

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

АГРАРНЫЕ НАУКИ
AGRARIAN SCIENCES

УДК 630*232.3
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-379-384>

Поступило в редакцию 04.03.2020
Received 04.03.2020

В. В. Копытков

Институт леса Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь

**ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ СЕЯНЦЕВ
ХВОЙНЫХ ПОРОД ОТ ИССУШЕНИЯ**

(Представлено членом-корреспондентом Ю. М. Плескачевским)

Аннотация. Представлены результаты разработки композиционных полимерных материалов для обработки корневых систем сеянцев с целью повышения приживаемости лесных культур. Установлено, что тип целевых добавок и значения концентраций водорастворимых полимеров в составах для обработки могут оказывать существенное влияние на физико-химические свойства композитов и потерю влаги корневыми системами сеянцев. Приведены оптимальные составы композиционных полимерных материалов для защиты корневых систем ряда хвойных пород от иссушения.

Ключевые слова: композиционные полимерные материалы, хвойные породы, корневые системы, иссушение

Для цитирования: Копытков, В. В. Полимерные гели для защиты корневых систем сеянцев хвойных пород от иссушения / В. В. Копытков // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 3. – С. 379–384. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-379-384>

Vladimir V. Kopytkov

Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

POLYMER GELS FOR THE PROTECTION OF CONIFEROUS ROOT SYSTEMS FROM DESICCATION

(Communicated by Corresponding Member Yury M. Pleskachevsky)

Abstract. The results of the development of composite polymer materials for processing root systems of seedlings in order to increase the survival rate of forest crops are presented. It has been established that the type of target additives and the concentration of water-soluble polymers in the compositions for processing can significantly affect the physicochemical properties of the composites and moisture loss by root systems of seedlings. The optimal compositions of composite polymer materials for protecting the root systems of a number of conifers from drying out are given.

Keywords: composite polymeric materials, conifers, root systems, desiccation

For citation: Kopytkov V. V. Polymer gels for the protection of coniferous root systems from desiccation. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, vol. 64, no. 3, pp. 379–384 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-379-384>

Введение. Основной причиной снижения приживаемости лесных культур после посадки является ухудшение физиологического состояния сеянцев за счет иссушения корневых систем. Потеря влаги корневыми системами посадочного материала негативно сказывается не только на приживаемости, но и на дальнейшем росте растений. Для снижения степени иссушения корневых систем сеянцев хвойных пород и увеличения времени от их извлечения из питомника до посадки в грунт без критического снижения физиологического качества посадочного материала разработана новая агротехнология, основанная на нанесении на корневые системы покрытий из композиционных полимерных материалов (КПМ).

Предложено осуществлять обработку корневой системы семян хвойных пород пленкообразующим составом, предохраняющим их от иссушения при последующих технологических процессах хранения, транспортировки и посадки. При этом уменьшается степень иссушения корневых систем семян хвойных пород и увеличивается приживаемость посаженных растений.

Целью исследований является разработка композиционного полимерного материала с оптимальными технологическими и эксплуатационными свойствами для предпосадочной обработки корневых систем семян хвойных пород.

Материалы и методы исследований. В различных областях промышленности широкое применение получили гидроколлоиды. Их способность к гелеобразованию позволяет в значительной степени изменять физико-химические свойства формируемых систем различного назначения [1; 2]. Поэтому объектами исследования являлись гидроколлоиды – растворы водорастворимых полимеров: натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ) и полиакриламида (ПАА) с целевыми добавками.

Во избежание образования комков в процессе приготовления состава периодически проводили контроль полноты растворения полимера, которую оценивали по отсутствию видимых остатков полимера при переливании приготовленного раствора из сосуда в сосуд. При постоянном перемешивании в дистиллированную воду вводили необходимое количество целевых добавок до их равномерного распределения в объеме системы, а затем вводили приготовленный раствор полимера. В качестве целевых добавок использовали аммоний фосфорнокислый двузамещенный (ГОСТ 3772–74) и субстрат сапропелевый (ТУ РБ 03535026.288–97)¹.

