



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 2 (48). Июнь, 2023

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugotek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК УДК 630.114.351:631.963.3

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОМИЦЕТНОГО КОМПЛЕКСА В ПОДСТИЛКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ (*PINUS CONTORTA* DOUGL.)

КОВАЛЕВА

Вера Александровна

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, kovaleva@ib.komisc.ru

ВИНОГРАДОВА

Юлия Алексеевна

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, vinogradova@ib.komisc.ru

ПРИСТОВА

Татьяна Александровна

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, pristova@ib.komisc.ru

ФЕДОРКОВ

Алексей Леонардович

доктор биологических наук, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, fedorkov@ib.komisc.ru

Ключевые слова:

экспериментальные культуры *Pinus contorta* Dougl.
лесная подстилка
микромицеты
биологическое разнообразие
микробная биомасса

Аннотация: Проведены исследования видового разнообразия культивируемых микромицетов в подстилке 20-летних экспериментальных культур сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.). Культуры созданы на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования. Выделено 17 видов микроскопических грибов из 9 родов. В видовом составе микромицетов выделены характерные для таежных лесов и широко распространенные в лесных экосистемах Севера виды: *Penicillium camemberti*, *Penicillium lanosum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Trichoderma koningii*, *Umbelopsis vinacea* и светлоокрашенный стерильный мицелий. Установлено, что биомасса микроскопических грибов в исследуемых подстилках небольшая и составляет 0.75 мг/г а.с.п., при этом 96 % биомассы приходится на мицелий, 4 % – на споры грибов. Мицелий грибов представлен функционально активными гифами беспряжкового «живого» мицелия длиной 568 м/г а.с.п. В подстилке, формирующейся под культурами сосны скрученной, микромицетный комплекс представлен невысоким видовым разнообразием с высокой долей случайных и редких видов. Отличается функциональной незрелостью, что связано с маломощностью подстилки, заторможенностью процессов минерализации и гумификации.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 16 марта 2023

Подписана к печати: 27 июня 2023 года

Введение

Модель интенсивного использования и воспроизводства лесов предусматривает ускоренное выращивание древесины, в т. ч. за счет введения быстрорастущих древесных пород. В таежной зоне РФ одна из таких пород – сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.), естественным ареалом которой является западная часть Северной Америки (Мелехов, 1984; Элайс, 2014). Исследования, проведенные в Фенноскандии и в таежной зоне европейской части России, показали, что сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по скорости роста (Fedorkov, Gutiy, 2017; Раевский, Пеккоев, 2013; Феклистов и др., 2008; Elfving et al., 2001; Varmola et al., 2000). Введение интродуцентов для искусственного восстановления лесов на примере сосны скрученной из-за различий с местной сосной может привести к изменениям качества опада и подстилки (McIntosh et al., 2012). Это, в свою очередь, может вызвать изменения в экосистемных процессах (например, скорости разложения и круговорота питательных веществ), а также в свойствах экосистемы (например, размеры почвенного пула углерода). Даже если интродуцированные и местные виды функционально схожи, но различаются темпами роста и, как следствие, поступлением органического материала с опадом в подстилку, они все равно приведут к изменениям в свойствах и процессах экосистем (McIntosh et al., 2012).

Лесная подстилка – важный компонент лесной экосистемы, в ней концентрируются органические питательные вещества и формируются благоприятные гидротермические условия для роста и развития почвенных микроорганизмов, которые играют важную роль в преобразовании почвенного органического вещества и круговороте питательных веществ в почве (Богатырев, 1996; Добровольская и др., 2015; Mukhortova, Evgrafova, 2005; Kitikidou, 2012; Yang et al., 2020). Высокое содержание трудноразлагаемых органических соединений и наличие бактерицидных веществ в древесном опаде, высокая кислотность почвы обуславливают доминирующее положение микроскопических грибов в почвенном микробоценозе лесных экосистем. Микромицеты благодаря мощному ферментативному аппарату обеспечивают минерализацию труднодоступных полимерных органических соединений в процессе разложения лесной подстилки

(Терехова, Семенова, 2005; Хабибуллина, Творожникова, 2007; Looby, Treseder, 2018). Качественные и количественные показатели сообщества микромицетов являются индикаторами направления и скорости почвенных процессов при естественном и искусственном лесовосстановлении (Лиханова и др., 2008; Хабибуллина, 2009; Хабибуллина и др., 2018; Мальцев и др., 2017; Banning et al., 2011). Исследования, проведенные в Швеции, показали, что сосна обыкновенная по сравнению с сосной скрученной в искусственных насаждениях производит меньше подстилки и имеет более высокую начальную скорость разложения опада. Эти различия в свойствах подстилки и опада вызывают изменения в микробиологических свойствах почвы (McIntosh et al., 2012). В отечественной литературе мы не обнаружили работ, посвященных микромицетным комплексам в подстилке культур сосны скрученной.

