имазалил 15 г/л) – системный фунгицид для защиты семян от комплекса заболеваний, передающихся с семенами через почву и аэрогенным путем. Протравитель проявляет фунгицидное действие в течение нескольких

часов после высева протравленных семян. Действующие вещества, входящие в состав препарата, обладают профилактическим и лечащим системным действием. Флутриафол нарушает биосинтез стероидов и проницаемость клеточных мембран, тиабендазол нарушает процесс деления клеточных ядер, имазалил ингибирует биосинтез эргостерина и подавляет образование клеточных мембран. Препарат имеет 3-й класс опасности, практически не токсичен для животных и почвенных микроорганизмов [14–16].

Экосил Плюс, ВЭ (2,5 г/л тритерпеновых кислот) – природный полифункциональный препарат, регулятор роста и индуктор иммунитета растений; фитоактиватор физиологических, биохимических, формообразовательных, продукционных и иммуномодулирующих процессов в растении. В результате применения препарата должны стабилизироваться процессы метаболизма за счет снижения затрат энергии на гомеостаз, идущей на образование органического вещества в виде углеводов, жиров, белков. Помимо тритерпеновых кислот, полученных из хвои пихты сибирской, в состав препарата входят биологически активная сумма нейтральных изопреноидов, обогащенная композицией из более чем 30 легколетучих малополярных, моно- и сесквитерпеновых соединений [14].

Экосил Микс, ВЭ (5 г/л тритерпеновых кислот) – регулятор роста, обогащенный комплексом макро- и микроэлементов, широким спектром биологически активных соединений: модифицированных гуминовых кислот, фульвокислот, аминокислот (глицин, лизин, треонин, метионин, тирозин и др.) и биогенных аминов (тирамин и др.), низкомолекулярных органических кислот (янтарная, малоновая, яблочная, щавелевая, и др.), фенолкарбоновых кислот (салициловая, бензойная, феруловая, кумаровая, ванилиновая, галловая и др.). Препараты на основе «Экосила» относятся к 4-му классу опасности (малоопасные вещества), не фитотоксичны и безвредны для пчел в полевых условиях [14–16].

Гисинар-М – пленкообразователь, представляющий собой полиэлектролитный гидрогель, получаемый на основе дешевого водорастворимого сополимера акриламида и натриевой соли акриловой кислоты. Препарат содержит микроэлементы в хелатной форме (Cu, Zn, Mg) и является микроудобрением, предназначенным для предпосевной обработки семян, а также подкормок растений в период вегетации. Гисинар-М способствует прочному закреплению защитно-стимулирующих составов на поверхности семян и должен повышать их всхожесть, регулируя водный, воздушный и минеральный режимы питания растений, а также снижать дозировку, применяемых при совместной обработке препаратов [14, 15].

Сеянцы выращивались в контейнерах на протяжении 90 дней, по окончании которых были измерены биометрические показатели (длина надземной части, корневой системы и толщина прикорневой шейки), а также интенсивность накопления органической массы абсолютно сухого вещества (отдельно для хвои, стволиков и корней) десяти случайно отобранных сеянцев в каждом варианте. Для оценки действия препаратов на физиолого-биохимическом уровне выявлены интенсивность перекисного окисления липидов и содержание пигментов фотосинтеза в хвое.

Массу абсолютно сухого органического вещества определяли на основании ГОСТа 16483.7-71 [17] в стеклянных бюксах со снятыми крышками, помещенными в сушильный шкаф при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  (минимальное время высушивания – 6 ч) с трехкратной повторностью опыта.

Перекисное окисление липидов мембран оценивалось при помощи спектрофотометрического метода (с использованием спектрофотометра Proscan MC 122), основываясь на способности 2-тиобарбитуровой кислоты (ТБК) связываться с липидными перекисями (малоновый диальдегид). Образующиеся яркоокрашенные ТБК-продукты являлись тестом активности данного процесса. Пробу свежей массы, отобранную в трехкратной повторности, растирали до однородности в 0,25 % ТБК и 10 % трихлоруксусной кислоты (ТХУ). После пробы нагревали 30 мин при  $95^\circ\text{C}$ , после чего охлаждали в проточной воде и доводили до метки дистиллированной водой, а затем центрифугировали на протяжении 15 мин при 8000g. Получившийся супернатант спектрофотометрировали при длине волны, равной 532 нм. Количество ТБК-продуктов (в мкМ/г свежей массы) рассчитывали используя молярный коэффициент экстинкции –  $1,55 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  [18, 19].

