

в том числе 3 участка на территории Березинского биосферного заповедника, и 13 участков леса, пострадавших от ветровалов, в Гомельской и Могилевской области.

Нематоды обнаружены в 60,0 % образцов. По морфологическим признакам определены нематоды 2 родов – *Bursaphelenchus* sp. и *Cryptaphelenchus* sp., идентифицировано 3 вида *B. andrassyi* Braasch, 2014, *B. vallesianus* Braasch, 2004. *B. mucronatus* Mamiya & Enda, 1979.

В 4 районах страны (Речицкий, Гомельский, Могилевский, Столинский) на ветровалах были отобраны отрезки стволов и крупных веток с признаками заселения потенциальными переносчиками. В период с марта по май 2025 года из них отродились усачи *Acanthocinus aedilis*, *Monochamus galloprovincialis*. 31 % жуков имели деформированные надкрылья. Все отродившиеся насекомые не несли фитопаразитических или энтомопатогенных нематод, несмотря на наличие стволовых нематод в образце.

Таким образом, более половины образцов, собранных в усыхающих или поврежденных ветровалами сосняках, содержат нематод из 2 родов, идентифицировано 3 вида. При инкубации личинок в инсектарии, треть имаго вылетает с поврежденными надкрыльями, насекомые не несут в себе стволовых нематод, даже если они обнаруживаются в древесине.

Исследования выполнены в рамках НИР 2 «Анализ фитосанитарного риска инвазивных видов патогенов сосны для обоснования необходимости их регулирования на территории Беларуси» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы.

Литература

Анализ фитосанитарного риска опасного карантинного организма *Bursaphelenchus xylophilus* в Беларуси / А.В.Кобзарь-Шпиганович, В.Б.Звягинцев, А.Г.Прохорова // Лесное хозяйство: матер. 88-й научно-технич.конф. професс.-препод. состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 24 янв.–16 февр. 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 155-156.

Массовое усыхание сосновых лесов в Беларуси / В.Б. Звягинцев, А.А. Сазонов, А.Ю. Рысс // Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту: тези доповідей учасників III Міжнародної науково-практичної конференції. – Білоцерківськ: Біла Церква, 2017. – С. 56-57.

Шпиганович А.В. Биологические особенности *Ips acuminatus* gyll. (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) в период вспышки массового размножения / А.В. Шпиганович; науч. рук. В.Б.Звягинцев // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2020». – Минск: Изд. центр БГУ, 2021. – С. 50.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭНДОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В МИКОРИЗНЫХ КОРНЕВЫХ ОКОНЧАНИЯХ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Колмаков П.Ю.¹, Жерносеков Д.Д.²

¹Белорусский государственный университет, pavel_kolmakov@list.ru

²Витебский государственный университет имени П.М. Машерова

FUNCTIONAL ENDOGENOUS CHANGES IN ENDINGS MYCORRHIZAL ROOT OF NORWAY SPRUCE

P.Yu. Kolmakov¹, D.D. Zhernosekov²

Introduction. In the mycorrhizal root end of Norway spruce, the functional structurally significant anatomical transformations are asynchronous processes of lignification

and suberization of the endoderm and mesoderm. This feature has a fundamental effect on the regulation of various types of radial transport of substances. The main functional messengers of consolidation are pelotons and hyphal elements, which are contained in the exoderm, mesoderm, but are absent in the barrier cells of the endoderm. The carried research can serve as a basis for further study of endogenous synchronizing factors influencing the distribution of Norway spruce.

Введение. В рамках крупного направления, исследующего эктомикоризные симбиозы, выделяют более узкие течения, к которым можно отнести изучение уровней и механизмов устойчивости эктомикоризных растений к неблагоприятным экологическим факторам, естественным и антропогенным. Среди существующих узких направлений (течений) с позиции структурной ботаники можно выделить исследования в области функциональной анатомии (Веселкин, 2013). Экологическая роль разнородных ассоциаций может быть оценена и через призму анатомических изменений их частей, возникающих при консолидациях.

Цель работы – выявить структурные изменения в анатомическом строении микоризных корневых окончаний ели обыкновенной при проникновении грибного компонента.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: – проанализировать статистически значимую выборку поперечных анатомических срезов микоризных корневых окончаний ели обыкновенной; – выявить физиологически значимые изменения в микоризных корневых окончаниях системы «*Picea abies* – эктомикоризные грибы».

