

УДК 630*443.2*414

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

Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси

**ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-СТИМУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ
НА БОЛЕЗНЕУСТОЙЧИВОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СЕЯНЦЕВ ЕЛИ (*PICEA ABIES*) С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ**

В данной статье представлены результаты исследования влияния комплексных обработок посадочного материала ели обыкновенной (*Picea abies*) средствами защиты растений и микроудобрениями. С этой целью была произведена предпосевная инкрустация семян ели защитно-стимулирующими составами, включающими регуляторы роста Экосил Микс или Экосил Плюс, фунгицид Винцит Форте и пленкообразователь Гисинар-М с последующей посадкой семян в кассеты Plantek 35F. Параллельно в часть контейнеров на 30-е и 60-е сутки проращивания посредством полива вносились 0,02%-ные растворы регуляторов роста Экосил Микс или Экосил Плюс. Сеянцы выращивались в лабораторных условиях на протяжении 90 дней, по истечении которых подсчитано количество выросших, пораженных болезнями и погибших сеянцев. Для анализа влияния обработок на продуктивность растений измерена длина надземной части и корня, а также диаметр прикорневой шейки сеянцев, масса сырого и абсолютно сухого органического вещества. Болезнеустойчивость оценивалась путем определения уровня содержания пигментов фотосинтеза и продуктов перекисного окисления липидов.

Предпосевная обработка семян ели составленными защитно-стимулирующими смесями, а также параллельное внесение в почву регуляторов роста позволили добиться в большинстве вариантов положительного действия на продуктивность и болезнеустойчивость сеянцев ели с закрытой корневой системой. Наиболее сильный прирост под влиянием обработок отмечен для надземной части сеянцев, а в некоторых вариантах также наблюдался интенсивный рост корневой системы и увеличение органической массы. В свою очередь, анализ изменения физиолого-биохимических параметров показал, что часть произведенных обработок посевного материала ели средствами защиты растений позволили более эффективно реализовать адаптационно-защитный потенциал растений за счет активации обменных процессов, в частности стимулируя работу фотосинтетического аппарата и снижая окислительный стресс в клетках сеянцев.

Ключевые слова: семена, сеянцы, ель, средства защиты растений, микроудобрения, болезнеустойчивость, продуктивность, фотосинтез, окислительный стресс.

I. A. Mashkin, L. A. Korytsko, V. P. Shukanov

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus

**THE EFFECT OF PROTECTIVE-STIMULATING PRODUCTS
ON PERSONAL INSTABILITY AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS
OF SPRUCE (*PICEA ABIES*) SEEDLINGS WITH CLOSED ROOT SYSTEM**

This article presents the results of research of the effects integrated processing with plant protection products on spruce (*Picea abies*) seedlings with closed root system. Presowing seed treatment of spruce was carried out with compounds (through inlaid), including growth regulators Ecosil Mix or Ecosil Plus, fungicide Vincit Forte and film former Gisinar-M. The inlaid seeds were then planted in Plantek 35F containers. In some containers, the substrate was watered with 0.02% solutions of growth regulators Ecosil Mix or Ecosil Plus. On the 90th day of germination, the number and length of seedlings were measured. Then, the parameters of the root system and the mass of seedlings were additionally determined. The level of photosynthesis activity and oxidative processes in the cells of pine seedlings was also analyzed.

Treatment with plant protection products in most cases had a stimulating effect on disease resistance and seedling productivity. In most cases, a significant increase in the length and mass of seedlings was noted. Also, in some experience options, active growth was noted under the influence of treatments for the root system. It was also noted that treatments with plant protection products increase the amount of photosynthesis pigments and reduce oxidative stress in seedling cells, which favorably affects their disease resistance and productivity.

Key words: seeds, seedlings, spruce, plant protection products, microfertilizers, disease resistance, productivity, photosynthesis, oxidative stress.

Введение. В настоящее время площадь земель лесного фонда Республики Беларусь составляет 9582 тыс. га, или 46% площади, при этом покрытые лесом земли превышают 8260 тыс. га. Исходя из площади лесного фонда Беларуси, на одного жителя приходится около 0,9 га покрытых лесом земель и 189 м³ древесного запаса. Несмотря на то, что это один из самых высоких показателей в Европе, интенсивное использование лесных ресурсов в деревоперерабатывающей, топливной и в других сферах хозяйствования поднимает вопрос усовершенствования лесовосстановления и лесоразведения [1]. В системе Министерства лесного хозяйства выстроена и успешно функционирует система лесовосстановления и лесоразведения. Так, в результате проведения целенаправленной работы в Республике Беларусь сохраняется формационная структура и породный состав лесов, повышается их устойчивость и продуктивность, увеличивается площадь покрытых лесом земель. При этом большое внимание уделяется восстановлению в первую очередь наиболее ценных хвойных и твердолиственных древесных пород [2].

