

недостаточным числом лиц в каждой группе обследуемых. Учитывая, что продукт этого гена является одним из основных компонентов костной ткани, его дальнейшие исследования представляют несомненный интерес.

Таблица 1 – Частоты генотипов и минорных аллелей в группе спортсменов со стресс-переломами (группа 1) и без переломов в анамнезе (группа 2)

Ген, SNP	Генотип	Группа 1	Группа 2	OR (95% ДИ)	P
VDR rs7975232	C/C	34,5	15,2	1,0	<b>0,03</b>
	C/A	48,3	45,5	2,1 (0,7–6,9)	
	A/A	17,2	39,4	5,2 (1,4–18,7)	
VDR rs1544410	C/C	34,5	21,2	1,0	<b>0,049</b>
	C/T	55,2	48,5	1,4 (0,5–4,1)	
	T/T	10,3	30,3	4,8 (1,3–18,0)	
VDR rs731236	G/G	34,5	27,3	1,0	0,09
	A/G	51,7	39,4	0,96 (0,4–2,7)	
	A/A	13,8	33,3	3,1 (1,1–8,8)	
VDR rs2228570	G/G	26,6	32,3	1	0,45
	A/G	49,7	50,8	4,5 (2,4–8,7)	
	A/A	23,7	16,9	29,3 (3,6–241,0)	
COL1A1 rs1800012	G/G	72,4	60,6	1,0	0,5
	G/T	22,4	33,3	1,8 (0,7–4,7)	
	T/T	5,2	6,1	1,4 (0,2–9,1)	
COL1A2 A18162G rs42517	A/A	63,8	51,2	1,0	0,08
	A/G	36,2	36,4	1,2 (0,5–3,1)	
	G/G	0	12,1	–	

Таким образом, нами выявлены два информативных генетических маркера, статистически значимо повышающих риск стресс-переломов в исследованной группе спортсменов. Выявление неблагоприятных вариантов аллельных комбинаций позволит проводить оценку индивидуального риска костных переломов. Результаты исследования переданы врачам и тренерам команд для профилактики травм, связанных с экстремальными физическими нагрузками, путём оптимизации и коррекции тренировочного процесса и медико-биологического обеспечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Valimaki VV [et al.] Risk factors for clinical stress fractures in male military recruits: a prospective cohort study / Bone. 2005;37:267–273.
2. Bennell K [et al.] Risk factors for stress fractures / Sports Medicine. 1999;28:91–122.
3. Korvala J [et al.] Genetic predisposition for femoral neck stress fractures in military conscripts / BMC Genetics. 2010;11:95.

## РОЛЬ СУБСТРАТНОГО ФАКТОРА В РАСПРОСТРАНЕНИИ НЕКОТОРЫХ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ В БЕРЕЗНЯКАХ И ОСИНИКАХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

## THE ROLE OF SUBSTRATE FACTOR IN DISTRIBUTION OF CERTAIN XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES IN BIRCH AND ASPEN FORESTS OF KOSTROMA REGION

**Э. В. Марамохин, М. В. Сиروتкина, А. С. Дюкова**  
**E. V. Maramokhin, M. V. Sirotina, A. S. Dyukova**

ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»,  
г. Кострома, Россия  
maramokhin91@mail.ru  
Kostroma state University,  
the city of Kostroma, Russia

Распространение ксилотрофных базидиомицетов, как и любых других видов, зависит от экологической пластичности по отношению к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам среды. Особая роль среди биотических факторов для данных организмов при этом отводится субстратной специализации. Высокая

значимость фактора субстрата характерна именно для грибов-деструкторов, что отражается на особом ферментативном аппарате этих организмов, способном разрушать лигнин и целлюлозу. В работе всесторонне рассматривается влияние фактора субстрата на расселение изучаемых фитопатогенов в мелколиственных лесах Костромской области, что позволит лучше понимать биологию и экологию ксилотрофных базидиомицетов.

The distribution of xylotrophic basidiomycetes, as any other species, depends on ecological elasticity in relation to abiotic, biotic and anthropogenic environmental factors. A special role among biotic factors for these organisms is assigned to substrate specialization. The high significance of the substrate factor is distinctive for the destructor fungi, which is reflected in the special enzymatic apparatus of these organisms capable of destroying lignin and cellulose. This article comprehensively examines the impact of the substrate factor on the distribution of the studied phytopathogens in small-leaved forests of Kostroma region. This will make it possible to better understand the biology and ecology of xylotrophic basidiomycetes.