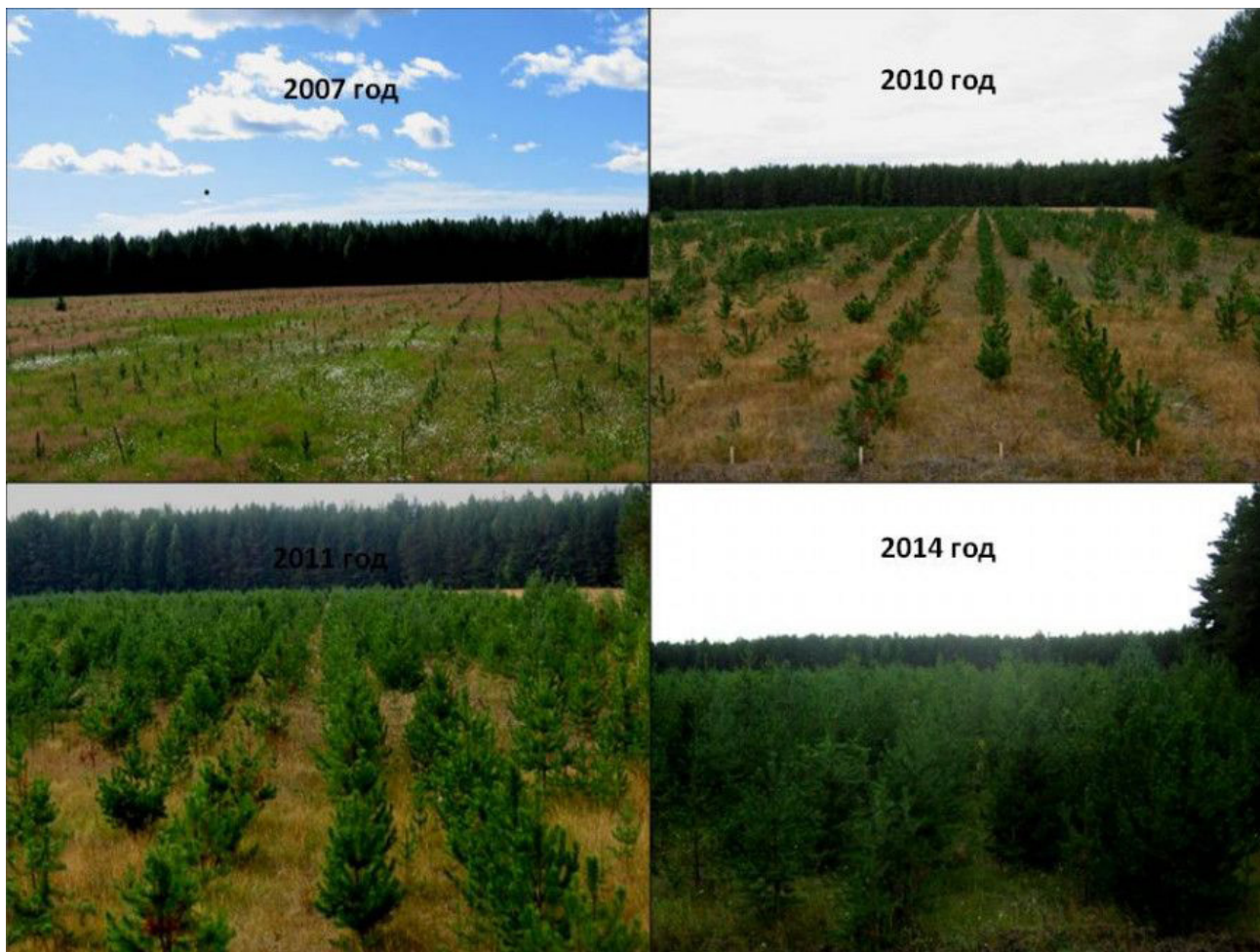
Цель исследования – оценка показателей численности и биомассы почвенных микроскопических грибов, таксономической структуры и видового состава сообщества микромицетов лесной подстилки, формирующейся в экспериментальных культурах сосны скрученной.

Материалы

Объект исследования – подстилка экспериментальных культур сосны скрученной в Сторожевском лесничестве Республики Коми (61°53' с. ш. 52°45' в. д.), созданных на участке, вышедшем из-под сельскохозяйственного пользования. Посадка 1-летних сеянцев сосны скрученной с закрытой корневой системой произведена весной 2004 г. на площади 1.8 га с размещением 2 × 2 м, густота посадки 2.5 тыс. шт./га.

Около 70 лет назад на месте вырубки сосняка лишайникового проведена раскорчевка и вспашка. Участок длительное время использовался под пашню, которая в 1990-е гг. была заброшена и превратилась в залежь. Впоследствии на залежи после вспашки был создан сеяный луг, который в течение нескольких лет использовался для сенокоса, а затем после прекращения эксплуатации в 2000-х гг. был передан лесничеству. Перед посадкой культур сосны была осуществлена подготовка участка, но вспашка не проводилась. Изначально почва – иллювиально-железистый подзол (песчаная), затем постагрогенная серогумусовая.