Основным посадочным материалом для создания и восстановления лесных насаждений являются семена, технология выращивания которых предусматривает выполнение системы агротехнических мероприятий, направленных на повышение их качества. Семена нередко страдают от болезней, вызванных грибами, присутствующими на семенах. Поэтому подготовка семян к посеву является важным начальным этапом во всем длительном процессе выращивания семян. Для предохранения семян и проростков от грибных болезней, вызывающих полегание семян и другие болезни, применяется протравливание семян химическими средствами защиты, уничтожающими и подавляющими возбудителей грибных болезней. Также существует ряд препаратов, обладающих направленной росторегулирующей активностью, благодаря которой возможно опосредованное увеличение болезнеустойчивости посадочного материала на клеточном уровне [3]. Совместное применение фунгицидов и регуляторов роста в виде защитно-стимулирующих составов (ЗСС) при предпосевной обработке семян и дополнительное внесение в почву средств защиты растений должно продлевать и усиливать вызываемый ими эффект.

Не менее важным аспектом при выращивании семян является выбор технологии посева. Наиболее перспективным направлением интенсификации процессов лесовыращивания выступает производство посадочного материала с закрытой корневой системой в условиях закрыто-

го грунта путем выращивания контейнеризированных семян. Данная технология позволяет автоматизировать производство, экономить семена, использовать более ранний посев и увеличить вегетационный период [4]. Однако несмотря на явные преимущества выращивания посадочного материала в контролируемых условиях, все еще имеется ряд недостатков, устранение которых возможно только при проведении всесторонних научных исследований, направленных на создание комплексных агротехнических приемов по увеличению роста и болезнеустойчивости семян и сеянцев.

Основная часть. Объектами исследования являлись семена ели обыкновенной (*Picea abies*) с закрытой корневой системой, выращенные в лабораторных условиях с использованием кассет Plantek 35F. Данные кассеты разделены на 35 ячеек, которые имеют вертикальные щели и направляющие ребра в стенках, что способствует 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 [5]. В качестве почвы для заполнения ячеек вносился специализированный грунт для выращивания хвойных пород растений. Семена высевались в ручную на глубину 1 см по две штуки в одну ячейку. Всего в каждом варианте для посева использовано 4 кассеты и 280 семян (70 штук в кассете) с трехкратной повторностью опыта.

Перед посевом часть семян были инкрустированы защитно-стимулирующими составами, включающими в себя фунгицид Винцит Форте, регуляторы роста Экосил Микс или Экосил Плюс, а также пленкообразователь Гисинар-М, в вариантах с дозировкой препаратов на 1 л воды при минимальном расходе рабочего раствора 10 мл/кг семян:

Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л;
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л;

Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л;
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л.

Винцит Форте, КС (флутриафол 37,5 г/л + тиабендазол 25 г/л + имазалил 15 г/л) – системный фунгицид для защиты растений от комплекса заболеваний, передающихся с семенами, через почву и аэрогенным путем. Протравитель проявляет фунгицидный эффект в течение нескольких часов после посева протравленных семян. Действующие вещества обладают профилактическим и лечущим действием [6].

Экосил Микс, ВЭ (5 г/л тритерпеновых кислот) – природный полифункциональный препарат,

регулятор роста и индуктор иммунитета растений. Обогащен комплексом макро- и микро-элементов и широким спектром биологически активных соединений: модифицированных гуминовых кислот, фульвокислот, аминокислот и биогенных аминов (тирамин и др.), низкомолекулярных органических кислот (янтарная, малоновая, яблочная, щавелевая, и др.), фенолкарбоновых кислот [7].

Экосил Плюс, ВЭ (2,5 г/л тритерпеновых кислот) – регулятор роста, в состав которого помимо тритерпеновых кислот входит биологически активная сумма нейтральных изопреноидов, обогащенная композицией из более чем 30 летучих малополярных, моно- и сесквитерпеновых соединений [8].

Гисинар-М – пленкообразователь, представляющий собой полиэлектролитный гидрогель, получаемый на основе 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 для подкормок растений в период вегетации. Гисинар-М способствует более прочному закреплению защитно-стимулирующих составов на поверхности семян, что должно уменьшить необходимые дозировки других компонентов [9].