*Ключевые слова:* субстратная специализация, ксилотрофы, мелколиственные леса, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quel., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil.

*Keywords:* substrate specialization, xylotrophs, small-leaved forests, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quel., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-1-290-294>

## Введение

Ксилотрофы, как составная часть системы редуцентов биогеоценоза, выполняют две важнейшие функции, а именно деструкцию (трансформацию органических веществ) и продукцию (накопление органических веществ). Ксилотрофы оказывают прямое влияние, на лесные фитоценозы, участвуя в круговороте веществ посредством разложения лигнинных и целлюлозных соединений и продуцирования за счет этого собственной биомассы [1, 2]. Эти же функции грибов оказывают косвенное влияние на жизнедеятельность человека, обеспечивая существование лесных экосистем, являющихся источником кислорода, а также источником многочисленных древесных и недревесных продуктов, используемых человеком.

Распространение ксилотрофных базидиомицетов как и любых других видов живых организмов, зависит от экологической пластичности по отношению к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам среды. Из абиотических факторов ключевое значение для ксилотрофов имеют климатические условия местообитания, среди которых значительную роль играют такие компоненты климата как температурный режим и условия увлажнения территории, где обитают данные организмы. Из биотических факторов значение для расселения ксилотрофной микобиоты имеют возраст фитоценозов, межвидовые отношения и субстрат [3]. Причем фактор субстрата оказывает решающее влияние не только на ареал распространения ксилотрофов, но также на формирование видоспецифических микоценозов. Это связано с тем, что ксилотрофные базидиомицеты не могут существовать самостоятельно без древесных остатков в случае с ксилотрофами-сапрофитами или без живых деревьев, на которых обитают ксилотрофы-паразиты. Определение субстратной специализации некоторых ксилотрофов позволит изучить фитопатогенность как экологическое явление взаимодействия данных организмов с мелколиственными хозяйственно ценными породами деревьев в условиях Костромской области.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны наиболее распространенные в Костромской области виды ксилотрофной микобиоты, а именно: *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quel., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. Ex Pers.) Pil., поражающие такие ценные мелколиственные породы как *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L. Для этой группы организмов характерны макроскопические базидиомы, которые примыкают одной из сторон к дереву, с плотной консистенцией ткани, основной же мицелий развивается в виде белой или бурой гнили в самой древесине. Изучение трофической структуры ксилотрофных базидиомицетов проводилось в Кологривском, Макарьевском и Красносельском районах Костромской области, которые несколько отличаются по климатическим условиям ввиду большой протяженности территории региона, а также имеют различия по характеру лесосложения [2, 4]. Сбор образцов осуществлялся в 2018–20 гг. методом маршрутного учета. На маршруте производилось описание субстрата и биотопов, давалась оценка численности модельных ксилотрофных базидиомицетов по определению в 2-метровой полосе учета количества древесных остатков или живых деревьев, на которых развивается тот или иной вид патогенной микобиоты.

Наличие плодовых тел выявлялось на следующих фракциях субстрата: пни, крупные стволы (диаметр от 20 см), стволы среднего размера и крупные ветви (диаметр 15–20 см), средние ветви (5–10 см), на мелких ветвях ни один из представленных объектов отмечен не был. На маршруте выбирались в случайном порядке по 30 деревьев в каждом районе исследования в т.ч. пни, валежная и сухостойная древесина на участке с микоценозом. Всего для каждого вида фитопатогена исследовано 90 деревьев. Обработка полученного материала осуществлялась по общепринятым в микологии методикам, в основе которых лежит использование анатомо-морфологического и статистического метода [2, 5].

## Результаты

По отношению ксилотрофов к субстрату можно выделить три основные характеристики, по которым и проводилась работа: это субстратная специализация к тому или иному виду древесных растений, состояние субстрата и размер субстрата.

