

V Всероссийская
научно-практическая конференция
**Биологические системы:
устойчивость, принципы
и механизмы функционирования**



Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижнетагильский государственный
социально-педагогический институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ:
УСТОЙЧИВОСТЬ, ПРИНЦИПЫ И МЕХАНИЗМЫ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Сборник статей
V Всероссийской научно-практической конференции
1–4 марта 2017 года

Нижний Тагил
2017

УДК 574(063)
ББК 20.1я431
Б633

Печатается по решению Ученого совета НТГСПИ (протокол № 4 от 22.12.2016)

Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. Нижний Тагил, 1–4 марта 2017 г. / отв. ред. Т. В. Жуйкова. – Нижний Тагил: Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 2017. – 384 с.

ISBN 978-5-8299-0343-5

Рецензенты:

В. С. Безель, д-р биол. наук, профессор, ФГБУН «Институт экологии растений и животных»;

М. М. Ишмуратова, д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет».

В сборнике представлены материалы V Всероссийской научно-практической конференции, проходившей на базе Нижнетагильского государственного социально-педагогического института (филиала) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет» 1–4 марта 2017 г. Работы посвящены исследованию биологических систем организменного и надорганизменного уровней, проблемам экологической геохимии, вопросам устойчивости биологических систем к техногенному воздействию, экологическим проблемам антропогенно нарушенных биотопов и особо охраняемых природных территорий, методологическим подходам в исследованиях биологических систем разного уровня и биогеохимического мониторинга, современным проблемам экологии человека.

Материалы сборника представляют интерес для биологов, экологов, географов и химиков широкого профиля, научных сотрудников, молодых исследователей, преподавателей и студентов биологическо-химических и эколого-географических специальностей высшей школы.

ISBN 978-5-8299-0343-5

© Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 2017;
© Авторы статей, 2017

ВЛИЯНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА CO₂-ЭМИССИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ

Показано, что нитраты аммония и натрия не оказывают влияния на активность дереворазрушающих грибов и, соответственно, на активность окислительной конверсии углерода древесного пула в CO₂.

Ключевые слова: лесные экосистемы, углеродный цикл, эмиссия CO₂, грибы, азот, загрязнение среды.

¹ Diyarova D.K., ^{1,2} Mukhin V.A.

¹ Institute of Plant and Animal Ecology, UB RAS;

² Ural Federal University, Ekaterinburg

EFFECTS OF INORGANIC NITROGEN COMPOUNDS ON CO₂-EMISSION ACTIVITY OF WOOD-DECAYING FUNGI

It has been shown that ammonium nitrate and sodium do not affect the activity of wood-decaying fungi and, respectively, of the oxidative conversion of woody pool carbon to CO₂.

Keywords: forest ecosystems, carbon cycle, emission of CO₂, fungi, nitrogen, environmental pollution.

Одним из важных компонентов атмосферного загрязнения являются неорганические соединения азота. Так, только общее количество окислов азота, ежегодно поступающих в атмосферу, оценивается в 65 млн т, из них на транспорт приходится 55 %, энергетику – 28 %, на промышленные предприятия – 14 % (Бугорина и др., 2003). По данным Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области (URL: <http://www.minprir.midural.ru/info-harakteristika-zagryazneniya-atmosfery-v-gorodah-verkhnyaya-pyshma-polevskoy-revda-on-ocenivayetsya-kak-vysokiy>), очень высокий уровень загрязнения атмосферы диоксидом азота характерен для Нижнего Тагила, Серова, а в городах Верхняя Пышма, Полевской, Ревда он оценивается как высокий.

Экологические вопросы, связанные с аэротехногенным загрязнением атмосферы азотсодержащими соединениями и их влиянием на экосистемы, в частности, лесные, в настоящее время активно обсуждаются (Högberg, 2007). Одной из экологически важных групп лесных организмов являются дереворазрушающие грибы, представляющие собой единственную в био-

сфере группу организмов, способных осуществлять окислительную конверсию органического углерода древесного пула в CO_2 (Мухин, Воронин, 2007; Мухин, 2015). Важную роль дереворазрушающие грибы играют и в азотном цикле лесных экосистем (Мухин и др., 2014). В свете этого, изучение влияния загрязнения окружающей среды неорганическими соединениями азота на углерод-конверсионную активность дереворазрушающих грибов и, соответственно, на объемы эмиссии диоксида углерода лесными экосистемами приобретает особую актуальность.