Параллельно в часть контейнеров на 30-е и 60-е сутки проращивания посредством полива вносились 0,02%-ные растворы регуляторов роста Экосил Микс или Экосил Плюс (расход рабочей жидкости – 5 л на 1 м²) в вариантах:

Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс;

Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс;

Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс;

Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс.

Сеянцы выращивались на протяжении 90 дней, по окончании которых осуществлен учет количества проросших, пораженных болезнями и погибших сеянцев (табл. 1). Наибольший процент выросших сеянцев отмечен в вариантах без нанесения на семена пленкообразователя Гисинар-М. При этом полив почвы регуляторами роста с параллельным использованием при предпосевной обработке Гисинар-М вызвал снижение количества сеянцев относительно контроля. Вместе с тем произведенные обработки в большинстве вариантов позволили значительно снизить долю пораженных болезнями и погибших сеянцев. Все это указывает на их эффективность в повышении всхожести семян и болезнеустойчивости сеянцев ели.

Таблица 1

Влияние комплексных обработок на рост сеянцев ели обыкновенной

Варианты опыта	Взошедшие семена		Больные сеянцы		Погибшие сеянцы	
	%	% к конт.	%	% к конт.	%	% к конт.
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	60,12	100	19,01	100	9,90	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	76,43*	127	10,90*	57	4,21*	42
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	60,48	101	12,40*	65	3,54*	36
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	75,48*	126	10,88*	57	2,52*	25
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	59,52	99	14,00*	74	5,20*	53
Инкрустирование семян и полив сеянцев 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)						
Контроль (сухие семена)	61,79	100	21,00	100	6,94	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	78,93*	128	4,68*	22	1,81*	26
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	54,88*	89	18,87	90	7,81*	113
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	71,55*	116	3,16*	15	2,00*	29
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	45,95*	74	33,94*	162	15,28*	220

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Также были измерены длина надземной части, корневой системы и толщина прикорневой шейки десяти случайно отобранных семян в каждом варианте (табл. 2). Анализ полученных данных показал, что произведенные обработки оказывают влияние на биометрические параметры семян. Так, в большинстве вариантов наблюдается существенное увеличение длины надземной части семян и незначительное ее снижение относительно контроля. Однако достоверные изменения длины корневой системы и толщины прикорневой шейки в опытах без полива регуляторами роста отмечены только при инкрустации семян ЗСС в сочетаниях Экосил Микс и Экосил Плюс 0,1 мл/л с Винцитом Форте, КС 50 мл/л без Гисинара-М. В вариантах с параллельным внесением в почву росторегулирующих препаратов стимулирующее действие на интенсивность роста корневой системы также оказывалось при предпосевной обработке семян защитно-стимулирующими составами, не включающими Гисинар-М.

Для более точной оценки влияния обработок на ростовые процессы и продуктивность семян была установлена масса сырого и абсолютно сухого органического вещества хвои, стеблей и корневой системы (табл. 3, 4). С этой целью в каждом варианте из 4 кассет три раза случайным образом отбиралось 10 семян (при трехкратной повторности опыта исследовано 90 семян), затем производилось

взвешивание свежего материала (хвои, стеблей и корневой системы) на лабораторных весах. Массу абсолютно сухого органического вещества, используя этот же материал, определяли на основании ГОСТ 16483.7–71 [10] в стеклянных бюксах со снятыми крышками, помещенными в сушильный шкаф при температуре $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ (минимальное время высушивания составляло 6 ч).

Инкрустирование семян ЗСС без последующего полива семян регуляторами роста вызвало наиболее существенный прирост сырой и абсолютно сухой массы растений относительно контроля в сочетании Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л. В остальных вариантах обработки без внесения в почву регуляторов роста зафиксированы значения, близкие к контрольным либо ниже. Дополнительный полив семян рабочими растворами препаратов Экосил Микс и Экосил Плюс позволил усилить положительный эффект, оказываемый на накопление органического вещества в варианте Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс с максимальным приростом сырой и абсолютно сухой массы стволиков (147 и 160% – соответственно), а также абсолютно сухой массы корней (до 176% к контролю). Помимо этого, существенное увеличение массы сырого и абсолютно сухого вещества семян отмечено при сочетании в обработке Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс.