В большинстве случаев под субстратной специализацией понимают приуроченность базидиомицета к субстрату определенного рода древесных растений. При этом для подавляющего большинства видов ксилотрофных грибов значимым моментом является не видовая, а родовая принадлежность древесины. Большая часть видов ксилотрофных базидиомицетов по трофической специализации относится к эвритрофным видам, и лишь небольшая часть имеет стенотрофную специализацию. Однако если рассматривать результаты наблюдений в природных условиях, изучаемые нами модельные объекты по субстратной специализации имеют чаще всего очень узкую валентность. Так, *P. betulinus* и *I. obliquus* относятся к эустенотрофам и строго приурочены к живой или мертвой древесине *B. pendula*. Ксилотроф *P. igniarius* является стенотрофом, его плодовые тела кроме *P. tremula* очень редко удавалось находить на деревьях других пород (не более 3%). И лишь *F. fomentarius* отмечался, кроме *P. betulinus*, как на других мелколиственных породах, так и широколиственных, например на *Tilia cordata* Mill. Таким образом, этот вид является типичным эвритрофом I порядка (на хвойных деревьях не обнаружен).

С позиции избирательности видов ксилотрофов по отношению к состоянию субстрата, их можно объединить в три важнейшие группы: сапротрофов, биотрофов и паразитов. В каждой из этих групп встречаются как облигатные, так и факультативные виды. К биотрофам относят грибы, обладающие комплексной субстратной специализацией, но всегда тяготеющие к живым деревьям. Модельные ксилотрофные базидиомицеты представляют собой виды с разной трофической специализацией, сочетающей различные соотношения представленных групп, что отражено в табл. 1.

Можно заметить, что почти все виды в разной степени, за исключением *I. obliquus*, могут обитать как на валежной и сухостойной древесине, так и на живых деревьях, этим обеспечивается достаточно широкая экологическая валентность по отношению к состоянию субстрата, что имеет очень важное значение в формировании устойчивых микоценозов.

Таблица 1 – Отношение некоторых ксилотрофных базидиомицетов к состоянию субстрата

Название вида	Состояние субстрата		Субстратная специализация
	Сухостой и валежная древесина %	Живые деревья %	
<i>P. igniarius</i>	15	85	Облигатный биотроф (облигатный сапротроф – факультативный паразит)
<i>P. betulinus</i>	90	10	Факультативный сапротроф
<i>F. fomentarius</i>	70	30	Факультативный биотроф (факультативный сапротроф – факультативный паразит)
<i>I. obliquus</i>	0	100	Облигатный паразит

Изучен также такой фактор как размер субстрата, что для многих видов ксилотрофных базидиомицетов является важным показателем, как для роста мицелия, так и образования базидиомицетом. Известно, что деревья с большим диаметром меньше и медленнее просыхают, чем тонкомерные, что способствует более длительному сохранению оптимальной влажности для развития ксилотрофов. Кроме того, более рыхлая древесина крупных стволов легче поддается разрушению этими грибами. Вероятно, этим можно отчасти объяснить выявленную тенденцию к повышению обилия отдельных видов с увеличением диаметра валежного отпада. Диаметр также является показателем объема древесины как пищевого субстрата для ксилотрофов. Чем больше диаметр, и, следовательно, объем древесины, потенциально осваиваемый мицелием, тем выше вероятность появления и большего числа базидиомицетов. Однако на очень крупном субстрате на первый план выступают такие факторы, как межвидовая конкуренция одного трофического уровня. В результате исследований отмечено количество плодовых тел на каждой из фракций субстрата и предпочтение модельных видов к той или иной фракции (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние размерных характеристик субстрата на образование плодовых тел ксилотрофных базидиомицетов (n=90)

Название вида	Фракции субстрата, ед			
	Пни ± S <sub>x</sub>	Крупные стволы ± S <sub>x</sub>	Средние стволы и крупные ветви ± S <sub>x</sub>	Средние ветви ± S <sub>x</sub>
<i>P. igniarius</i>	–	24 ± 1,53	11 ± 1,53	–
<i>P. betulinus</i>	–	18 ± 1,53	7 ± 0,58	3 ± 0,58
<i>F. fomentarius</i>	6 ± 1,15	15 ± 1,15	9 ± 1,0	–
<i>I. obliquus</i>	–	11 ± 2,03	4 ± 0,88	–

Анализируя данные таблицы о встречаемости видов на разных фракциях субстрата, можно предположить, что каждая из фракций представляет собой определенный тип экологической ниши для дереворазрушающих грибов. При этом как уже было отмечено, в основном, образование базидиомицетом приурочено к крупным и средним

стволам деревьев, хотя базидиомы *P. betulinus* были найдены и на средних ветвях, в том числе и стволах, соответствующих этой размерной характеристике (рис. 1). На пнях обнаруживался лишь *F. fomentarius* и то в небольших количествах, это, видимо, связано с очень сильной деструкцией древесины и истощением данного субстрата как другими ксилотрофами, так и иными дереворазрушающими организмами.