Согласно таксационным измерениям,



Экспериментальные культуры сосны скрученной в Storozhevsky district forestry в 2007, 2010, 2011 и 2014 гг.

Experimental plantation of lodgepole pine in the Storozhevsky district forestry in 2007, 2010, 2011 and 2014

проведенным в августе 2021 г., средний диаметр для сосны скрученной составил 11.9 ± 0.3 см, средняя высота – 7.0 ± 0.1 м, для сосны обыкновенной – 10.0 ± 0.4 см и 6.4 ± 0.2 м соответственно.

Видовой состав искусственного фитоценоза к 20-летнему возрасту насчитывает 32 вида сосудистых растений, в т. ч. 8 видов деревьев, 3 – кустарников, 1 – кустарничка, 14 – трав, 6 – мхов, 1 вид лишайника. Древесно-кустарниковая растительность, помимо высаженных ранее видов, представлена небольшими, до 1 м высотой, единичными экземплярами *Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh., *Padus racemosa* L., *Salix caprea* L., *Populus tremula* L. и *Picea obovata* Ledeb., *Juniperus communis* L., *Lonicera pallasii* Ledeb. и *Salix pentandra* L., имеющих семенное происхождение. Общее проективное покрытие (ОПП) растений напочвенного покрова составляет в среднем 80 %, варьируя от 60 до 95 %. Проективное покрытие трав составляет 60–70 %, мхов

– 30–40 %. Моховой покров представлен зелеными мхами и развит неравномерно. Кустарничковый ярус не выражен и представлен единичными экземплярами *Vaccinium myrtillus* L. В видовом составе напочвенного покрова присутствуют сорные и луговые виды, при этом доля участия лесных и лесолуговых видов не превышает 20 %.

Методы

Отбор подстилки для изучения микромицетного комплекса и измерения ее мощности проводили по всей площади экспериментальных культур. Выделение микромицетов и определение их численности (в колониеобразующих единицах на грамм сухой почвы – КОЕ/г) производили методом посева из серийных разведений на агаризованные среды: Чапека (pH = 4.5), Гетчинсона, сусло-агар в трехкратной повторности для каждого разведения (Методы..., 1991).

Жизнеспособность грибного мицелия определяли с использованием красителя флюоресцеин диацетат (ФДА) (Gaspar et al., 2001), его длину, количество спор, биомассу учитывали методом люминесцентной микроскопии (Методы..., 1991) с применением формул (Полянская, 1996). Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием современных определителей (Ellis, 1971; Ramirez, 1982; Егорова, 1986; Pitt, 1991; Александрова, 2006; Domsch et al., 2007). Названия и положения таксонов унифицировали с помощью базы данных IndexFungorum (IndexFungorum, 2023) и MycoBank (MYCOBANK Database, 2023). Для характеристики комплекса микромицетов использовали индексы видового разнообразия Шеннона (H), выравненности Пиелу (E), доминирования Симпсона (D) (Мэгарран, 1992), а также показатели частоты встречаемости и относительного обилия видов (Кураков, 2001). Статистическую обработку полученных данных проводили с применением программы Microsoft Excel. Численность микромицетов представлена как среднее значение и пределы стандартного отклонения.

Результаты

Под исследуемыми культурами формируется маломощная подстилка толщиной 2–3 см, поэтому разделить ее на подгоризонты по степени гумификации практически невозможно. В подстилке экспериментальных культур выделено 17 видов грибов из 9 родов и светлоокрашенный стерильный мицелий. Комплекс микромицетов характеризуется невысоким видовым разнообразием – индекс разнообразия Шеннона (H) равен 2.39, индекс разнообразия Симпсона (D) имеет низкое значение и равен 0.13. В подстилке исследуемых культур сосны скрученной выровненность видовых обилий (E) характеризуется относительно высоким значением – 0.85, что связано с низким обилием всех выделенных видов микромицетов (1–7 % от общего обилия видов), за исключением светлоокрашенного стерильного мицелия (23 % от общего количества выделенных видов). Численность микромицетов в исследуемых подстилках существенно варьирует от 8.5 до 48.1 тыс. КОЕ/г а.с.п.

