

9. Jansa J., Finlay R. D., Wallander H. et al. Role of mycorrhizal symbioses in phosphorus cycling // Phosphorus in Action. Eds. Bünemann E. K., Oberson A., Frossard E. Heidelberg: Springer, 2011. P. 137–168.
10. Koide R. T., Wu T. Ectomycorrhizas and retarded decomposition in a *Pinus resinosa* plantation // New Phytol. 2003. 158 401–407.
11. Lindahl B. D., Ihrmark K., Boberg J. et al. Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest // New Phytol. 2007. Vol. 173. P. 611–620.
12. Sidorova I. I., Alexandrova A. V., Voronina E. Yu. Inorganic phosphate solubilising bacteria isolated from agaricomycete hyphosphere // Biogenic-abiogenic interactions in natural and anthropogenic systems / V International symposium. Saint-Petersburg, 2014. P. 112–113.
13. Uroz S., Calvaruso C., Turpault M. P. et al. Effect of the mycorrhizosphere on the genotypic and metabolic diversity of the bacterial communities involved in mineral weathering in a forest soil // Appl. Environ. Microbiol. 2007. Vol. 73. P. 3019–3027.

I. I. Sidorova, A. V. Alexandrova, E. Yu. Voronina
 Moscow State University by named M. V. Lomonosov, Moscow
 e-mail: irsidor2008@yandex.ru

SOME SOIL MICROBIAL FUNCTIONAL GROUPS IN HYPHOSPHERE OF AGARICOMYCETE WITH DIFFERENT TROPHIC STRATEGIES

Summary. Some soil microbial functional groups' presence at hyphosphere of 22 symbiotrophic and litter saprotroph agaricomycete species was explored. Significant predominance of phosphate-solubilizing bacteria was detected at symbiotroph's hyphosphere as well as of chitinolytic bacteria at hyphosphere of litter saprotrophs forming ring-shaped colonies and mycelial mats. The

cellulolytic micromycete inhibition was observed at hyphosphere of all symbiotrophic and some saprotroph species studied. Numbers' increase in cultivable bacteria with trehalose-utilizing ability was detected at symbiotroph's hyphosphere only. Calcium oxalate resistant and calcium oxalate degrading bacteria accumulation was observed for 4 agaricomycete species with different trophic strategies.

Т. А. Сизоненко
 Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
 г. Сыктывкар, Россия
 e-mail: tvor.83@mail.ru

СТРУКТУРА И ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКТОМИКОРИЗ У ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ НА СЕВЕРЕ

Важнейшую роль в функционировании лесных фитоценозов бореальной зоны играют эктомикоризы, представляющие собой симбиоз хвойных растений с грибами. Жизненная активность эктомикориз определяется состоянием и типом грибных чехлов, структура которых видоспецифична и подвергается возрастным изменениям [3]. Одним из методов определения жизненной активности корней является метод окрашивания флуоресцеином диацетата, основанный на распознавании «живых» и «мертвых» клеток по неспецифическим эстеразам, присутствующим только в живых клетках

[2]. Показано, что флуоресцентная активность микоризных чехлов обусловлена не только состоянием корня растения, но и видовым составом грибных симбионтов [3].

Целью нашей работы было изучение флуоресцентной активности эктомикориз сосны обыкновенной и ели сибирской, произрастающих в черничных типах хвойных фитоценозов на Севере.

Для флуоресцентного анализа нами использовано окрашивание поперечных срезов живых эктомикориз диацетатом флуоресцеина. Физиологическую активность эктомикориз

определяли по интенсивности окрашивания клеток грибного чехла, сети Гартига, проводящего цилиндра и коровой паренхимы. Ярко-зеленый цвет имели активно функционирующие клетки, зеленый – средне активные, желто-зеленый – слабо активные, коричневый цвет свидетельствовал об их старении и отмирании [3]. При описании типа грибного чехла, его структуры и плотности микориз использовали классификацию И. А. Селиванова [1].

У сосны обыкновенной в исследованных сообществах нами обнаружено 9 подтипов грибных чехлов эумицетных хальмофаговых эктомикориз: А, В, Е – плектенхиматические, F, G – псевдопаренхиматические, N, O, Q – двойные, RS – бесструктурные, которые различались по степени флуоресценции. У ели сибирской обнаружено 7 подтипов грибных чехлов: А, В, С, Е – плектенхиматические, F, G – псевдопаренхиматические, RS – бесструктурные. Встречаемость грибных чехлов эктомикориз характеризовалась сезонной динамикой и наибольшей долей псевдопаренхиматических чехлов подтипа F.

Наибольшее количество эктомикориз с чехлами ярко-зеленого и зеленого цветов у сосны было зафиксировано в июле, когда толщина грибного чехла достигала максимальных значений. Встречаемость эктомикориз с чехлами желто-зеленого цвета была максимальной в июне (80 %). Число неактивных микориз с чехлами коричневого цвета увеличивалось к концу сезона. У ели наибольшее количество физиологически активных микориз с чехлами ярко-зеленого и зеленого цветов было зафиксировано в мае и августе. Встречаемость чехлов желто-зеленого цвета была максимальной в июле (90 %).