Рис. 1 – *P. betulinus* на стволе *B. pendula*, соответствующем по размерной характеристике средним ветвям (слева), *P. igniarius* на крупном стволе *P. tremula* (справа)

Следовательно, дисперсия трофической пластичности видов определяет дифференциацию их трофических ниш в сообществе за счет возникновения конкурентных отношений между видами с близкими требованиями к свойствам субстрата. Особенности избирательности по отношению к субстрату у видов, входящих в сообщество грибов, реализующих разложение древесины того или иного рода древесных растений, определяют специфику трофической структуры данных сообществ.

#### Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований микоценозов в Кологривском, Макарьевском и Красносельском районах Костромской области можно сделать вывод о исключительной роли субстратного фактора как в жизни ксилотрофных базидиомицетов, так и о значении его в распространении и приуроченности ксилотрофов к тому или иному лесному сообществу. В ходе работы были исследованы такие характеристики субстрата как субстратная специализация к тому или иному виду древесных растений, состояние субстрата и размер субстрата. По субстратной специализации виды *P. betulinus* и *I. obliquus* были определены как эуэнотрофы, *P. igniarius* как стенотроф и только *F. fomentarius* отнесен к эвритрофам I порядка. По отношению к состоянию субстрата имелась очень широкая градация от факультативного сапротрофа *P. betulinus* до облигатного паразита *I. obliquus*. При этом определено что *F. fomentarius* и *P. igniarius* относятся к особой группе организмов – биотрофам, которые обладают комплексной субстратной специализацией, но всегда тяготеют к живым деревьям. Как выяснилось, размерная характеристика субстрата для оптимального роста мицелия и образования плодовых тел также имеет исключительное значение для ксилотрофных базидиомицетов. Все виды ксилотрофов тяготели к крупным стволам, а также к средним стволам и крупным ветвям деревьев, лишь *P. betulinus* обнаружен на средних ветвях и стволах соответствующего размера, что, по-видимому, связано с тем, что данный вид образует однолетние достаточно мягкие базидиомы, что требует меньшего количества субстратного материала и энергии. Базидиомы *F. fomentarius* были найдены на пнях, что свидетельствует о высокой межвидовой конкуренции с другими деструкторами древесины.

Комплексный подход к изучению роли субстратного фактора в распространении наиболее значимых ксилотрофных базидиомицетов – деструкторов древесины и фитопатогенов ценных мелколиственных пород деревьев – даст возможность более рационально проводить лесохозяйственные фитосанитарные мероприятия. Это в итоге отразится на уменьшении убытков от потерь древесины в результате действия фитопатогенных организмов (в том числе ксилотрофных грибов) и повысит качество получаемой древесины. Работа также имеет фундаментальное значение для лучшего понимания биологических и экологических особенностей взаимодействия этой группы организмов в условиях лесного фитоценоза с древесными породами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баландайкин М. Э. Начала системного подхода в изучении экологии и биологии ксилотрофного базидиомицета *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil. / М.Э. Баландайкин – Тамбов: Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 4 (42). С. 18–27.
2. Марамохин Э. В. Ксилотрофные базидиомицеты мелколиственных лесов Костромской области / Э. В. Марамохин – Нижневартовск: Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2020. № 1. С. 4–9. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/01>
3. Наумов В. Д. Экологическая оценка состояния древостоя на территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / В.Д. Наумов, О.Г. Бордачева – Москва: Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2008. № 2. С. 42–53.

4. *Стороженко В. Г.* Пораженность осинников Костромской области ложным осиновым трутовиком / В.Г. Стороженко – Москва: Лесное хозяйство. 1979. № 10. С. 54–55.