Сообщество микромицетов в подстилке исследуемых экспериментальных

культур представлено двумя отделами – *Mucoromycota* и *Ascomycota*. Это основные отделы микроскопических грибов в почвах средней тайги Республики Коми (Хабибуллина, 2009). Отдел *Mucoromycota* представлен 2 видами из одного порядка *Mucorales*, которые составляют 12 % от общего количества выделенных видов. Виды *Mucor hiemalis* и *Umbelopsis vinacea* входят в группу случайных и редких видов по частоте встречаемости (таблица). Отдел *Ascomycota*, которому принадлежит 88 % от общего количества выделенных видов, наиболее многочисленный и насчитывает 15 видов. Он представлен 4 порядками (*Eurotiales*, *Hypocreales*, *Pleosporales*, *Sordariales*) и группой неопределенного таксономического положения (*Incertae sedis*). Самый многочисленный порядок *Eurotiales* содержит 8 видов из двух родов (47 % от общего количества видов) и включает в себя многовидовой род *Penicillium* – 7 видов (41 % от общего количества видов), а также род *Talaromyces*, представленный всего одним видом – *Talaromyces rugulosus* (см. таблицу).

Остальные порядки представлены 1–2 видами микромицетов. Представителями порядка *Hypocreales* в исследуемых подстилках являются виды *Trichoderma koningii* и *Keithomyces carneus*. Порядок *Pleosporales* представлен только одним видом из рода *Phoma*. Видовое разнообразие порядка *Sordariales* ограничено двумя представителями рода *Chaetomium*.

Группа микромицетов неопределенного таксономического положения – *Incertae sedis* представлена видом *Pseudogymnoascus pannorum* и светлоокрашенным стерильным мицелием. Виды данной группы довольно широко распространены в северных почвах (Виноградова и др., 2022).

Структура комплекса микромицетов характеризуется большим количеством редких и случайных – 76.5 %, а также частых видов – 17.6 %, и только *Mycelia sterilla* можно отнести к доминантам по частоте встречаемости (см. таблицу). Из относительно многочисленного рода *Penicillium* в исследуемых образцах подстилки часто встречаются виды *Penicillium camemberti* и *P. thomii*. По относительному обилию в подстилке доминируют *Mycelia sterilla* (33.3 % от общего обилия видов), *Phoma sp.* (10.1 %), *Penicillium thomii* (7.2 %).

Биомасса микроскопических грибов в исследуемых подстилках под культурами сосны составляет 0.75 мг/г а.с.п. Основной

Видовое разнообразие, частота встречаемости (ЧВ) и обилие видов (ОВ) микромицетных грибов, %

Список видов	ЧВ	ОВ
Mucoromycota		
Mucorales		
<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	10	4.3
<i>Umbelopsis vinacea</i> Arx	10	2.9
Ascomycota		
Eurotiales		
<i>Penicillium camemberti</i> Sopp	30	4,3
<i>Penicillium canescens</i> Sopp	20	2.9
<i>Penicillium decumbens</i> Thom	10	1.4
<i>Penicillium lanosum</i> Westling	10	1.4
<i>Penicillium thomii</i> K.M. Zaleski	30	7.2
<i>Penicillium verrucosum</i> Dierckx	10	1.4
<i>Penicillium</i> sp.	10	5.8
<i>Talaromyces rugulosus</i> (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad & Seifert	20	4.3
Hypocreales		
<i>Keithomyces carneus</i> (Duché & R. Heim) Samson, Luangsa-ard & Houbraken	20	4.3
<i>Trichoderma koningii</i> Oudemans	10	2.9
Pleosporales		
<i>Phoma</i> sp.	30	10.1
Sordariales		
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze	20	4.3
<i>Chaetomium</i> sp.	10	2.9
Incertae sedis		
<i>Pseudogymnoascus pannorum</i> (Link) Minnis & D.L. Lindner	20	5.8
Светлоокрашенный стерильный мицелий	60	33.3

вклад в ее структуру вносит мицелий (96 %), на долю биомассы спор грибов приходится всего 4 % от общей биомассы. Мицелий грибов представлен функционально активными гифами беспряжкового «живого» мицелия с невысокими параметрами длины – 568 м/г а.с.п.

Обсуждение

Для сравнительного анализа сообщества почвенных грибов в органогенном горизонте исследуемых 20-летних культур сосны скрученной использованы данные, полученные для территории Республики Коми в сосняке, сформированном в результате самовосстановительной посттехногенной сукцессии в подзоне средней тайги (Хабибуллина и др., 2018), и культурах сосны обыкновенной, высаженных на песчанном карьере (Лиханова и др., 2008). В сосняке из подстилки сосновой парцеллы с подростом березы, сформировавшейся на месте травянистого сообщества, выделено 32 вида, а индекс видового разнообразия Шеннона равен 3.0 (Хабибул-

лина и др., 2018). Эти показатели выше, чем полученные нами. Общими для подстилки сосняка и исследуемых культур оказались виды: *Mucor hiemalis*, *Umbelopsis vinacea*, *Penicillium thomii*, *Trichoderma koningii*, *Pseudogymnoascus pannorum* и светлоокрашенный стерильный мицелий. В опыте по лесовосстановлению песчаных карьеров с посадкой сосны обыкновенной и внесением торфа выделено 14 видов микромицетов из 6 родов (Лиханова и др., 2008). Сравнение результатов исследования микоценоза подстилки в культурах сосны скрученной на постагрогенной почве и в подстилке культур сосны обыкновенной на месте песчаного карьера показало, что для обоих насаждений характерно невысокое видовое разнообразие сообществ микромицетов. При этом общими для сравниваемых комплексов микромицетов являются виды, характерные для таежных лесов и широко распространенные в лесных экосистемах Севера: *Penicillium camemberti*, *Penicillium lanosum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Trichoderma*

koningii, *Umbelopsis vinacea* и светлоокрашенный стерильный мицелий.