Таблица 2

**Влияние комплексных обработок
на биометрические параметры семян ели обыкновенной**

Варианты опыта	Длина надземной части		Длина корня		Толщина прикорневой шейки	
	мм ($M \pm m$)	% к конт.	мм ($M \pm m$)	% к конт.	мм ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	40,87 ± 1,12	100	50,00 ± 2,24	100	0,75 ± 0,01	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	48,93 ± 0,98*	120	56,17 ± 0,96*	112	0,84 ± 0,01*	113
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	48,33 ± 1,52*	118	49,43 ± 0,67	99	0,76 ± 0,01	102
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	46,90 ± 1,57*	115	53,33 ± 1,08	107	0,77 ± 0,02	103
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	49,00 ± 1,16*	120	55,20 ± 2,03*	110	0,82 ± 0,01*	109
Инкрустирование семян и полив семян 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)						
Контроль (сухие семена)	40,00 ± 1,29	100	48,10 ± 1,59	100	0,72 ± 0,01	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	53,60 ± 1,30*	134	58,20 ± 1,59*	121	0,88 ± 0,01*	122
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	38,30 ± 0,89	96	40,97 ± 1,31*	85	0,66 ± 0,01*	92

Окончание табл. 2

Варианты опыта	Длина надземной части		Длина корня		Толщина прикорневой шейки	
	мм ($M \pm m$)	% к конт.	мм ($M \pm m$)	% к конт.	мм ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян и полив сеянцев 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)						
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	54,07 ± 0,72*	135	59,03 ± 1,98*	123	0,85 ± 0,01*	118
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	40,30 ± 1,13	101	40,13 ± 1,32*	83	0,64 ± 0,01*	88

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Таблица 3

**Влияние комплексных обработок
на сырую массу сеянцев ели обыкновенной**

Варианты опыта	Средняя масса сеянцев (10 штук)					
	Хвоя		Стволик		Корень	
	г ($M \pm m$)	% к конт.	г ($M \pm m$)	% к конт.	г ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	0,178 ± 0,002	100	0,146 ± 0,002	100	0,100 ± 0,001	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	0,203 ± 0,002*	114	0,212 ± 0,001*	145	0,097 ± 0,001	97
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,130 ± 0,002	73*	0,143 ± 0,001	98	0,066 ± 0,001*	66
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	0,127 ± 0,001	71*	0,144 ± 0,001	98	0,072 ± 0,005*	71
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,168 ± 0,001	94	0,135 ± 0,001	93	0,096 ± 0,001	95
Инкрустирование семян и полив сеянцев 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)						
Контроль (сухие семена)	0,179 ± 0,001	100	0,144 ± 0,001	100	0,103 ± 0,001	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	0,229 ± 0,001*	128	0,211 ± 0,001*	147	0,114 ± 0,001*	111
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	0,126 ± 0,001*	70	0,136 ± 0,001	95	0,061 ± 0,001*	60
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	0,230 ± 0,001*	129	0,205 ± 0,001*	143	0,117 ± 0,001*	113
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	0,155 ± 0,001*	87	0,132 ± 0,001*	92	0,070 ± 0,001	68

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Таблица 4

**Влияние комплексных обработок
на массу абсолютно сухого вещества сеянцев ели обыкновенной**

Варианты опыта	Средняя масса сеянцев (10 штук)					
	Хвоя		Стволик		Корень	
	г ($M \pm m$)	% к конт.	г ($M \pm m$)	% к конт.	г ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	0,045 ± 0,001	100	0,039 ± 0,001	100	0,018 ± 0,001	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	0,051 ± 0,001*	113	0,045 ± 0,001*	115	0,027 ± 0,001*	144

Окончание табл. 4

Варианты опыта	Средняя масса сеянцев (10 штук)					
	Хвоя		Стволик		Корень	
	г ($M \pm m$)	% к конт.	г ($M \pm m$)	% к конт.	г ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян						
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,034 ± 0,001*	76	0,035 ± 0,001*	89	0,012 ± 0,001*	65
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	0,039 ± 0,001*	86	0,042 ± 0,001*	109	0,015 ± 0,001*	82
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,049 ± 0,001*	109	0,041 ± 0,001	105	0,020 ± 0,001*	111
Инкрустирование семян и полив сеянцев 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)						
Контроль (сухие семена)	0,045 ± 0,001	100	0,035 ± 0,001	100	0,015 ± 0,001	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	0,065 ± 0,001*	145	0,055 ± 0,001*	160	0,027 ± 0,001*	176
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	0,034 ± 0,001*	75	0,027 ± 0,001*	79	0,014 ± 0,001	89
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	0,069 ± 0,001*	152	0,058 ± 0,001*	169	0,025 ± 0,001*	164
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	0,046 ± 0,001	102	0,038 ± 0,001	109	0,013 ± 0,001*	86

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Учитывая то, что морфобиометрические параметры дают довольно субъективное представление о развитии болезней в растительном организме, так как инфекции, вызванные грибами, не всегда проявляются внешне, необходимо также исследовать формирование болезнеустойчивости по физиолого-биохимическим показателям. Напрямую развитие патогенных процессов отражают такие биохимические параметры, как уровень содержания продуктов перекисного окисления липидов и пигментов фотосинтеза, а также соотношение разных типов пигментов между собой [11].