Определение условной вязкости КПП проводили на вискозиметре типа ВЗ-246 согласно ГОСТ 8420–74 «Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости» [3]. За условную вязкость материалов, обладающих свободной текучестью, принимают время непрерывного истечения (в секундах) 100 мл испытуемого материала через калиброванное сопло вискозиметра диаметром 4 мм.

Однородность покрытий определяли с помощью электрического дефектоскопа ЭД-4 [4]. Степень повреждаемости корневых систем семян хвойных пород оценивали по значениям эластичности покрытий, которую определяли согласно ГОСТ 6806–73 «Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности при изгибе» на шкале гибкости ШГ-1 [3]. Метод определения эластичности заключается в нахождении минимального диаметра цилиндрического стержня, изгибание на котором при 5-кратной повторности не вызывает разрушения покрытия. Анализ поверхностей покрытий на предмет обнаружения признаков разрушения проводили с использованием лупы с 4-кратным увеличением.

Механическую прочность корней различных семян до и после их обработки КПП определяли по методике, изложенной в [3].

Определение влагоудерживающей способности покрытий на основе КПП проводили весовым методом на аналитических весах ВЛР-200 второго класса точности.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали методом математической статистики с использованием программ Excel 2007 и Statistica 7.0 [5].

Результаты и их обсуждение. В процессе гелеобразования в растворах водорастворимых полимеров образуются пространственные макромолекулярные структуры и изменяется вязкость растворов. Между формирующейся пленкой водорастворимого полимера и защищаемой поверхностью возникает адгезия [6; 7]. Примеры составов и основные свойства вариантов разработанного композиционного полимерного материала для защиты корневой системы семян хвойных пород приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, сочетание выбранных компонентов в предлагаемых составах II–IV позволило увеличить эластичность полимерного покрытия на 17–33 %, а также обеспечить значения оптимальной вязкости 165–170 с. Данные показатели соответствуют наиболее полному и эффективному использованию полимерной композиции, которая удерживается без стекания и комкования на поверхности корневых систем семян сосны обыкновенной [3; 8]. Отсутствие

¹ «Состав «Корпансил» для защиты корневой системы растений»: ТУ РБ 00969712.02–2000 / В. В. Копытков, М. М. Блинец; Внесены в реестр госуд. регистрации 23.03.2010 г. за № 010484/02. – 11 с.

Т а б л и ц а 1. Составы полимерной композиции для защиты корневых систем сеянцев хвойных пород
 T a b l e 1. The compositions of the polymer composition for protection root system of coniferous seedlings

Компоненты и свойства Components and Features	Содержание составов, мас. % The content of the compositions, wt. %				
	Номера вариантов составов Formulation Option Numbers				
	I	II	III	IV	V
<i>Компоненты</i> <i>Components</i>					
Натрийкарбоксиметилцеллюлоза	1	3	3,5	4	4,5
Полиакриламид	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Аммоний фосфорнокислый двузамещенный	0	0,004	0,005	0,006	0,07
Субстрат сапропелевый	0	0,3	0,5	0,7	0,8
Вода	98,9	96,396	95,495	94,594	93,730
<i>Свойства</i> <i>Properties</i>					
Эластичность полимерного покрытия, мм	7	6	6	6	8
Однородность покрытия, ч	5	4	4	4	6
Вязкость, с	142	165	170	170	190

в растворе субстрата сапропелевого и аммония фосфорнокислого приводит к нежелательным результатам – снижению вязкости состава на 16–20 % и увеличению значений эластичности полимерного покрытия на 16–17 %.