Сопоставляя полученные данные с биомассой и длиной мицелия грибов в органо-генных слоях почвы сосняков естественного происхождения, можно отметить, что показатели в них значительно выше. Так, в подстилке сосняков Кольского п-ова биомасса грибов составляет в среднем 3.2 мг/г, длина мицелия – 1966 м/г (Kornejkova, 2018), в среднетаежных естественных сосновых насаждениях Республики Коми длина грибного мицелия в 5 раз больше по сравнению с нашими данными (Виноградова и др., 2017).

Низкие значения показателей, полученных для микромицетного комплекса в исследуемых экспериментальных культурах, объясняются различными причинами. Одной из них является специфический видовой состав растений напочвенного покрова. Известно, что развитый моховой покров, как правило, приводит к снижению численности микромицетов (Thormann, 2006). Однако в исследуемых культурах он неоднороден и менее развит, чем травянистый покров, его влияние проявляется в большей степени в высокой вариабельности численности микромицетов. В живом напочвенном покрове высока доля участия луговых и сорных видов растений, которые сохранились с того времени, когда на месте культур находился сеяный луг, что указывает на продолжающийся процесс формирования напочвенного покрова. Нами выявлено большое количество редких и случайных видов микромицетов (77 %), которые, как известно, обеспечивают устойчивость сообществ микроорганизмов в меняющихся условиях, особенно при антропогенном воздействии (Хабибуллина и др., 2009). Это указывает на то, что микромицетный комплекс находится в переходной стадии формирования сообщества, характерного для таежных сосняков. По нашему мнению, основной причиной, влияющей

на низкие показатели, характеризующие микромицетный комплекс, является то, что участок, на котором созданы культуры сосны скрученной, за несколько десятилетий хозяйственной деятельности человека претерпел существенные преобразования: сосняк – вырубка – пашня – залежь – сеяный луг – искусственное насаждение. Антропогенная трансформация приводит к существенным изменениям верхних слоев почвы. Последующая посадка сеянцев сосны способствует восстановлению органо-генного слоя почвы под влиянием формирующегося древостоя, но этот процесс довольно длительный и включает в себя целый ряд преобразований. Таким образом, к 20-летнему возрасту в экспериментальных культурах сосны скрученной формируется маломощная лесная подстилка с микромицетным комплексом, отличающимся низкой биомассой, видовым разнообразием и присутствием небольшого количества видов, характерных для лесных экосистем.

Заключение

Установлено, что в подстилке 20-летних опытных культур сосны скрученной микромицетный комплекс характеризуется невысоким видовым разнообразием, низкой численностью и биомассой грибов, высокой долей случайных и редких видов в сообществе микромицетов, что позволяет сделать вывод о функциональной незрелости микробного комплекса. Слабое развитие микоценоза может быть обусловлено как многолетней хозяйственной деятельностью человека, так и недостаточным количеством субстрата, которое связано с маломощностью и низкой гумификацией подстилки.

Полученные результаты позволяют дополнить имеющиеся данные по формированию микромицетного комплекса в искусственных насаждениях, в т. ч. с использованием интродуцированного в таежной зоне вида *Pinus contorta*.

Библиография

- Александрова А. В., Великанов Л. Л., Сидорова И. И. Ключ для определения видов рода *Trichoderma* // Микология и фитопатология. 2006. Т. 40, вып. 6. С. 457–468.
- Базы данных CBS . URL: <http://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 18.01.2023).
- Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
- Виноградова Ю. А., Лаптева Е. М., Ковалева В. А., Перминова Е. М. Разнообразие почвенных микромицетов в торфяных мерзлотных почвах южной тундры // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, № 3. С. 155–169.
- Виноградова Ю. А., Лаптева Е. М., Шергина Н. Н. Функционирование и разнообразие микробных сообществ в почвах сосновых лесов таежной зоны // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения (материалы конференции). Киров, 2017. С. 200–204.