В настоящей работе обсуждаются результаты экспериментальных работ по изучению влияния нитратов аммония и натрия как источников азота на CO_2 -эмиссионную активность дереворазрушающих грибов, являющуюся показателем интенсивности окислительной конверсии углерода древесного пула в диоксид.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Работы выполнены на биологической станции Уральского федерального университета, расположенной в Сысертском районе Свердловской области (56°36'5" с. ш., 61°3'24" в. д.). В качестве объектов исследования были взяты 6 широко распространенных в предлесостепных лесах Среднего Урала видов килотрофных базидиомицетов-деструкторов древесных остатков *Betula pendula* Roth – *Daedaleopsis tricolor* (Pers.) Bondartsev & Singer, *Fomitopsis betulina* (Bull.) B.K. Cui, M.L. Han & Y.C. Dai, *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers., *Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. & Ryvarden, *Trichaptum pargamenum* (Fr.) G. Cunn. – и *Pinus sylvestris* L.: *Trichaptum fuscoviolaceum* (Ehrenb.) Ryvarden.

Древесные остатки, разрушаемые указанными грибами, размером 2–4 см в диаметре отбирали в сосново-березовых лесах непосредственно перед началом экспериментов. Их распиливали на образцы 2–3 см длиной, измеряли размеры (диаметр, длина) и влажную массу. В экспериментах были использованы как образцы с базидиокарпами соответствующих видов грибов, так и без них. Подготовленные образцы помещали в открытые стеклянные экспозиционные камеры объемом 0.27 л и выдерживали при температуре 20 или 30 °C в течение 1–2 часов. Затем камеры герметично закрывали и измеряли исходное в них содержание CO_2 с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра GASMET модель DX-4030 (погрешность прибора ± 1 ppm). Герметично закрытые камеры с образцами древесины помещали на 30 минут в термостат с температурой 20 или 30 °C и по истечении этого времени повторно измеряли содержание CO_2 .

По разнице данных двух измерений определяли количество выделенного CO_2 , а затем с учетом длительности экспозиции и объема образцов рассчитывали их CO_2 -эмиссионную активность в $\text{мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{час}$. Это позволяло, во-первых, убедиться, что образцы физиологически активные, а, во-вторых, сформировать группы из образцов, близких по своей эмиссионной

активности: контрольная группа и две экспериментальных с 3 образцами в каждой. Контрольную группу образцов увлажняли дистиллированной водой, а экспериментальные – растворами NH_4NO_3 и NaNO_3 с концентрацией азота 0.1, 0.25 и 1.0 г N/л. Первую обработку образцов проводили сразу же после измерения их активности, а затем, в зависимости от конкретных задач эксперимента, проводили с разной периодичностью: через 1, 2, 3, 5 суток. После каждой обработки образцов растворами проводили измерение эмиссионной активности по описанной выше схеме.

По завершении эксперимента образцы высушивали при 105 °С в течение 72 часов, взвешивали и определяли их абсолютно сухую массу, а также рассчитывали исходную (до начала обработки растворами) относительную влажность образцов:

$$H = (M_w - M_d) / M_w \cdot 100 \%,$$

где H – относительная влажность древесины (%), M_w – влажная масса образца (г), M_d – абсолютно сухая масса образца (г). Она варьировала от 17 до 57 %, а в среднем составляла 37 %. При обработке образцов растворами относительная влажность возрастала до 45–74, в среднем 57 %. Влажность разных групп образцов отличалась, но для каждой группы она поддерживалась в течение экспериментального цикла на одном уровне.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием программ Excel и Statistica 8.0 (StatSoft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты работ по оценке влияния экзогенных неорганических соединений азота на CO_2 -эмиссионную активность дереворазрушающих базидиомицетов представлены на рисунке, а также в табл. 1, 2, 3. Материалы рисунка показывают, что внесение азота в виде NH_4NO_3 и NaNO_3 в древесные субстраты не оказывает однозначно положительного эффекта на эмиссионную активность ксилотрофных грибов. Наблюдаемое в отдельных случаях, например, у *Stereum hirsutum* и *Fomitopsis betulina* усиление CO_2 -эмиссионной активности при внесении нитрата натрия не превышает такое в контроле (рис. I, IV) и не может быть объяснено влиянием нитрата.