Материал и методы исследований. Для изучения функциональных эндогенных изменений разнородных организмов выбрана модельная система «*Picea abies* (L.) H. Karst. – эктомикоризные грибы».

Модельная система соответствует критериям, необходимым для характеристики её компонентов: – это хорошая изученность биологических, экологических параметров и ареала распространения растительного компонента, его хозяйственная и экологическая значимость, а также способность образовывать эктомикоризы с грибным компонентом.

Анатомически, характерная черта изучаемой системы: – гистотропная специализация и адаптация мицелия грибного компонента к определенным типам клеток и тканей корня растительного компонента. Эта особенность изучаемой консолидации отличает её от случаев паразитического инфицирования грибным компонентом растительного (Каратыгин, 1993).

Биологическая и экологическая характеристики растительного компонента *Picea abies*, как и особенности формирования современного ареала распространения хорошо изучены. Однако, воздействие региональных и локальных условий на состояние темнохвойных лесов накладывается на некоторый синхронизирующий фактор, усиливая или ослабляя его (Матюшевская, 2017).

В работе применялись методы исследований: закладка пробных площадей, метод микроскопии.

Пробные площади закладывались в еловых сообществах в своих натуральных границах (Бурова, 1986). Отбор проб почвенных профилей проводился стальным цилиндром на глубину 20 см в проекции кроны модельной системы «*Picea abies* – эктомикоризные грибы». Тонкие корни ели обыкновенной предварительно промывали водопроводной водой, а затем дистиллированной, чтобы удалить минеральную почву. Почвенные профили разбирались по горизонтам с параметрическим замером изучаемых характеристик. Материал фиксировался в 70 % спирте.

При микроскопии применялся стереоскопический микроскоп «Альтами ПС» с камерой TourCam U3CMOS08500KPA. Анатомические срезы без окрашивания (режимы *Clear noise*, *Negative*) рассматривались в глицерине для предотвращения быстрого высыхания препаратов с помощью биологического микроскопа модели № 126 «АкваЛабГрупп» с камерой HDCE-X5N. Выборка микрофотографий в различных световых решениях является численно статистически значимой и представлена в виде базы данных. Было рассмотрено и проанализировано более 1000 микрофотографий, выполненных на материале, отобранного в различных сообществах с елью обыкновенной. Анатомическое строение поперечного сечения микоризного корневого окончания ели обыкновенной представлен на рисунке 1.

Аналізу не подвергались ранее известные из литературных источников анатомические изменения в эктомикоризных тонких корнях (Эсау, 1969; Киселева, 1969; Селиванов, 1981).

Результаты и их обсуждение. Функциональными структурно значимыми анатомическими преобразованиями в модельной системе являются асинхронные процессы лигнификации и суберинизации эндодермы (№ 1) и мезодермы (№ 2). Асинхронность образования клеточных структур экзодермы и эндодермы отвечает за выполняемые этими тканями различных функций: защитной и барьерной соответственно. Эта особенность кардинальным образом влияет на регуляцию различных видов радиального транспорта веществ. Механизмы, отвечающие за процессы лигнификации, суберинизации и десуберинизации, по-видимому, также будут различными.

Экзодерма, как защитная ткань, имеет лигнифицированные клетки (№ 3) без функциональных мессенджеров и гифальных элементов и, скорее всего, гистологически соответствует описанным в литературе пятнам Каспари (Эсау, 1969). Функция этих пятен не изучена. Слои в несколько клеток защитной ткани с функциональными мессенджерами, густо оплетены гифальными элементами и процессы суберинизации, вероятно, контролируются грибным компонентом. Наличие функциональных мессенджеров в клетках экзодермы подтверждает данные литературы о том, что «в клетках экзодермы, по-видимому, сохраняется протопласт» (Эсау, 1969). Суберинизация клеток неравномерная.