- Добровольская Т. Г., Звягинцев Д. Г., Чернов И. Ю., Головченко А. В., Зенова Г. М., Лысак Л. В., Манчурова Н. А., Марфенина О. Е., Полянская Л. М., Степанов А. Л., Умаров М. М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087.
- Егорова Л. Н. Почвенные грибы Дальнего Востока: Гифомицеты. Л.: Наука, 1986. 191 с.
- Кураков А. В. Методы выделения и характеристика комплексов микроскопических грибов наземных экосистем: Учебное пособие. М.: Макс Пресс, 2001. 92 с.
- Лиханова И. А., Хабибуллина Ф. М., Кураков А. В. Характеристика растительности и почв, рекультивируемых песчаных пустошей нефтяного месторождения (Коми) // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1101–1112.
- Мальцев Е. И., Дидович С. В., Мальцева И. А. Сезонные изменения сообществ микроорганизмов и водорослей лесных подстилок древесных насаждений в степной зоне // Почвоведение. 2017. № 8. С. 965–972.
- Мелехов И. С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // Лесоведение. 1984. № 6. С. 72–78.
- Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 161 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.
- Полянская Л. М. Микробиологическая сукцессия в почве: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1996. 96 с.
- Раевский Б. В., Пекоев А. Н. Перспективы выращивания сосны скрученной в Южной Карелии // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013: Материалы III Междунар. научно-практ. конф. СПб., 2013. Ч. 2. С. 182–193.
- Терехова В. А., Семенова Т. А. Структура сообществ микромицетов и их синэкологические взаимодействия с базидиальными грибами в ходе разложения растительных остатков // Микробиология. 2005. Т. 74, № 1. С. 104–110.
- Феклистов П. А., Бирюков С. Ю., Федяев А. Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. 118 с.
- Хабибуллина Ф. М. Почвенная микобиота естественных и антропогенно нарушенных экосистем северо-востока Европейской части России: Дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2009. 364 с.
- Хабибуллина Ф. М., Кузнецова Е. Г., Панюков А. Н., Кураков А. В. Почвенная микобиота на начальных этапах посттехногенной сукцессии в подзоне средней тайги // Микология и фитопатология. 2018. № 52 (5). С. 356–364.
- Хабибуллина Ф. М., Творожникова Т. А. Роль микромицетов в трансформации растительных остатков в ельнике чернично-зеленомошном средней подзоны тайги // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2007. № 4. С. 40–47.
- Элайс Т. С. Североамериканские деревья: Определитель / Под ред. И. Ю. Коропачинского. Новосибирск: Гео, 2014. 959 с.
- Banning N. C., Gleeson D. B., Grigg A. H., Grant C. D., Andersen G. L., Brodie E. L., Murphy D. V. Soil microbial community successional patterns during forest ecosystem restoration // Applied and environmental microbiology. 2011. No 77 (17). P. 6158–6164.
- Domsh K. H., Gams W., Anderson T. H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag, Eshing, 2007. 672 p.
- Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // Forest Ecology and Management. 2001. No 141 (1–2). P. 15–29.
- Ellis M. B. Dematiaceous Hyphomycetes. UK. Kew, 1971. 608 p.
- Fedorov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, No 1. P. 1692. DOI: 10.14214/af. 1692
- Gaspar M. L., Cabello M. N., Pollero R. et al. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of fungal biomass in soil // Current Microbiol. 2001. Vol. 42. P. 339–344. URL: <https://doi.org/10.1007/s002840010226> (дата обращения: 18.01.2023).
- Index Fungorum, 2023. URL: <https://www.indexfungorum.org/> (дата обращения: 26.06.2023).
- Kitikidou K. Forest floor nutrient dynamics in chestnut plantation ecosystems // Journal Agricultural Science. 2012. Vol. 4 (4). P. 51–54.
- Kornejkova M. V. Comparative analysis of number and structure of the complexes of microscopic fungi in tundra and taiga soils in the north of the Kola peninsula // Eurasian Soil Sci. 2018. Vol. 51 (1). P. 86–92. URL: <https://doi.org/10.1134/S1064229318010106> (дата обращения: 18.01.2023).
- Looby C. I., Treseder K. K. Shifts in soil fungi and extracellular enzyme activity with simulated climate change in a tropical montane cloud forest // Soil Biology and Biochemistry. 2018. Vol. 117. P. 87–96.
- McIntosh A. C. S., Macdonald S. E., Gundale M. J. Tree species versus regional controls on ecosystem properties and processes: an example using introduced *Pinus contorta* in Swedish boreal forests // Can. J. Forest. Res. 2012. No 42. P. 1228–1238.
- MYCOBANK Database. 2023. URL: <https://www.mycobank.org/> (дата обращения: 26.06.2023).
- Mukhortova L. V., Evgrafova S. Y. Dynamics of organic matter decomposition and microflora composition

- of forest litter in artificial biogeocenoses // *Biology Bulletin*. 2005. Vol. 32. P. 609–614.
- Pitt J. A laboratory guide to common *Penicillium* species. Commonwealth scientific and industrial research organization. N.S.W., Australia, 1991. 47 p.
- Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam; N.-Y.; Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.
- Thormann M. N. The role of fungi in boreal peatlands // *Ecological Studies*. 2006. Vol. 188. P. 101–123.
- Yang B., Qi K., Bhusal D. R., Huang J., Chen W., Wu Q., Pang X. Soil microbial community and enzymatic activity in soil particle-size fractions of spruce plantation and secondary birch forest // *European Journal of Soil Biology*. 2020. No 99. P. 103–196.
- Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkela M. Survival and early development of Lodgepole pine // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2000. No 15. P. 410–423.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке тем госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 122040100031–8) и «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (№ 122040600023–8)

CHARACTERIZATION OF THE MICROMYCETE COMPLEX IN THE LITTER OF EXPERIMENTAL CULTURES OF LODGEPOLE PINE (*PINUS CONTORTA* DOUGL.)