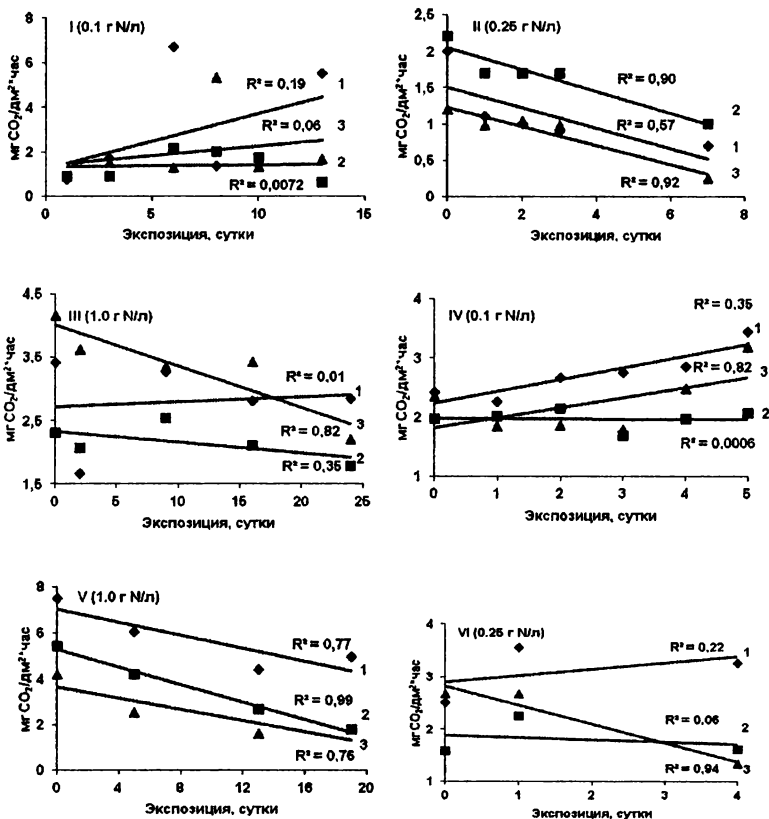


Рис. CO₂-эмиссионная активность *Stereum hirsutum* (I, II), *Trametes ochracea* (III), *Fomitopsis betulina* (IV), *Trichaptum pargamentum* (V), *Daedaleopsis tricolor* (VI) при обработке их древесных субстратов дистиллированной водой (1), нитратом аммония (2) и нитратом натрия (3). I, III, IV, V – образцы без базидиокарпов, температура 20 °С; II, VI – образцы с базидиокарпами, температура 30 °С

Значительно чаще, можно даже сказать – как правило, при обработке древесных субстратов растворами NH₄NO₃ и NaNO₃ грибы снижают CO₂-эмиссионную активность или она остается неизменной. Снижение эмиссионной активности в ответ на внесение NH₄NO₃ и NaNO₃ отмечается у *Trametes ochracea*, *Trichaptum pargamentum* и у *Stereum hirsutum* в экспериментальном варианте с базидиокарпами (рис. II, III, V). В случае

Trichaptum pargamentum, *Stereum hirsutum* снижение CO₂-эмиссионной активности наблюдается как в экспериментальных вариантах, так и в контроле, и это не позволяет рассматривать снижение эмиссии как результат негативного влияния нитратов. Однако о негативном влиянии нитратов можно говорить по отношению к *Trametes ochracea* и *Daedaleopsis tricolor*, когда наблюдается разная направленность в динамике CO₂-эмиссионной активности в экспериментальных вариантах и в контроле (рис. III, VI).

Отсутствие реакции эмиссионной активности на экзогенный азот наблюдается при обработке нитратом аммония древесных субстратов, разрушаемых *Daedaleopsis tricolor*, *Fomitopsis betulina*, а также *Stereum hirsutum* в экспериментальном варианте без базидиокарпов (рис. I, IV, VI). При этом в варианте с увлажнением образцов дистиллированной водой (контроль) во всех трех случаях регистрируется тенденция к усилению CO₂-эмиссионной активности. Следовательно, нитрат аммония не повышает, а подавляет эмиссионную активность грибов.

Отсутствие положительной реакции CO₂-эмиссионной активности ксилотрофных базидиомицетов на внесение неорганических соединений азота в древесные субстраты подтверждают и материалы трех ниже приведенных таблиц. Материалы первой из них показывают, что внесение азота в концентрации 0.25 г/л в форме нитрата аммония или натрия не приводит к значимому ($p>0.05$) изменению CO₂-эмиссионной активности *Trichaptum pargamentum*.