Для исследования содержания фотосинтетических пигментов был выбран спектрофотометрический метод. Образцы хвои (возраст сеянцев – 90 дней) с постоянной навеской 0,2 г отбирали в трехкратной повторности. Далее в лабораторных условиях получали вытяжку пигментов в ацетоне. Экстракты пигментов фильтровались вакуумным способом, затем определяли оптическую плотность вытяжек на спектрофотометре Proscan MC 122. Точное содержание отдельных пигментов устанавливали с помощью трехволнового метода [18–21]. Концентрацию хлорофиллов  $a$  и  $b$  и их сумму рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для ацетона [20, 21]:

$$C_{a \text{ (мг/л)}} = 9,784D_{662} - 0,990D_{644}, \quad (1)$$

$$C_{b \text{ (мг/л)}} = 21,426D_{644} - 4,650D_{662}, \quad (2)$$

$$C_{a+b \text{ (мг/л)}} = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}, \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация хлорофиллов  $a$ ,  $b$  и каротиноидов, мг/л;  $D$  – оптическая плотность в центрах поглощения пигментов 644 и 662 нм.

Концентрацию каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов вычисляли с использованием уравнения Веттштейна [22]:

$$C_{\text{кар (мг/л)}} = 4,695D_{440} - 0,268(\text{Хл.}a+b \text{ мг/л}), \quad (4)$$

где  $C$  – концентрация хлорофиллов  $a$ ,  $b$  и каротиноидов, мг/л;  $D$  – оптическая плотность в центрах поглощения пигментов 440 нм.

Содержание пигментов в хвое вычисляли по формуле:

$$A = (CV) / (P1000), \quad (5)$$

где  $A$  – содержание пигмента в мг на 1 г сырой навески;  $C$  – концентрация пигмента, мг/л;  $V$  – объем вытяжки пигмента, мл;  $P$  – навеска хвои, г.

С целью анализа и проверки достоверности полученных данных рассчитаны ошибка среднего и парный двухвыборочный  $t$ -критерий Стьюдента для средних значений (уровень значимости 0,05) на базе программы Microsoft Excel 2013 [23, 24].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ влияния обработок на рост сеянцев сосны показал, что наиболее существенное стимулирующее действие проявляется при инкрустации семян Экосил Микс и Винцит Форте с параллельным внесением в почву растворов регулятора роста Экосил Микс (табл. 1).

В некоторых остальных вариантах наблюдается достоверное увеличение только надземной части сеянцев либо корневой системы. При этом полив регулятором роста Экосил Плюс вызвал уменьшение длины корней фактически до контрольных значений, хотя в аналогичных вариантах с одной только предпосевной обработкой длина корневой системы возрастала от 140 до 179 % по отношению к величинам, полученным у необработанных сеянцев.

Измерение массы абсолютно сухого вещества сеянцев сосны с закрытой корневой системой на 90-е сутки проращивания показало, что часть проведенных обработок повлияли на интенсивность его накопления растениями как положительно, так и отрицательно (табл. 2).

Наиболее высокий прирост массы сухого вещества отмечен как для надземной части, так и для корневой системы в варианте обработки Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, 50 мл/л с поливом регулятором роста Экосил Микс, что не удивительно, учитывая существенное увеличение и морфобиометрических показателей при этом же сочетании препаратов. Но при этом во всех вариантах без дополнительного полива регуляторами роста и внесением в почву Экосила Плюс наблюдается значительное уменьшение массы абсолютно сухого вещества стволиков, несмотря на их длину, близкую либо превышающую контрольные значения. Возможно, что такие результаты связаны с разницей во влажности отобранных образцов, а также вытягиванием сеянцев вследствие неблагоприятных фактов окружающей среды и/или из-за некоторой фитотоксичности препаратов.