Проведены исследования влияния комбинации гелеобразователей NaКМЦ и ПАА и целевых добавок в виде аммония фосфорнокислого двузамещенного и субстрата сапропелевого на значения вязкости состава. При увеличении концентрации ПАА до 0,9 мас. % условная вязкость композиционного полимерного состава составила 190 с и превысила оптимальный показатель на 12–15 %. При снижении концентрации ПАА до 0,1 мас. % условная вязкость снизилась до 142 с. Следовательно, оптимальные значения вязкости и эластичности полимерной композиции для защиты корневой системы сеянцев хвойных пород соответствуют раствору, содержащему натрийкарбоксиметилцеллюлозу от 3 до 4 мас. %, а в качестве добавок содержит ПАА от 0,3 до 0,7 мас. %, аммоний фосфорнокислый двузамещенный от 0,004 до 0,006 мас. % и субстрат сапропелевый от 0,3 до 0,7 мас. %. Данное соотношение компонентов является оптимальным и соответствует значениям условной вязкости композиционного полимерного состава, равной 165–170 с. При этом необходимо отметить, что для установления оптимальной вязкости КПМ при обработке корневых систем сеянцев хвойных пород учитывали следующие основные технологические требования к составу: не должен стекать с корневых систем сеянцев при обработке; не должен препятствовать свободному погружению корневой системы в состав; должен обладать способностью образовывать на корнях сплошные защитные покрытия без комкования.

В табл. 2 представлено влияние состава КПМ и времени после обработки на потерю влаги корневыми системами сеянцев различных хвойных пород в естественных условиях.

Потеря влаги корневыми системами в естественных условиях происходит интенсивно в первые 6–8 ч. Количество влаги за такой промежуток времени падает в корневых системах сеянцев в 8–9 раз. В дальнейшем падение становится плавным и за следующие 64 ч количество влаги в корневых системах сеянцев хвойных пород падает еще в 1,5 раза.

После обработки сеянцев хвойных пород вокруг корневых систем образуется гелеобразный слой. Проведенные исследования показывают, что при обработке КПМ сеянцев сосны обыкновенной через 72 ч после начала эксперимента потеря воды на 15 % меньше по сравнению с контролем (необработанные корневые системы композиционным полимерным материалом). При обработке корневых систем КПМ ели европейской потери воды снижены на 17 %, при обработке лиственницы европейской – на 18 %.

Т а б л и ц а 2. Влияние времени после обработки корневых систем сеянцев различных хвойных пород композиционным полимерным материалом на потерю влаги (%)

T a b l e 2. Effect of time after treatment of root systems of seedlings of various conifers with composite polymer material on moisture loss (%)

Вид сеянца Seedling type	Вариант опыта Experience option	Время после обработки, ч Time after treatment, h												
		0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	24	48	72
Сосна обыкновенная	Контроль	4,98	7,0	10,0	15,3	19,3	20,3	22,0	30,0	35,0	40,0	51,0	53,0	54,0
	NaКМЦ + добавки	4,45	6,7	9,8	14,8	18,9	19,4	21,2	29,8	29,8	32,1	42,0	44,1	45,9
Ель европейская	Контроль	5,7	8,3	13,2	17,4	20,1	22,2	26,4	32,3	37,4	43,2	52,4	54,3	58,1
	NaКМЦ + добавки	4,7	7,6	9,9	12,4	16,1	18,3	20,2	29,1	30,3	31,6	33,4	38,1	48,2
Лиственница европейская	Контроль	6,1	10,6	20,1	22,3	28,6	30,1	34,2	41,8	47,4	50,1	54,3	60,0	63,7
	NaКМЦ + добавки	4,9	8,2	10,0	12,7	19,4	22,3	26,5	30,1	34,2	38,1	43,0	48,2	52,4

Анализ данных табл. 2 также показывает, что на потерю влаги корневых систем сеянцев оказывает влияние вид посадочного материала. Наибольшая потеря воды корневыми системами в сопоставимых условиях наблюдается у лиственницы европейской, наименьшая – у сосны обыкновенной.

В табл. 3 представлены результаты, полученные на основе многолетнего сравнения отечественного состава, названного «Корпансил», и зарубежных композиционных материалов аналогичного назначения.