Одну из важнейших ролей в протекании патологических реакций занимают активные формы кислорода (АФК), провоцирующие окисление структурных элементов клетки. Постоянное образование активных форм кислорода является нормой, однако в ответ на стресс их количество резко возрастает, и так как естественные антиоксидантные системы уже не могут деактивировать избыток АФК, начинается интенсивное окисление органелл, зачастую приводящее к гибели клеток [12]. Одной из главных мишеней для АФК при их избытке является фотосинтетический аппарат. Под действием АФК нарушаются

структура и функции хлоропластов, происходит инактивация работы фотосистемы II, снижается активность ферментов фотосинтеза, уменьшается концентрация хлорофиллов и каротиноидов. Повреждение фотосинтетического аппарата вызывает еще большее накопление АФК и, как следствие, окислительное повреждение мембран, цитоскелета, нарушение водного обмена клеток [13].

Исходя из вышесказанного, очевидно, что высокое содержание продуктов перекисного окисления липидов в растительном организме указывает на избыточное образование АФК и активное развитие болезней, в свою очередь, низкое значение данного показателя говорит об эффективной реализации адаптационно-защитного потенциала растения и нормальном протекании окислительных процессов в клетках [11–13].

Интенсивность перекисного окисления липидов мембран оценивали при помощи спектрофотометрического метода (с использованием спектрофотометра Proscan MC 122), основываясь на способности 2-тиобарбитуровой кислоты (ТБК) связываться с липидными перекисями (малоновый диальдегид). Образующиеся окрашенные ТБК-продукты являлись тестом

активности данного процесса. Пробу свежей массы, отобранную в трехкратной повторности, растирали до гомогената в 0,25% ТБК и 10% трихлоруксусной кислоты (ТХУ). Затем пробы нагревали 30 мин при 95°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 волн равной 532 нм. Количество ТБК-продуктов (мкМ/г свежей массы) рассчитывали, используя молярный коэффициент экстинкции – $1,55 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [14].

Произведенные комплексные обработки посадочного материала средствами защиты вызвали значительные колебания уровня содержания продуктов перекисного окисления липидов во всех опытах (табл. 5). При этом в вариантах без дополнительного внесения в почву росторегуляторов Экосил Микс и Экосил Плюс отмечено существенное снижение данного показателя относительно контроля (в диапазоне от 76 до 89%). В случае же полива семян растворами регуляторов роста статистически значимое снижение содержания ТБК-продуктов зафиксировано только в опытах без использования при инкрустации семян пленкообразователя Гисинар-М. Включение в защитно-стимулирующие составы Гисинара-М, напротив, вызвало заметное увеличение интенсивно-

сти протекания перекисного окисления липидов мембран растительных клеток в сравнении со значениями, полученными в контрольном варианте.

Известно, что уровень содержания пигментов, участвующих в процессах фотосинтеза, подвержен мгновенным колебаниям при появлении инфекций вследствие не только окисления хлоропластов активными формами кислорода, но и общего нарушения процессов метаболизма в растении. С увеличением количества хлорофиллов и каротиноидов закономерно повышается интенсивность фотосинтеза, а в случае их снижения происходит обратное. При низкой эффективности фотосинтеза наблюдается резкое сокращение количества пластических веществ в тканях растения, что негативно отражается на способности растительного организма бороться с патогенами [11]. Помимо этого, следует учитывать то, что пестициды также способны угнетающе действовать на функционирование первичных метаболических путей растений, ввиду возможной фитотоксичности, устойчивость к которой определяется прежде всего видовыми особенностями, а также правильно подобранной дозировкой. Однако данные изменения зачастую обратимы, а в последствии, напротив, могут привести к интенсификации фотосинтеза, положительно влияя на рост и развитие семян [14].