5. *Burdon JJ, Thrall PH.* Spatial and temporal patterns in coevolving plant and pathogen associations / Burdon JJ, Thrall PH. – The American Naturalist. 1999. Vol. 153. № S5. P. S15–S33. <https://doi.org/10.1086/303209>

## ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ЛАЗЕРНОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ РОСТА РАСТЕНИЙ

### THE INFLUENCE OF THE COMBINED LASER AND GAMMA RADIATION ON THE INITIAL STAGES OF PLANT GROWTH

***E. A. Maslyukov<sup>1</sup>, V. A. Kravchenko<sup>1</sup>, A. P. Kluev<sup>2</sup>, A. N. Batyan<sup>1</sup>, A. O. Kunitskaya<sup>1</sup>***  
***E. A. Maslyukov<sup>1</sup>, V. A. Kravchenko<sup>1</sup>, A. P. Kluev<sup>2</sup>, A. N. Batyan<sup>1</sup>, A. O. Kunitskaya<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Беларусь  
massl2001@yandex.by*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

Установлен эффект прироста пшеницы озимой на 13,7 мм (9,33%), выращенной из предварительно замоченных семян и облученных дозой 2,7 Дж сочетанного лазерного излучения. Аналогичная доза облучения в 2,7 Дж воздушно-сухих семян вызвала увеличение длины проростков от 17,1 мм (11,03%) в первом опыте до 38,1 мм (39,42 %) во втором опыте. Показано, что облучение (МЭД-80, 160 и 300 мР/ч) 20-дневных проростков тимopheевки луговой (*Phleum pratense*), в дозах 0,07; 0,14; 0,28 Гр вызывает увеличение содержания пигментов через 1 час после облучения у опытных растений.

The effect of the growth of winter wheat by 13.7 mm (9.33%), grown from pre-soaked seeds and irradiated with a dose of 2.7 J of combined laser radiation, was established. A similar radiation dose of 2.7 J of air-dry seeds caused an increase in the length of seedlings from 17.1 mm (11.03%) in the first experiment to 38.1 mm (39.42%) in the second experiment. It was shown that irradiation (MED-80, 160 and 300 mR / h) of 20-day-old seedlings of *Phleum pratense*, at doses of 0.07; 0.14; 0.28 Gy causes an increase in the pigment content 1 hour after irradiation in experimental plants.

*Ключевые слова:* сочетанное лазерное, гамма-излучение, пшеница озимая, стимуляция метаболизма, прирост фитомассы.

*Keywords:* combined laser, infrared radiation, winter wheat, stimulation of metabolism, increase in phytomass.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-1-294-297>

Согласно литературным источникам после облучения лазером частотой 1000 Гц в течение 25, 45 и 60 минут всхожесть семян составляла более 90%, при этом облучение в течение 10 минут давало всхожесть 84%, а всхожесть контроля составляла 75%. Предпосевная обработка семян в полевых условиях повышала их всхожесть до 99%. Как следствие, активация ростовых процессов в период вегетации повышала содержание питательных элементов и гумуса, снижала уровень заболеваемости грибковыми и вирусными болезнями, улучшала качественные показатели почвы. Всё это указывает на реальную возможность использования данных технологий в сельском хозяйстве [1, 2].

Для облучения семян был использован аппарат квантовой терапии «Витязь» (Республика Беларусь) и алюминевом контейнере, на дне которого ( $S = 6,15 \text{ см}^2$ ) размещалось 24 семени общей массой ~ 1,2 г. Экспериментальные дозы облучения составили 2,7 Дж, 5,4 Дж и 8,1 Дж, соответственно. Использованные виды лазерного облучения – непрерывное с  $\lambda = 620\text{--}700 \text{ нм}$  – красное и инфракрасное импульсно-моделированное с частотой 12500 Гц. Контрольные семена не подвергались облучению. Проращивание проводилось в чашках Петри, пластмассовых стаканчиках и контейнерах.

Фиксация результатов исследования заключалась в биометрических замерах ростков (в мм), взвешивании сухой фитомассы с помощью электронных весов AR 3130, для анализа содержания биогенных элементов использовался атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2100 DV. Статистическая обработка результатов проводилась по стандартным методикам с расчетом критерия достоверности различий Стьюдента ( $p < 0,05$ ).

По результатам опытов нами была выдвинута гипотеза о комплексном влиянии лазерного облучения на прорастание семян пшеницы. Опираясь на литературные источники, мы попробовали установить закономерности и выявить физико-биологические эффекты облучения.