Т а б л и ц а 3. Сравнительная характеристика разработанного состава «Корпансил» и известных аналогов для обработки корневых систем растений

T a b l e 3. Comparative characteristics of the developed corporation “Korpanzil” and known analogues for the treatment of plant root systems

Показатель Index	Композиционные материалы Composite Materials		
	«Корпансил»	«Альгинат натрия» ¹	«Гидрогель» [3]
Количество погибших растений в течение года после посадки, %	2	10	6
Повреждение корневой системы при механизированной посадке, %	2	12	8
Вид аналогов	Водный раствор		Твердая форма
Возможность обработки партиями	+	+	–
Стоимость 1 л (кг) состава, долл. США	1,2	2,6	2,8
Расход на 1000 шт. однолетнего посадочного материала, л (кг)	2,5–3,0	2,0–3,0	2,2–3,1
Происхождение ингредиентов	Беларусь	Россия	Англия

Анализ данных табл. 3 свидетельствует, что разработанный состав «Корпансил» не только не уступает, но по некоторым показателям превосходит известные мировые аналоги при меньшей его стоимости. При обработке корневых систем составом «Корпансил» количество погибших растений снижается в 3–5 раз, а повреждаемость их при механизированной посадке – в 4–6 раз.

Изучено влияние обработки корневых систем сеянцев хвойных пород различными составами на величину разрывного усилия корней. Апробированные композиционные материалы в разной степени способствуют увеличению прочностных показателей корневых систем растений. Наибольшее разрывное усилие зафиксировано на варианте с обработкой корней различных диаметров составом типа «Корпансил». У контрольных сеянцев (необработанных) диаметром корней менее 1 мм разрывное усилие для сеянцев сосны составляет 0,8 МПа. Прочностные показатели сеянцев, обработанные торфо-глинистой смесью, практически не отличаются от контроля. Корни диаметром больше 1 мм преобладают в массе (до 80 % от общей массы) над остальными.

¹ Средство для защиты корневых систем растений от иссушения: пат. № 620244 СССР МПК (1978) А 01 Q 23/04 / Н. Я. Попова, Г. В. Петров, А. Р. Родин, А. И. Хорошенко, В. С. Теодоронский, О. М. Шапкин; опублик. 25.08.1978.

Обработка корневых систем сеянцев составом «Корпансил» увеличивает разрывное усилие в 1,5–2,0 раза и позволяет не только предотвратить иссушение, повысить приживаемость сеянцев на лесокультурной площади, но и уменьшить механическую повреждаемость корней при транспортировке и посадке. Обработка корневых систем сеянцев хвойных пород составом «Корпансил» приводит к увеличению приживаемости растений до 15 %, текущего прироста лесных культур в высоту до 20 % и срок посадки лесных культур увеличивается на 20–25 дней [3].

С 2004 г. Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь внедрение «Технологии выращивания, хранения и транспортировки посадочного материала с использованием композиционного материала» предусматривало наработку его на Корневской экспериментальной лесной базе Института леса НАН Беларуси и его реализация лесхозам под торговой маркой «Корпансил».

По разработанным техническим условиям (ТУ РБ 00969712.02–2000 «Состав «Корпансил» для защиты корневой системы растений») и согласно «Рекомендациям по технологии обработки корневых систем посадочного материала от иссушения» на Корневской экспериментальной лесной базе Института леса НАН Беларуси в 2004–2019 гг. наработано и реализовано лесхозам Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь более 300 тыс. л состава «Корпансил» и с его использованием созданы лесные культуры на площади более 190 тыс. га.

Заключение. Разработан композиционный полимерный материал типа «Корпансил» для защиты корневых систем сеянцев хвойных пород от иссушения. Установлены оптимальные концентрации композиционного полимерного материала и целевых добавок для получения максимального эффекта при защите корневых систем сеянцев хвойных пород от иссушения. После обработки корневых систем сеянцев хвойных пород композиционным полимерным материалом потеря в них влаги уменьшилась на 15–18 % по сравнению с контролем.