Таблица 5

**Влияние комплексных обработок
на окислительные процессы в клетках семян ели обыкновенной**

Варианты опыта	Содержание ТБК-продуктов	
	мкМ/г ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян		
Контроль (сухие семена)	10,07 ± 0,09	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	8,99 ± 0,14	89
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	8,06 ± 0,08	80
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	8,97 ± 0,07	89
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	7,66 ± 0,08	76
Инкрустирование семян и полив семян 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)		
Контроль (сухие семена)	10,81 ± 0,13	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	8,07 ± 0,08*	75
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	12,07 ± 0,10*	112
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	8,05 ± 0,04*	74
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	12,30 ± 0,11*	114

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Таблица 6

**Влияние комплексных обработок
на содержание пигментов фотосинтеза в семенах ели обыкновенной**

Варианты опыта	Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>		Каротиноиды	
	мг/г ($M \pm m$)	% к конт.	мг/г ($M \pm m$)	% к конт.	мг/г ($M \pm m$)	% к конт.
Инкрустирование семян						
Контроль (сухие семена)	0,64 ± 0,01	100	0,30 ± 0,01	100	0,43 ± 0,01	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	0,65 ± 0,04	101	0,28 ± 0,01	93	0,30 ± 0,01*	69
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,56 ± 0,01*	87	0,24 ± 0,01*	81	0,36 ± 0,01	83
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	0,74 ± 0,01*	115	0,31 ± 0,01	103	0,43 ± 0,01	98
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	0,53 ± 0,01*	82	0,23 ± 0,02	79	0,36 ± 0,01	82
Инкрустирование семян и полив семян 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)						
Контроль (сухие семена)	0,64 ± 0,01	100	0,27 ± 0,01	100	0,44 ± 0,01	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	0,73 ± 0,01*	113	0,29 ± 0,01	106	0,46 ± 0,01	105
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	0,56 ± 0,01*	87	0,27 ± 0,01	98	0,50 ± 0,03*	113
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	0,70 ± 0,02*	108	0,32 ± 0,01*	119	0,52 ± 0,01*	117
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	0,56 ± 0,01*	87	0,26 ± 0,01	97	0,50 ± 0,02*	112

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Для исследования содержания фотосинтетических пигментов был выбран спектрофотометрический метод определения. Образцы хвои с постоянной навеской 0,2 г отбирали в трехкратной повторности. Далее в лабораторных условиях получали вытяжку пигментов в ацетоне. Экстракты пигментов фильтровались вакуумным способом, а после определяли оптическую плотность вытяжек на спектрофотометре Proscan MC 122. Количество отдельных пигментов устанавливали с помощью трехволнового метода, измеряя оптическую плотность (D) вытяжки при длине волн 662, 644 и 440 нм (максимумы поглощения соответственно хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в ацетоне). Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* и их сумму рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для ацетона, а концентрацию каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов вычисляли по уравнению Ветшттейна [15, 16].

Выявленные изменения содержания пигментов фотосинтеза в хвое семян под действием обработок (табл. 6) говорят о том, что произведенные агротехнические манипуляции оказывают как положительное, так и возможно отрицательное влияние на состояние фотосинтетического аппарата растений. В вариантах

без полива регуляторами роста хвоя семян ели к 90-м суткам проращивания имела наибольшее содержание пигментов фотосинтеза при инкрустации семян составом, включающим Экосил Плюс 0,1 мл/л и Винцит Форте 50 мл/л. В остальных опытах, не предполагающих параллельное внесение в почву росторегулирующих препаратов, уровень пигментов был ниже или равен контрольным показателям. Полив семян регуляторами роста вызвал стимулирующий эффект в сочетаниях Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс и Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Плюс, при этом в первом варианте обработки несущественным оказался прирост в свежей массе семян количества хлорофилла *b* и каротиноидов.

Помимо абсолютного содержания пигментов, в качестве критерия общей устойчивости у растений используют соотношение хлорофиллов *a* к *b* и хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам. Оно характеризует работу фотосинтетического аппарата и связано с активностью «главного» хлорофилла *a*, чем оно больше, тем интенсивнее должен протекать фотосинтез [17]. 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 либо развитие инфекций в растительных клетках, обратное же соотношение зачастую говорит о снижении светособирающей функции пигментного комплекса, что также может свидетельствовать об ухудшении состояния растения. В норме для растений, у которых ассимиляция диоксида углерода в темновой фазе фотосинтеза происходит по типу C_3 (по циклу Кальвина), в зависимости от времени года соотношение хлорофилла a к b колеблется в диапазоне от 2 до 5, а хлорофиллов a и b к каротиноидам принимает значения от 2,2 до 8,0 [11, 15, 17].