Т а б л и ц а 1. Влияние обработок на биометрические параметры семян сосны обыкновенной

Варианты опыта	Длина надземной части		Длина корня		Толщина прикорневой шейки	
	мм ( $M \pm m$ )	% к контролю	мм ( $M \pm m$ )	% к контролю	мм ( $M \pm m$ )	% к контролю
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	40,30±3,48	100	32,50±5,36	100	0,81±0,06	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	48,50±1,98*	120	42,30±4,04*	130	0,80±0,04	99
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	40,40±3,05	100	42,30±4,38*	130	0,98±0,04*	121
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	43,40±2,67	108	45,60±5,19*	140	0,77±0,03	96
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	39,80±2,80	99	58,10±5,09*	179	0,78±0,05	97
Инкрустирование семян и полив семян 0,02 %-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут)						
Контроль (сухие семена)	42,10±3,49	100	34,30±5,91	100	0,78±0,04	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс	50,30±3,56*	119	60,20±3,94*	176	1,03±0,04*	133
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	45,10±2,98	107	40,00±3,16*	117	0,85±0,02	108
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс	42,50±2,51	101	35,00±5,32	102	0,77±0,03	99
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	38,70±2,23	92	34,30±5,91	100	0,78±0,04	100

\* Данные статистически значимы по t-критерию Стьюдента ( $p = 0,05$ ). Также и для табл. 2, 3 и 5.

Т а б л и ц а 2. Влияние обработок на массу абсолютно сухого вещества семян сосны обыкновенной

Варианты опыта	Масса семян (10 штук)					
	хвоя		стволик		корень	
	г ( $M \pm m$ )	% к контролю	г ( $M \pm m$ )	% к контролю	г ( $M \pm m$ )	% к контролю
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	0,057±0,003	100	0,020±0,001	100	0,011±0,001	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	0,045±0,002*	79	0,016±0,001*	79	0,010±0,002	88
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,055±0,001	97	0,014±0,002*	69	0,010±0,001	91
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	0,059±0,004	104	0,017±0,001*	84	0,012±0,001	106
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,061±0,001	108	0,016±0,001*	77	0,021±0,001*	182
Инкрустирование семян и полив семян 0,02 %-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут)						
Контроль (сухие семена)	0,052±0,002	100	0,018±0,001	100	0,008±0,001	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс	0,069±0,002*	131	0,023±0,002*	125	0,010±0,001*	135
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	0,052±0,001	99	0,018±0,002	96	0,007±0,003	96
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс	0,059±0,001	112	0,015±0,001*	80	0,007±0,002*	87
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	0,049±0,003	94	0,015±0,002*	80	0,007±0,001	96

Уже становится очевидным, что и в данном случае морфобиметрические показатели дают довольно противоречивое представление о влиянии произведенных обработок, поэтому так важно учитывать изменения, происходящие на физиолого-биохимическом уровне. Как правило, любые факторы окружающей среды, будь то температура, влажность, наличие патогенов, либо химические вещества влияют прежде всего на первичный метаболизм растений, центральным звеном которого, как известно, является фотосинтез. Большинство исследований базируется на том, что снижение количества пигментов и скорости фотосинтеза обязательно говорит либо о негативном действии препаратов, либо о слабой эффективности данных средств в формировании болезнеустойчивости [7]. Однако, как показывает практика, и в случае изменения интенсивности фотосинтетических процессов при внесении защитно-стимулирующих веществ не

все бывает так однозначно. Существуют результаты опытов, в которых доказано, что нередко наиболее высокопродуктивные растения получают в вариантах обработки со сравнительно низкими показателями фотосинтеза. Ученые объясняют это тем, что так как необработанные растения более интенсивно поражаются болезнями, происходит уменьшение активной ассимилирующей свет поверхности, что запускает механизм компенсации против последствий такого стресса, а также, возможно, растения вынуждены интенсифицировать фотосинтетические процессы для получения большего количества энергии. В этих же исследованиях допускается и прямое ингибирующее действие защитных веществ на растение, а относительно высокая продуктивность может быть случайна, либо обусловлена подавлением развития болезней, которые способны еще больше снизить интенсивность накопления органических веществ [8, 25].