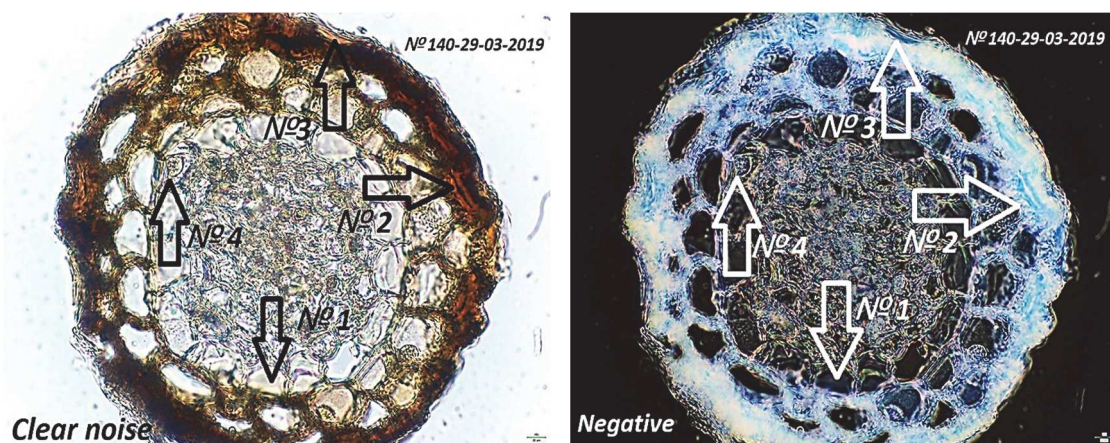


Рис. 1. Поперечное сечение микоризного корневого окончания ели обыкновенной

Эндодерма, как барьерная ткань, состоит из одного ряда клеток без функциональных мессенджеров пелотонов. В начале происходит её лигнификация, а затем

суберинизация. Эндодерма имеет важное значение при регуляции радиального транспорта веществ. Процесс лигнификации, по-видимому, контролируется растительным компонентом. Экспериментальные анатомические данные показывают, что суберинизация клеток эндодермы не всегда происходит синхронно. В однорядном слое эндодермы гистологически обнаружены клетки, в которых суберинизация либо не выявлялась, либо проявлялась не в полной мере по сравнению с соседними клетками. Наблюдаемые пропускные клетки, как правило, с пелотонами (№ 4).

Анатомические особенности микоризных корневых окончаний формируются в результате происходящего гомеостаза в модельной системе «*Picea abies* – эктомикоризные грибы». Обменом N-ацетилглюкозамина (мономера хитина) и металлов обеспечивается суберинизация и десуберинизация первичной коры. Процессы асинхронной суберинизации и десуберинизации тканей с защитными и барьерными функциями влияют на функционирование различных типов радиального транспорта веществ (апопластного, симпластного, метаболического).

Заключение. Под воздействием грибного компонента происходят анатомические изменения в корневых окончаниях ели обыкновенной в модельной системе «*Picea abies* – эктомикоризные грибы», а именно: процессы асинхронной лигнификации и суберинизации экзодермы и эндодермы. Механизмы молекулярной асинхронной регуляции лигнификации и суберинизации тканей первичной коры, по-видимому, также различны и выражаются в тонкой регуляции различных видов транспорта через ткани с барьерными и защитными функциями. Основными функциональными мессенджерами молекулярной консолидации системы являются пелотоны и гифальные элементы, которые содержатся в экзодерме, мезодерме, но отсутствуют в барьерных клетках эндодермы. Функциональные мессенджеры пелотоны встречаются в пропускных клетках эндодермы и в паренхиме осевого цилиндра, что не указывалось в литературных источниках ранее.

Проведенные исследования могут служить основой для дальнейшего изучения эндогенных синхронизирующих причин, влияющих на распространение ели обыкновенной.

Литература

- Бурова, Л.Г. Экология грибов макромицетов / Бурова Л.Г. – М.: Наука, 1986. – 221 с.
- Веселкин, Д.В. Морфологическая изменчивость и адаптивное значение эктомикориз хвойных (Pinaceae Lindl.): дис. ... доктора биол. наук: 03. 02. 08; 03.02.01 / Веселкин Денис Васильевич; Ин-т экологии растений и животных Российской Академии Наук. – Екатеринбург, 2013. – 489 с.
- Каратыгин, И.В. Коэволюция грибов и растений / И.В. Каратыгин. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 119 с.
- Киселева, Н.С. Атлас по анатомии растений / Н.С. Киселева, Н.В. Шелухин. – Минск: Вышэйшая школа, 1969. – 287 с.
- Матюшевская Е.В. Усыхание ели на территории Беларуси / Е.В. Матюшевская, В.Н. Киселев. – Минск: Белорус. гос. ун-т, 2017. – 13 с. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/180660> (дата обращения: 08.04.2025).
- Селиванов, И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И.А. Селиванов. – Москва: Наука, 1981. – 232 с.
- Эсау, К. Анатомия растений / К. Эсау. – Москва: Мир, 1969. – 568 с.