Обработка посадочного материала ели средствами защиты растений вызвала определенные сдвиги в соотношении содержания пигментов фотосинтеза (табл. 7). Так, инкрустация семян защитно-стимулирующими составами без дополнительного внесения в почву регуляторов роста способствовала положительному смещению соотношения содержания пигментов фотосинтеза к контролю. При поливе семян растворами регуляторов роста наиболее заметное смещение превалирования содержания хлорофилла a к хлорофиллу b отмечено в варианте Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + полив Экосил Микс. В остальных вариантах обработки с дополнительным внесением регуляторов роста данный показатель остался примерно на уровне кон-

троля, но на фоне этого явно увеличилось соотношение каротиноидов к хлорофиллам, что может свидетельствовать о наличии определенных стрессовых факторов (биотических и абиотических), к которым растения пытаются приспособиться путем наращивания доли вспомогательных пигментов фотосинтеза.

Заключение. Таким образом, произведенные комплексные обработки посадочного материала средствами защиты растений в большинстве вариантов оказывают положительное действие на продуктивность и болезнеустойчивость семян ели обыкновенной с закрытой корневой системой. Практически все обработки позволили повысить всхожесть семян и уменьшить число пораженных болезнями семян. Помимо этого, отмечен стимулирующий эффект препаратов на длину корней и надземной части семян, а также интенсивность накопления органических веществ. На клеточном уровне положительное влияние обработок отражалось в увеличении количества пигментов фотосинтеза с сохранением их оптимального соотношения при одновременном снижении содержания продуктов перекисного окисления липидов в тканях семян. Причем исходя из отмеченных закономерностей динамики изменения величины физиолого-биохимических показателей болезнеустойчивости наиболее оптимальными являются комплексные обработки посадочного материала ели, предполагающие инкрустирование семян ЗСС без использования пленкообразователя Гисинар-М и с дополнительным поливом семян регуляторами роста Экосил Плюс или Экосил Микс.

Таблица 7

**Влияние комплексных обработок
на интенсивность фотосинтеза семян ели обыкновенной**

Варианты опыта	Хлорофилл a / b	Хлорофиллы / каротиноиды
Инкрустирование семян		
Контроль (сухие семена)	2,16	2,16
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	2,26	3,06
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	2,34	2,22
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л	2,40	2,45
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л	2,26	2,14
Инкрустирование семян и полив семян 0,02%-ным раствором регуляторов роста (30 и 60 сут.)		
Контроль (сухие семена)	2,37	2,06
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Микс	2,52	2,19
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Микс	2,09	1,65
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + полив Экосил Плюс	2,16	1,97
Экосил Плюс 0,1 мл/л + Винцит Форте, КС 50 мл/л + Гисинар-М 25 мл/л + полив Экосил Плюс	2,12	1,66

Список литературы

1. «Большой разговор с Президентом» о лесе [Электронный ресурс] // Сайт Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <https://www.mlh.by/press-service/news/2695> (дата обращения: 12.11.2019).
2. Лесовосстановление [Электронный ресурс] // Сайт Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <https://www.mlh.by/our-main-activities/forestry/reforestation> (дата обращения: 12.11.2019).
3. Ламан Н. А., Алексейчук Г. Н., Калацкая Ж. Н. Современная технология предпосевной обработки семян // Наука и инновации. 2006. № 9 (43). С. 37–41.
4. Граник А. М., Крук Н. К. Разработка новых приемов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 124–127.
5. Бабков А. В. Агротехнология выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой // Лесное и охотничье хозяйство. 2013. № 10. С. 9–13.
6. Винцит Форте [Электронный ресурс] // ФМС. URL: <http://www.fmcrossia.com/Средства-защиты-растений/Препараты/Обработка-семян/Винцит-Форте> (дата обращения: 15.11.2019).
7. Экосил Микс [Электронный ресурс] // АгроБелорус. URL: <https://agrobeltarus.by/market/poli-funktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-miks-ve-5g-l-triterpenovykh-kislot> (дата обращения: 18.11.2019).
8. Экосил Плюс [Электронный ресурс] // АгроБелорус. URL: <https://agrobeltarus.by/market/poli-funktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-plyus-ve-2-5g-l> (дата обращения: 18.11.2019).
9. Гисинар-М [Электронный ресурс] // Schauer Group. URL: <http://schauer.by/katalog/gisinar-gisinar-m#> (дата обращения: 18.11.2019).
10. Древесина. Методы определения влажности (с изменениями № 1, 2, 3): ГОСТ 16483.7–71. Введ. 01.01.1973. М.: Стандартиформ, 2006. 3 с.
11. Вольнец А. П., Шуканов В. П. Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений. Минск: Беларуская навука, 2016. 252 с.
12. Гарифзянов А. Р., Жуков Н. Н., Иванищев В. В. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 2. С. 100–120.
13. Колупаев Ю. Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Биология. 2007. № 3 (12). С. 6–26.
14. Иванов В. Б. Практикум по физиологии растений. М.: Академия, 2001. 136 с.
15. Храмченкова О. М. Практикум по физиологии растений: практическое руководство. Часть 1. Гомель: ГГУ, 2017. 44 с.
16. Коробко В. В., Касаткин М. Ю. Большой практикум по физиологии растений. Саратов: СГУ, 2017. 103 с.
17. Титова М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник ОГУ. 2010. № 12. С. 9–12.