**KOVALEVA
Vera Alexandrovna**

*Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS),
kovaleva@ib.komisc.ru*

**VINOGRADOVA
Yulia Alekseevna**

*PhD, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS),
vinogradova@ib.komisc.ru*

**PRISTOVA
Tatyana Alexandrovna**

*PhD, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS),
pristova@ib.komisc.ru*

**FEDORKOV
Aleksey Leonardovich**

*DSc, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS),
fedorkov@ib.komisc.ru*

Keywords:

experimental plantation
Pinus contorta Dougl.
micromycete complex
experimental
forest floor
micromycetes
biodiversity
microbial biomass

Summary: We studied the species diversity of cultivated micromycetes in the litter of 20-year-old experimental cultures of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.). Cultures were created on lands that have come out of agricultural use. Seventeen species of microscopic fungi from 9 genera were identified. Species characteristic of taiga forests and widespread in forest ecosystems of the North were distinguished in the species composition of micromycetes. They are *Penicillium camemberti*, *Penicillium lanosum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Trichoderma koningii*, *Umbelopsis vinacea* and light-colored sterile mycelium. It was found that the biomass of microscopic fungi in the studied litter is small and amounts to 0.75 mg/g dry soil, with mycelium accounting for 96 % of the biomass and fungal spores for 4 %. The mycelium of fungi is represented by functionally active hyphens of the «living» mycelia, 568 m/g dry soil long. In the litter formed under crops of longepole pine, the micromycete complex is represented by a low species diversity with a high proportion of occasional and rare species. It is characterized by functional immaturity, which is associated with low thickness of the litter, inhibition of the processes of mineralization and humification.

Received on: 16 March 2023

Published on: 27 June 2023

References

- Aleksandrova A. V. Velikanov L. L. Sidorova I. I. Key to identify species of the genus *Trichoderma*, Mikologiya i fitopatologiya. 2006. T. 40, vyp. 6. P. 457–468.
- Banning N. C., Gleeson D. B., Grigg A. H., Grant C. D., Andersen G. L., Brodie E. L., Murphy D. V. Soil microbial community successional patterns during forest ecosystem restoration, Applied and environmental microbiology. 2011. No 77 (17). R. 6158–6164.
- Bogatyrev L. G. Litter formation is one of the most important processes in forest ecosystems, Pochvovedenie. 1996. No. 4. P. 501–511.
- CBS databases. URL: <http://www.indexfungorum.org> (data obrascheniya: 18.01.2023).
- Dobrovolskaya T. G. Zvyaginцев D. G. Chernov I. Yu. Golovchenko A. V. Zenova G. M. Lysak L. V. Manchurova N. A. Marfenina O. E. Polyanskaya L. M. Stepanov A. L. Umarov M. M. The role of microorganisms in the ecological functions of soils, Pochvovedenie. 2015. No. 9. P. 1087.