Таблица 1

Влияние нитратов аммония и натрия
на CO₂-эмиссионную активность *Trichaptum pargamentum*
(образцы с базидиокарпами, экспозиция 5 суток, температура 30 °С)

Экспериментальный вариант, концентрация азота, г/л	Исходная активность	Конечная активность	p^*
контроль	3.67±0.49	2.91±0.28	0.27
NaNO ₃ , 0.25	1.99±0.07	1.58±0.33	0.51
NH ₄ NO ₃ , 0.25	2.54±0.54	1.69±0.38	0.12

Примечание: p^* – значимость различий средних значений ($n = 3$) исходной и конечной CO₂-эмиссионной активности по критерию Манна-Уитни.

Собственно, к таким же выводам приводит и анализ данных таблицы 2, показывающих отсутствие значимых различий между исходной и конечной эмиссионной активностью ($p>0.05$) образцов древесины березы, разрушаемых *Stereum hirsutum* при обработке их растворами NaNO₃ и NH₄NO₃ с различной концентрацией азота.

Влияние нитратов аммония и натрия
на CO₂-эмиссионную активность *Stereum hirsutum*
(образцы без базидиокарпов, экспозиция 5 суток, температура 20 °С)

Экспериментальный вариант, концентрация азота, г/л	Исходная активность	Конечная активность	p
контроль	1.22±0.09	1.15±0.09	0.51
NaNO ₃ , 0.1	1.39±0.06	1.19±0.13	0.27
NaNO ₃ , 1.0	1.73±0.13	2.02±0.14	0.27
NH ₄ NO ₃ , 0.1	1.29±0.06	1.36±0.04	0.51
NH ₄ NO ₃ , 1.0	1.93±0.03	1.66±0.07	0.05

Как показывают данные таблицы 3, продолжительная обработка образцов древесины нитратами также не выявляет их положительного влияния на CO₂-эмиссионную активность. Наоборот, при продолжительной обработке отмечается существенное – в 2.5–4 раза – снижение эмиссии CO₂. В контрольном варианте этого не наблюдается, что, как мы считаем, указывает на негативное влияние нитратов на физиологическую активность грибов.

Таблица 3

Влияние нитратов аммония и натрия (1 г N/л)
на CO₂-эмиссионную активность *Trichaptum fuscoviolaceum* при разной
продолжительности обработки образцов растворами
(образцы без базидиокарпов, температура 20 °С)

Экспериментальный вариант, экспозиция, сутки	Исходная активность	Конечная активность	p
контроль, 13	1.36±0.15	1.45±0.07	0.82
NaNO ₃ , 3	1.35±0.07	1.4±0.21	0.82
NaNO ₃ , 4	1.23±0.17	1.63±0.14	0.12
NaNO ₃ , 13	1.49±0.08	0.37±0.02	0.04
NH ₄ NO ₃ , 3	1.66±0.02	1.53±0.26	0.82
NH ₄ NO ₃ , 4	1.27±0.27	0.89±0.16	0.27
NH ₄ NO ₃ , 13	1.38±0.1	0.56±0.02	0.04

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Азот – важный элемент минерального питания дереворазрушающих грибов, содержание которого в древесине очень низкое (0.01–0.3 %), а отношение C/N может достигать 1250:1 (Вакин, 1934; Рипачек, 1967; Watkinson et al., 2006; URL: <http://biology.semo.edu/wlilly/lab/overview.html>). По нашим данным (Мухин и др., 2016), соотношение углерода и подвижного азота, например, в березовой древесине составляет 2800:1. Ксилотрофные грибы способны усваивать органические и, в меньшей степени, неорганические источники азота, в частности нитратный и аммонийный азот (Herick, 1940; Cowling, Merrill 1966; Рипачек, 1967; Бейкер, 1988; Keller 1996; Камзолкина, Дунаевский, 2015; URL: <http://biology.semo.edu/wlilly/lab/overview.html>). Однако возможность их использования как источников азо-

та зависит от кислотности среды (Рипачек, 1967; Бейкер, 1988; Камзолкина, Дунаевский, 2015), вида грибов. Так, например, *Pleurotus ostreatus* хорошо усваивает аммонийный азот и плохо – нитратный. Плохо или вообще не используют в качестве источника азота нитраты *Schizophyllum commune* и *Gloeophyllum trabeum*, тогда как *Lentinus edodes* способен усваивать нитратный азот (Бейкер, 1988; Mikes et al., 1994; Камзолкина, Дунаевский, 2015; URL: <http://biology.semo.edu/wlilly/lab/overview.html>). Все это дает основание ожидать, что азотсодержащие неорганические азротехногенные поллютанты должны обладать слабо выраженным влиянием на физиологическую активность ксилотрофных грибов.