По результатам определения содержания пигментов фотосинтеза в свежей фитомассе, видно, что наиболее существенный прирост их количества наблюдается при инкрустации Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л, а при дополнительном поливе регулятором роста Экосил Плюс, напротив, происходит достоверное снижение содержание хлорофилла «а», на фоне уменьшения количества остальных пигментов до уровня контроля (табл. 3). Противоположная картина наблюдается при предпосевной обработке смесью Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л, так как в данном случае внесение регулятора роста в почву обусловило интенсификацию накопления фотосинтетических пигментов. Стоит также отметить, что в варианте обработки семян в сочетании Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л полив регулятором роста Экосил Плюс вызвал заметное возрастание количества каротиноидов и хлорофилла «b» с еще большим уменьшением содержания хлорофилла «а» в хвое сеянцев сосны обыкновенной.

Т а б л и ц а 3. Влияние обработок на содержание пигментов фотосинтеза в сеянцах сосны обыкновенной

Варианты опыта	Хлорофилл «а»		Хлорофилл «b»		Каротиноиды	
	мг/г ( $M \pm m$ )	% к контролю	мг/г ( $M \pm m$ )	% к контролю	мг/г ( $M \pm m$ )	% к контролю
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	0,57±0,01	100	0,24±0,01	100	0,36±0,01	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	0,48±0,02*	84	0,23±0,01	96	0,32±0,02	89
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,55±0,02	96	0,24±0,01	100	0,35±0,01	97
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	0,87±0,02*	153	0,40±0,01*	167	0,56±0,01*	156
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,48±0,01*	84	0,20±0,01*	83	0,31±0,01	86
Инкрустирование семян и полив сеянцев 0,02 %-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут)						
Контроль (сухие семена)	0,55±0,01	100	0,25±0,01	100	0,37±0,02	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс	0,73±0,01*	131	0,30±0,01*	120	0,42±0,01*	116
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	0,52±0,02	95	0,26±0,02	104	0,39±0,01	105
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс	0,46±0,01*	84	0,24±0,03	96	0,38±0,01	103
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	0,44±0,03 *	71	0,26±0,02*	112	0,50±0,01*	135

Помимо абсолютного содержания пигментов, в качестве критерия общего состояния первичного метаболизма у растений используют соотношение хлорофиллов «а» к «b» и хлорофиллов «а» и «b» к каротиноидам. Оно характеризует интенсивность работы фотосинтетического аппарата и связано с активностью «главного» хлорофилла «а», чем оно больше, тем интенсивнее должен протекать фотосинтез [20]. Необходимым спутником хлорофилла являются каротиноиды, которые, хоть и не принимают непосредственного участия в реакциях фотосинтеза, но исполняют роль собирательных антенн световой энергии и «охраны» чувствительной к свету молекулы хлорофилла, их явное превалирование над хлорофиллами может указывать на чрезмерно высокую инсоляцию и/или развитие инфекций в растительных клетках. Обратное

соотношение говорит о снижении светособирающей функции пигментного комплекса, что также свидетельствует об ухудшении состояния растения [26, 27].

Произведенные обработки посадочного материала сосны вызвали определенные сдвиги от контрольных значений в соотношении содержания пигментов фотосинтеза (табл. 4). В вариантах обработки семян сосны защитно-стимулирующими составами без последующего полива сеянцев регуляторами роста наиболее заметное смещение соотношения хлорофилла «а» к хлорофиллу «b» отмечено при инкрустации смесью, включающей Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар М 25 мл/л, но в этом же варианте зафиксировано незначительное отрицательное смещение относительно контроля в соотношении хлорофиллы «а» + «b»/ каротиноиды. В остальных вариантах без параллельного внесения росторегуляторов в кассеты с сеянцами сосны соотношение пигментов равнялось либо было ниже контрольных показателей. Дополнительный полив регуляторами роста вызвал более заметное смещение соотношения содержания пигментов в хвое сеянцев сосны с наибольшим положительным эффектом при сочетании Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс. Однако в вариантах обработки Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс и Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар М 25 мл/л + полив Экосил Плюс, напротив, отмечена отрицательная динамика в относительном содержании хлорофиллов и резком возрастании доли каротиноидов.