В микоризе с плектенхиматическими чехлами подтипа А клетки корня и гриба сохраняют высокую физиологическую активность в течение всего вегетационного периода. Грибные чехлы В-, Е-, F-, G- и N-подтипов были менее активны, однако проводящий цилиндр и коровая паренхима в этих корневых окончаниях характеризовались высокой флуоресценцией. В микоризах O-, Q- и RS-подтипов активно функционировали проводящие ткани, однако чехлы и клетки коровой паренхимы окрашивались слабо, поэтому мы отнесли их к неактивным микоризам.

Наибольшей толщиной характеризовались чехлы с желто-зеленым флуоресцентным окрашиванием, которые были представлены в основном подтипом F. При формировании хорошо развитых чехлов снижалась доля таниновых клеток в коровой паренхиме. Обнаружена зависимость интенсивности флуоресцентного окрашивания грибного и растительного компонентов, а также сети Гартига и грибного чехла.

Таким образом, микоризы ели и сосны с различными подтипами чехлов отличались между собой по интенсивности флуоресцентной окраски. Все структурные элементы эктомикоризы с плектенхиматическими чехлами подтипа А характеризовались высокой функциональной активностью. Для микориз с чехлами В-, Е-, F-, G- и N-подтипов была свойственна средняя жизненная активность. Эктомикоризы с чехлами O-, Q- и RS-подтипов характеризовались низкой флуоресценцией. В сезонной динамике более интенсивная флуоресценция в микоризах отмечена в период их активного роста. Количество микориз с низкой активностью слабо менялось в течение сезона.

Список литературы

1. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.
2. Lundgren B. Fluorescein diacetate as a stain of metabolically active bacteria in soil // *Oikos*. 1981. V. 36. P. 17–22.
3. Qian X. M., Kottke I., Oberwinkler F. Influence of liming and acidification on the activity of the mycorrhizal communities in a *Picea abies* (L.) Karst. stand // *Plant Soil*. 1998. V. 199. P. 99–109.

STRUCTURE AND FLUORESCENCE ACTIVITY OF CONIFEROUS ECTOMYCORRHIZAE IN THE NORTH

Summary. Ectomycorrhizae play important role in functioning of forest ecosystems where they are also one of the major carbon sinks. Physiological activity of vital cells in ectomycorrhizae was studied by using fluorescein diacetate (FDA) and fluorescence microscopy. Fluorescence activity of ectomycorrhizal mantels depends on physiological state of trees and species composition of fungi. Ectomycorrhizal root tips of Siberian spruce (*Picea obovata*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris*) were sampled in different boreal forest sites in European part of Russia (the Komi Republic) during one growing season. Tissue fluorescence activity was estimated for nine ectomycorrhizal types of Scotch pine and for seven ectomycorrhizal types of Siberian spruce. Certain differences occurred among

ectomycorrhizal types in FDA-hydrolysing activity of the different tissue layers of mycorrhizae: cortex, hyphal mantel, Hartig net and stele. All main tissues of coniferous ectomycorrhizae with plectenchymatous mantels of type A were characterized by higher fluorescence activity. Fluorescence intensity of fungal mantels in ectomycorrhizae of types B-, E-, F-, G- and N was lower, but their stele indicated intermediate activity. Low activity of all tissues except for stele was registered in ectomycorrhizae of O-, Q- and RS-types, so these types were classified as inactive ectomycorrhizae. Highest fluorescence of ectomycorrhizae was recorded in period of their maximum growth in seasonal dynamics. Insignificant quantity of ectomycorrhizae with low activity was found during all the observation season.

И. А. Сморкалов, Е. Л. Воробейчик

Институт экологии растений и животных УрО РАН

г. Екатеринбург, Россия

e-mail: ivan.a.smorkalov@gmail.com

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДЫХАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ГРАДИЕНТАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ*

Почвенное дыхание – важнейший компонент цикла углерода наземных экосистем, определяемый метаболической активностью почвенной микрофлоры, корневых систем растений и почвенной фауны. При измерении *in situ* этот показатель интегрально характеризует интенсивность продукционных и деструкционных процессов [7]. В лесных экосистемах основной вклад (60–70 %) в микробиальное дыхание вносят почвенные грибы [1].

Выбросы медеплавильных заводов – один из наиболее сильных видов промышленного загрязнения: содержащиеся в них тяжелые металлы губительны и для микрофлоры, и для растений. Поэтому актуален вопрос о закономерностях изменения почвенного дыхания в

градиентах загрязнения выбросами этих предприятий.

В почвенной микробиологии дыхание чаще всего оценивают в лабораторных условиях в образцах почвы, из которой удалены корни; большинство работ, связанных с изучением влияния загрязнения, базируется на таких *ex situ*-оценках, которые характеризуют только микробиальную активность минеральных горизонтов. В немногочисленных исследованиях влияния загрязнения на *in situ*-интенсивность потока CO₂ обнаружено как его снижение, так и отсутствие изменений [6, 8]. В 2010 г. мы не обнаружили снижения (за исключением участка техногенной пустоши) интенсивности общей эмиссии CO₂ из почвы в градиентах загрязне-