Установлено, что обработка корневых систем сеянцев хвойных пород водным раствором композиционного полимерного материала повышает на 15 % приживаемость лесных культур хвойных пород, а также снижает в 4–6 раз повреждаемость корневых систем растений при транспортировке и посадке.

По результатам исследований разработана нормативно-технологическая документация, на основе которой созданы лесные культуры на площади более 190 тыс. га.

Список использованных источников

1. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents / A. Guarda [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2004. – Vol. 18, N 2. – P. 241–247. [https://doi.org/10.1016/s0268-005x\(03\)00080-8](https://doi.org/10.1016/s0268-005x(03)00080-8)
2. Bhattacharya, S. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies* / S. Bhattacharya. – John Wiley & Sons, 2014. – 744 p. <https://doi.org/10.1002/9781118406281>
3. Новые композиционные полимерные составы для лесовыращивания в природно-климатических условиях Беларуси и Казахстана / В. В. Копытков [и др.]. – Минск, 2014. – 509 с.
4. Дидюков, З. С. Лакокрасочные покрытия / З. С. Дидюков. – М., 1995. – 216 с.
5. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М., 1984. – 424 с.
6. Савицкая, Т. А. Съедобные полимерные пленки и покрытия: история вопроса и современное состояние / Т. А. Савицкая // *Полимерные материалы и технологии*. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 6–36.
7. Влияние различных технологических факторов на реологические характеристики альгинатных гелей / Л. С. Большакова [и др.] // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 6. – С. 52–67.
8. Копытков, В. В. Разработка и исследование модифицированных полимерных композиций для защиты корневых систем растений от иссушения и повышения их приживаемости / В. В. Копытков, Ч. Доржсурэн // *Шинжлэх ухааны академи (ШУА), Ерөнхий болон Сорилын Биологийн Хурээлэн. Эрдэм шинжилгээний бүтээл*. – 2018. – № 34. – С. 132–139.

References

1. Guarda A., Rosell C. M., Benedito C., Galotto M. J. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, no. 2, pp. 241–247. [https://doi.org/10.1016/s0268-005x\(03\)00080-8](https://doi.org/10.1016/s0268-005x(03)00080-8)
2. Bhattacharya S. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. John Wiley & Sons, 2014. 744 p. <https://doi.org/10.1002/9781118406281>
3. Kopytkov V. V., Borovkov A. V., Kaverin V. S., Kopytkov V. V., Tairbergenov Yu. A. *New composite polymer compositions for forest growing in the climatic conditions of Belarus and Kazakhstan*. Minsk, 2014. 509 p. (in Russian).

4. Didyukov Z. S. *Paintwork*. Moscow, 1995. 216 p. (in Russian).
5. Zaitsev G. N. *Mathematical statistics in experimental botany*. Moscow, 1984. 424 p. (in Russian).
6. Savitskaya T. A. Edible polymer films and coatings: history and current state. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2016, vol. 2, no. 2, pp. 6–36 (in Russian).
7. Bolshakova L. S., Litvinova E. V., Zhmurin N. D., Burtseva E. I. Influence of various technological factors on the rheological characteristics of alginate gels. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2012, no. 6, pp. 52–67 (in Russian).
8. Копытков В. В., Dorzhsuren Ch. Development and research of modified polymer compositions for protecting plant root systems from desiccation and increasing their survival. *Shinzhleh uhaana academies, Eronchi Bolog Sorilyn Biologiin Khureelen. Erdem Shinzhilgeniy Buteel*, 2018, no. 34, pp. 132–139 (in Russian).

Информация об авторе

Копытков Владимир Васильевич – д-р с.-х. наук, доцент. Институт леса НАН Беларуси (ул. Пролетарская, 71, 246001, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: kopvo@mail.ru.

Information about the author

Kopytkov Vladimir V. – D. Sc. (Agrarian), Associate professor. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya Str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: kopvo@mail.ru.