Т а б л и ц а 4. Влияние комплексных обработок на интенсивность фотосинтеза сеянцев сосны обыкновенной

Варианты опыта	Хлорофилл «а»/ «b»	Хлорофиллы / каротиноиды
Инкрустирование семян		
Контроль (сухие семена)	2,38	2,25
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	2,06	2,26
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	2,28	2,25
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	2,16	2,25
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	2,46	2,17
Инкрустирование семян и полив сеянцев 0,02 %-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут)		
Контроль (сухие семена)	2,23	2,18
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс	2,46	2,40
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	2,00	2,01
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс	1,95	1,84
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	1,67	1,41

Так как растительный организм является целостной системой, то развитие патологических процессов отражается на всех его физиолого-биохимических функциях посредством взаимосвязанных реакций, происходящих на клеточном уровне. Одну из важнейших ролей в протекании и определении стрессовых и патологических реакций занимают активные формы кислорода (АФК), провоцирующие окисление структурных элементов клетки прежде всего посредством перекисного окисления липидов (ПОЛ), которое протекает также и при отсутствии стресса, обеспечивая ряд мембранных функций. Однако, когда уровни АФК превышают способность растения к поглощению, перекисное окисление липидов в биологических мембранах увеличивается, что негативно влияет на физиологические процессы растительных клеток [28, 29].

Анализ содержания продуктов перекисного окисления липидов (ТБК-продукты) в тканях сеянцев показал, что произведенные обработки посадочного материала сосны обыкновенной оказали существенное влияние на данный показатель относительно контроля лишь в половине вариантов опыта (табл. 5).

Без дополнительного внесения в почву регуляторов роста существенные отличия в уровне содержания ТБК-продуктов от контрольных значений зафиксированы только при инкрустации семян составами, содержащими Экосил Плюс. Причем эффект оказался двояким, так как в ва-

Т а б л и ц а 5. Влияние обработок на окислительные процессы в клетках семян сосны обыкновенной

Варианты опыта	Содержание ТБК-продуктов	
	мкМ/г ( $M \pm m$ )	% к контролю
Инкрустирование семян		
Контроль (сухие семена)	11,25±0,10	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	11,23±0,06	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	10,88±0,02	97
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	12,49±0,03*	111
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	10,43±0,03*	93
Инкрустирование семян и полив семян 0,02 %-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут)		
Контроль (сухие семена)	11,97±0,103	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс	9,21±0,202*	77
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	10,72±0,055*	94
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс	12,33±0,149	103
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	12,06±0,195	101

рианте, включающим Экосил Плюс 0,1 мл/л и Винцит Форте 50 мл/л, уровень ТБК-продуктов в тканях семян сосны значительно превысил контрольные показатели (до 111 %), а в сочетании Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар М 25 мл/л снизился до 93 % к контролю. В свою очередь параллельный полив семян сосны регуляторами роста вызвал диаметрально противоположный эффект, способствуя достоверному снижению уровня содержания ТБК-продуктов относительно контроля в вариантах с применением Экосил Микс и незначительным колебаниям данного показателя при поливе Экосил Плюс.

**Закключение.** Таким образом, самым оптимальным сочетанием обработки является инкрустирование семян смесью Экосил Микс 0,1 мл/л и Винцит Форте, 50 мл/л с параллельным внесением в почву регулятора роста Экосил Микс на 30-е и 60-е сутки проращивания. Именно в этом варианте наблюдается наиболее заметная интенсификация ростовых процессов семян сосны обыкновенной, сопряженная с активным накоплением органических веществ, нормализацией окислительных процессов и первичных метаболических путей растений. Все это говорит о том, что при правильном сочетании и оптимальной дозировке, испытанные препараты обладают явными иммуномодулирующими и протекторными свойствами на фоне отсутствия фитотоксичности. Поэтому их применение позволит выращивать посадочный материал хвойных пород с наибольшим раскрытием потенциала болезнеустойчивости и продуктивности при полной экологической безопасности и заметной экономической выгоде.