- Domsh K. H., Gams W., Anderson T. H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag, Eshing, 2007. 672 p.
- Egorova L. N. Soil fungi of the Far East: Hyphomycetes. L.: Nauka, 1986. 191 p.
- Elays T. S. North American Trees: Key, Pod red. I. Yu. Koropachinskogo. Novosibirsk: Geo, 2014. 959 p.
- Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review, *Forest Ecology and Management*. 2001. No 141 (1–2). P. 15–29.
- Ellis M. B. Dematiaceous Hyphomycetes. UK. Kew, 1971. 608 p.
- Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia, *Silva Fennica*. 2017. Vol. 51, No 1. P. 1692. DOI: 10.14214/af. 1692
- Feklistov P. A. Biryukov S. Yu. Fedyaev A. L. Comparative ecological and biological features of Pinus Pinus and Scotch Pine in the Northern subzone of the European taiga. *Arhangel'sk: Arhangel. gop. tehn. un-t*, 2008. 118 p.
- Gaspar M. L., Cabello M. N., Pollero R. et al. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of fungal biomass in soil, *Current Microbiol.* 2001. Vol. 42. P. 339–344. URL: <https://doi.org/10.1007/s002840010226> (data obrascheniya: 18.01.2023).
- Habibullina F. M. Kuznecova E. G. Panyukov A. N. Kurakov A. V. Soil mycobiota at the initial stages of posttechnogenic succession in the middle taiga subzone, *Mikologiya i fitopatologiya*. 2018. No. 52 (5). P. 356–364.
- Habibullina F. M. Tvorozhnikova T. A. The role of micromycetes in the transformation of plant residues in the blueberry-green-moss spruce forest of the middle subzone of the taiga, *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2007. No. 4. P. 40–47.
- Habibullina F. M. Soil mycobiota of natural and anthropogenically disturbed ecosystems in the northeast of the European part of Russia: *Dip. ... d-ra biol. nauk. Syktyvkar*, 2009. 364 p.
- Index Fungorum, 2023. URL: <https://www.indexfungorum.org/> (data obrascheniya: 26.06.2023).
- Kitikidou K. Forest floor nutrient dynamics in chestnut plantation ecosystems, *Journal Agricultural Science*. 2012. Vol. 4 (4). P. 51–54.
- Kornejkova M. V. Comparative analysis of number and structure of the complexes of microscopic fungi in tundra and taiga soils in the north of the Kola peninsula, *Eurasian Soil Sci.* 2018. Vol. 51 (1). P. 86–92. URL: <https://doi.org/10.1134/S1064229318010106> (data obrascheniya: 18.01.2023).
- Kurakov A. V. Methods for isolation and characterization of complexes of microscopic fungi in terrestrial ecosystems: *Textbook*. M.: Maks Press, 2001. 92 p.
- Lihanova I. A. Habibullina F. M. Kurakov A. V. Characteristics of vegetation and soils, reclaimed sandy barrens of the oil field (Komi), *Pochvovedenie*. 2008. No. 9. P. 1101–1112.
- Looby C. I., Treseder K. K. Shifts in soil fungi and extracellular enzyme activity with simulated climate change in a tropical montane cloud forest, *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 117. R. 87–96. MYCOBANK Database. 2023. URL: <https://www.mycobank.org/> (data obrascheniya: 26.06.2023).
- Mal'cev E. I. Didovich S. V. Mal'ceva I. A. Seasonal changes in communities of microorganisms and algae in forest floors of tree plantations in the steppe zone, *Pochvovedenie*. 2017. No. 8. P. 965–972.
- McIntosh A. C. S., Macdonald S. E., Gundale M. J. Tree species versus regional controls on ecosystem properties and processes: an example using introduced *Pinus contorta* in Swedish boreal forests, *Can. J. Forest. Res.* 2012. No 42. P. 1228–1238.
- Megarran E. Ecological diversity and its measurement. M.: Mir, 1992. 161 p.
- Melehov I. S. Introduction of conifers in forestry, *Lesovedenie*. 1984. No. 6. P. 72–78.
- Methods of soil microbiology and biochemistry, Pod red. D. G. Zvyagincheva. M.: MGU, 1991. 304 p.
- Mukhortova L. V., Evgrafova S. Y. Dynamics of organic matter decomposition and microflora composition of forest litter in artificial biogeocenoses, *Biology Bulletin*. 2005. Vol. 32. P. 609–614.
- Pitt J. A laboratory guide to common *Penicillium* species. Commonwealth scientific and industrial research organization. N.S.W., Australia, 1991. 47 p.
- Polyanskaya L. M. Microbiological succession in soil: *Avtoref. dip. ... d-ra biol. nauk. M.*, 1996. 96 p.
- Raevskiy B. V. Pekkoev A. N. Prospects for growing lodgepole pine in South Karelia, *Innovacii i tehnologii v lesnom hozyaystve – 2013: Materialy III Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. SPb.*, 2013. Ch. 2. C. 182–193.
- Ramirez C. Manual and atlas of the *Penicillia*. Amsterdam; N, Y.; Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.
- Terehova V. A. Semenova T. A. The structure of micromycete communities and their synecological interactions with basidial fungi during the decomposition of plant residues, *Mikrobiologiya*. 2005. T. 74, No. 1. P. 104–110.
- Thormann M. N. The role of fungi in boreal peatlands, *Ecological Studies*. 2006. Vol. 188. P. 101–123.
- Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkela M. Survival and early development of Lodgepole pine, *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2000. No 15. P. 410–423.
- Vinogradova Yu. A. Lapteva E. M. Kovaleva V. A. Perminova E. M. Diversity of soil micromycetes in permafrost peat soils of the Southern tundra, *Mikologiya i fitopatologiya*. 2022. T. 56, No. 3. P. 155–169.
- Vinogradova Yu. A. Lapteva E. M. Shergina N. N. Functioning and diversity of microbial communities in

- soils of pine forests in the taiga zone, Sohranenie lesnyh ekosistem: problemy i puti ih resheniya (materialy konferencii). Kirov, 2017. P. 200–204.
- Yang B., Qi K., Bhusal D. R., Huang J., Chen W., Wu Q., Pang X. Soil microbial community and enzymatic activity in soil particle-size fractions of spruce plantation and secondary birch forest, European Journal of Soil Biology. 2020. No 99. P. 103–196.