И это, на наш взгляд, подтверждают выше изложенные результаты наших работ по экспериментальному моделированию на примере нитратов аммония и натрия влияния азотного загрязнения на CO₂-эмиссионную активность ксилотрофных грибов. Их кратко можно суммировать следующим образом. Загрязнение атмосферы азотсодержащими неорганическими соединениями не оказывает влияния на физиологическую активность деструктурирующих грибов и, соответственно, не ведет к интенсификации окислительной конверсии углерода древесного пула. Скорее, наоборот, в условиях длительного, хронического загрязнения следует ожидать супрессивного эффекта. Реакция ксилотрофных грибов на азотное загрязнение атмосферы альтернативна таковой древесных растений, продуктивность которых сильно и положительно коррелирует с количеством поступающего из атмосферы с поллютантами азота (Högbeg, 2007).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-04-06881) и УРО РАН (проект № 15-12-4-27).

ПРИМЕЧАНИЯ

Бейкер З. Э. Физиология и биохимия грибов. М.: МГУ, 1988. 230 с.

Ванин С. И. Древесиноведение. Л.: Гослестехиздат, 1934. 548 с.

Инженерная экология и экологический менеджмент / М. В. Буторина [и др.]. М.: Логос, 2003. 477 с.

Камзолкина О. В., Дунаевский Я. Е. Биология грибной клетки: учеб. пособие. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 239 с.

Краткая характеристика загрязнения атмосферного воздуха в городах Свердловской области по данным наблюдений областной сети мониторинга атмосферного воздуха в III квартале 2016 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minprir.midural.ru/info-harakteristika-zagryazneniya-atmosfery-v-gorodah-sverdlovskoi-oblastirdfhfnc>. (дата обращения: 2.12.2016).

Микогенное разложение древесины: азотный баланс / В. А. Мухин, Д. К. Дярова, Н. В. Неустроева, М. В. Костицина // Биология, систематика и экология грибов и лишайников в природных экосистемах и агрофитоценозах: матер. II междунар. научн. конф. г. Минск; д. Каменюки, Беларусь: Колоград, 2016. С. 165–168.

Мухин В. А. Дереворазрушающие грибы – современная экологическая парадигма // Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов Северной Евразии: матер. Всерос. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. С. 170–172.

Мухин В. А., Воронин П. Ю. Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // Экология. 2007. № 1. С. 24–29.

Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 275 с.

Соотношение стабильных изотопов азота в древесных субстратах и дереворазрушающих грибах в лесных экосистемах западной Сибири / В. А. Мухин, П. Ю. Воронин, Т. А. Веливецкая, А. В. Игнатъев // Экология. 2014. № 6. С. 469–476.

Ammonia-assimilating enzymes in the basidiomycete fungus *Pleurotus ostreatus* / V. Mikes [et al.] // Microbiology. 1994. V. 140. P. 977–982.

Cowling E. B., Merrill W. Nitrogen in wood and its role in wood deterioration // Canadian Journal of Botany. 1966. № 44. P. 1539–1554.

Herrick J. A. The carbon and nitrogen metabolism of *Stereum gausapatum* Fries // The Ohio Journal of Science. 1940. Vol. XL. № 3. P. 123–129.

Högberg P. Nitrogen impacts on forest carbon // Nature. 2007. V. 447. P. 781–782.

Keller G. Utilization of inorganic and organic nitrogen resources by high-sub-alpine ectomycorrhizal fungi of *Pinus cembra* in pure culture // Mycological Research. 1996. № 100. P. 989–998.

Nitrogen limited growth of wood-decaying fungi [Электронный ресурс]. URL: <http://biology.semo.edu/wlilly/lab/overview.html> (дата обращения: 13.01.2017).

The role of wood decay fungi in the carbon and nitrogen dynamics of the forest floor / S. Watkinson [et al.] // Fungi in Biogeochemical Cycles. 2006. Cambridge University Press, GB. P. 151–181.