### Список использованных источников

1. Якимов, Н. И. Агротехника выращивания семян сосны обыкновенной в условиях закрытого грунта / Н. И. Якимов, Н. К. Крук, А. В. Юренин // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 25–30.
2. Волкович, А. П. Интенсивные технологии выращивания посадочного материала в лесовосстановлении / А. П. Волкович, В. В. Носников. – Минск: БГТУ, 2015. – 75 с.
3. Копытков, В. В. Современные технологии и агротехнические приемы по выращиванию, хранению и транспортировке посадочного материала с использованием композиционных полимерных составов / В. В. Копытков. – Минск: Акад. упр. при Президенте РБ, 2007. – 147 с.
4. Болезни посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой в постоянных питомниках могилевской области по данным молекулярно-фитопатологического обследования / С. В. Пантелеев [и др.] // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 172–176.
5. Дьяков, Ю. Т. Фундаментальная фитопатология / Ю. Т. Дьяков. – М.: Красанд, 2012. – 512 с.
6. Fungal Diseases in Forest Nurseries in Finland / A. Lilja [et al.] // Silva Fennica: a Journal of Forest Science. – 2010. – Vol. 44. – P. 525–545.
7. Волюнец, А. П. Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений / А. П. Волюнец, В. П. Шуканов. – Минск: Беларуская навука, 2016. – 252 с.
8. Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование / А. П. Волюнец [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2019. – 233 с.
9. Бабков, А. В. Агротехнология выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой / А. В. Бабков // Лесное и охотничье хозяйство. – 2013. – № 10. – С. 9–13.

10. Мочалов, Б. А. Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на севере / Б. А. Мочалов, С. В. Бобушкина // Лесн. журн. – 2013. – № 5. – С. 65–70.
11. Rune, G. Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted Scots pine seedlings / G. Rune // *Silva Fennica: a Journal of Forest Science*. – 2003. – Vol. 37, № 3. – P. 333–342.
12. Граник, А. М. Разработка новых приемов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А. М. Граник, Н. К. Крук // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 124–127.
13. Bunt, A. C. Media and Mixes for Container-Grown Plants. A manual on the preparation and use of growing media for pot plants. Loam or loamless media? / A. C. Bunt. – London; Glasshouse Research Institute: Unwin Human, 1988. – 308 p.
14. Дополнение к государственному реестру средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск, 2016.
15. Подготовка к посеву семян зерновых культур (рекомендации). – Жодино: НПЦ НАН Беларуси по земледелию, 2008. – 101 с.
16. Миренков, Ю. А. Химические средства защиты растений: справ. / Ю. А. Меринков, П. А. Саскевич, С. В. Сорока. – Несвиж: Несвиж. укрупн. типогр. им. С. Будного, 2011. – 394 с.
17. Древесина. Методы определения влажности (с изменениями № 1, 2, 3): ГОСТ 16483.7-71. – М., 2006.
18. Иванов, В. Б. Практикум по физиологии растений / В. Б. Иванов. – М.: Академия, 2001. – 136 с.
19. Храменкова, О. М. Практикум по физиологии растений: практическое руководство. Ч.1 / О. М. Храменкова. – Гомель: ГГУ, 2017. – 44 с.
20. Титова, М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* / М. С. Титова // Вестн. ОГУ. – 2010. – № 12 (118). – С. 9–12.
21. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев. Биохимические методы в физиологии растений / А. А. Шлык. – М.: Наука, 1971. – 327 с.
22. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: Учебное пособие / В. Ф. Гавриленко. – М.: Академия, 2003. – 250 с.
23. Батин, Н. В. Компьютерный статистический анализ данных: Учеб. пособие. – Минск: Ин-т подготовки науч. кадров НАН Беларуси, 2008. – 160 с.
24. Зайцев, Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
25. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants / A.-N. Petit [et al.] // *Photosynthesis Research*. – 2012. – Vol. 111, iss. 3. – P. 315–326.
26. Фарафонов, М. Г. Биоиндикаторные свойства хлорофилла в условиях воздействия загрязнений неопределенного состава / М. Г. Фарафонов // Эколого-географические проблемы сохранения и восстановления лесов Севера: тез. докл. – Архангельск, 1991. – С. 296–298.
27. Шалыго, Н. В. Биосинтез хлорофилла и фотодинамические процессы в растениях / Н. В. Шалыго. – Минск: Право и экономика, 2004. – 156 с.
28. The hypersensitive response; the centenary is upon us but how much do we know? / L. A. J. Mur [et al.] // *Journal of Experimental Botany*. – 2008. – № 59. – P. 501–520.
29. Sharma, P. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions / P. Sharma, A. B. Jha, R. S. Dubey, M. Pessarakli // *Journal of Botany*. – 2012. – № 6. – P. 1–26.

Поступила 11.03.2020