References

1. *Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus*. “Bol’shoy razgovor s Prezidentom” o lese [Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. “Big talk with the President” about the forest]. Available at: <https://www.mlh.by/press-service/news/2695> (accessed 12.11.2019).
2. *Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus*. *Lesovosstanovleniye* [Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Reforestation]. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activities/forestry/reforestation> (accessed 12.11.2019).
3. Laman N. A., Alekseychuk G. N., Kalatskaya J. N. Modern technology for pre-sowing seed treatment. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2006, no. 9 (43), pp. 37–41 (In Russian).
4. Granik A. M., Kruk N. K. Development of new methods for growing planting material with a closed root system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 124–127 (In Russian).
5. Babkov A. V. Agrotechnology of growing planting material of coniferous species with a closed root system. *Lesnoye i okhotnich’ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2013, no. 10, pp. 9–13 (In Russian).
6. FMC. Vincit Forte. Available at: <http://www.fmcrossia.com/Средства-защиты-растений/Препараты/Обработка-семян/Винцит-Форте> (accessed 15.11.2019).
7. AgroBelarus. Ecosil Mix. Available at: <https://agrobeltarus.by/market/poli-funktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-miks-ve-5g-l-triterpenovykh-kislot> (accessed 18.11.2019).

8. AgroBelarus. Ecosil Plus. Available at: <https://agrobeltarus.by/market/polifunktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-plyus-ve-2-5g-1> (accessed 18.11.2019).
9. Schauer Group. Gisinar-M. Available at: <http://schauer.by/katalog/gisinar/gisinar-m#> (accessed 18.11.2019).
10. GOST 16483.7-71. Wood. Moisture determination methods (as amended by No. 1, 2, 3). Moscow, Standartinform Publ., 2006. 3 p.
11. Volynets A. P., Shukanov V. P. *Fiziologiya patogeneza i bolezneustoychivosti rasteniy* [Pathogenesis physiology and disease resistance of plants]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 252 p.
12. Garifzyanov A. R., Zhukov N. N., Ivanishchev V. V. Formation and physiological reactions of reactive oxygen species in plant cells. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2011, no. 2, pp. 100–120 (In Russian).
13. Kolupaev Yu. E. Active forms of oxygen in plants under the action of stressors: formation and possible functions. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Agrarian University], 2007, no. 3 (12): Biology, pp. 6–26 (In Russian).
14. Ivanov V. B. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Workshop on plant physiology]. Moscow, Akademiya Publ., 2001. 136 p.
15. Khranchenkova O. M. *Praktikum po fiziologii rasteniy: prakticheskoye rukovodstvo. Chast' 1* [Workshop on plant physiology: a practical guide. Part 1]. Gomel, GGU Publ., 2017. 44 p.
16. Korobko V. V., Kasatkin M. Yu. *Bol'shoy praktikum po fiziologii rasteniy* [Large workshop on plant physiology]. Saratov, SGU Publ., 2017. 103 p.
17. Titova M. S. Content of photosynthetic pigments in the needles of *Picea abies* and *Picea koraiensis*. *Vestnik OGU* [Bulletin of OSU], 2010, no. 12, pp. 9–12 (In Russian).

Информация об авторах

Машкин Иван Антонович – младший научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Корытько Лариса Александровна – научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Шуканов Владимир Петрович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Information about the authors

Mashkin Ivan Antonovich – Junior Researcher of the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Korytsko Larisa Aleksandrovna – Researcher of the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Shukanov Vladimir Petrovich – PhD (Biology), Head of the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Поступила 30.01.2020