

УДК 582.28.613.2(476-22)

Д. Н. Дроздов, Т. И. Кожедуб

НАКОПЛЕНИЕ ФОСФОРА МИКОРИЗОБРАЗУЮЩИМИ ГРИБАМИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ С РАЗНОЙ КИСЛОТНОСТЬЮ

Ключевые слова: фосфор, фосфаты в почве, грибы, микориза, динамика накопления фосфора, дерново-подзолистые почвы, кислотность, органическое вещество.

Изучено влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на накопление фосфора плодовыми телами микоризообразующих грибов. Установлено что вне зависимости от pH, содержания органического вещества и фосфора в почве, наблюдается относительно стабильное накопление этого макроэлемента, в среднем на уровне 4700 мг/кг. Кислотность почвы и содержание органического вещества обуславливает до 55% вариации содержания фосфора в плодовых телах микоризообразующих грибов.

Keywords: phosphorus, phosphates in the soil, fungi, mycorrhiza, phosphorus accumulation dynamics, the sod-podzolic soil acidity, organic matter.

The effect of the agrochemical properties of sod-podzolic soils on the accumulation of phosphorus fruit bodies of mycorrhizal fungi. It was found that not a function of pH, organic matter and phosphorus in the soil, there is a relatively stable accumulation of the macro element, at an average of 4700 mg / kg, the acidity of the soil and organic matter content makes up 55% of the variation of phosphorus content in fruiting bodies of mycorrhizal fungi

Введение

Микоризообразующие грибы играют важную роль в лесных экосистемах, они, образуют сложные симбиозы с растениями многих видов, трансформируют в почве соединения элементов минерального питания и переводят их в доступную для поглощения форму [1-5]. Способность компенсировать дефицит биогенных элементов для растений лесных экосистем определяется способностью синтезировать комплекс ферментов, с помощью которых происходит деградация растительного субстрата. Кроме того, важным свойством микоризообразующих грибов является способность накапливать определенные химические элементы из почвенного субстрата. Способности трансформации и накопления макроэлементов детерминируются агрохимическими свойствами почв, среди которых важным является кислотность. Определенный интерес представляют процессы, связанные с трансформацией и накоплением грибами соединений фосфора на почвах с разной кислотностью и содержанием этого элемента. Минеральные фосфаты являются основным источником питания для растений и, как правило, преобладают в почве над органическими соединениями [5-7]. Кроме того, исследованию содержания элементного состава биологических систем посвящены в последнее время многие работы [8-9].

В качестве пробной площади для изучения процессов накопления фосфора грибами были выбраны территории пяти лесхозов в Гомельской области. Здесь характерно преобладание дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почв, которые образовались на мелкозернистых песках, часто подстилаемых мореным суглинком. Для лесных почв этой территории средневзвешенное содержание фосфора оценивается величиной менее 200 мг/кг [4], а главным источником фосфора считают почвообразующие породы. Растворимые

формы фосфора представлены в основном двумя группами солей: фосфатами Ca и Mg и фосфатами оксидов Fe и Al. Для почв этого типа почв более характерны фосфаты железа и алюминия.

Устойчивость минеральных соединений фосфора (ортофосфатов Ca, Al, Fe) в значительной степени зависит от почвенных условий, в частности, от величины кислотности почвенного раствора, от органического вещества и гранулометрических характеристик почв. Количество наиболее подвижных групп фосфатов увеличивается при переходе от суглинистых почв к песчаным, что указывает на относительно более высокую подвижность фосфора в легких почвах. С уменьшением влажности величина поглощения фосфора возрастает, температура либо ускоряет, либо замедляет физико-химические реакции, связанные с процессом поглощения фосфора [10]. Наблюдается тесная связь минералогического и гранулометрического состава и поглотительной способности почв, относительно фосфатов. Таким образом, для дерново-подзолистых почв с высокой кислотностью характерна низкая подвижность фосфора, следовательно, снижена его доступность и для растений. Тем не менее, для лесных почв имеющих pH от 4 до 5, богатых грибным мицелием, сохраняется достаточно высокая способность для миграции фосфора, улучшающая плодородие лесных формаций.

Цель работы состояла в оценке влияния кислотности почвы на накопительную способность микоризообразующих грибов для соединений фосфора.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования были заложены пробные площади на территории Терюхского, Макеевского, Грабовского и Романовичского лесничеств Гомельского лесхоза, а также Любанского лесничества Октябрьского лесхоза.

Лесничества Гомельского лесхоза расположены преимущественно на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах. Любанское лесничество находится на территории дерново-подзолистых заболоченных песчаных и низинных торфяно-болочных почв. Были заложены 11 пробных площадей, имеющих типичный древостой. На пробных площадях производился отбор проб почвы и сбор образцов дикорастущих грибов в летне-осенний период 2015 года. Пробы почв отбирали методом конверта, согласно ГОСТ 28168 буром на глубине 10 см. Общее количество проб составило 55 шт. После высушивания проб почвы стационара проводился химический анализ для определения кислотности, содержанию органического вещества и фосфора. Анализ проб почвы выполнялся в соответствии с ГОСТ 26483 и ГОСТ 26213. Определение кислотности почвы выполнено с помощью рН-метра 150 МИ, содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина путем мокрого озоления раствором бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) в серной кислоте с последующим титрованием. Содержание фосфора в почве определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. При сборе грибов учитывался размер плодового тела и их видовой состав. Отбирали грибы следующих видов *Boletus edulis* Bull., *Leccinum scabrum* Bull., *Leccinum aurantiacum* Fr., *Cantharellus cibarius* Fr., *Russula vesca* Fr. Для каждого вида гриба собранного на разных стационарах были сформированы объединенные пробы. После высушивания и озоления каждой пробы, определяли содержание фосфора. Для этого использовали косвенный метод атомно-абсорбционной спектроскопии с осаждением фосфора в виде фосфомолибдата. На основании полученных результатов был рассчитан коэффициент перехода (КП) фосфора в системе «почва-грибы». Статистическая обработка результатов химического анализа проводилась с помощью табличного редактора MS Office Excel 2010. Для статистического анализа использовались методы корреляционного и дисперсионного анализа данных. Для оценки достоверности различия содержания фосфора в грибах разных видов использовали t-критерий Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

В результате химического анализа проб почвы, полученной на разных площадях, установлено, что значения рН почвы варьируют в диапазоне от 3,6 до 5,0 (коэффициент вариации 10%). Содержание органического вещества варьирует от 0,4 до 3,6% (коэффициент вариации 54%), концентрация подвижных форм фосфора составила 39 ± 144 мг/кг сухой почвы (коэффициент вариации 35%). В таблице 1 приведены данные содержания фосфора в пробах почвы и плодовых телах грибов, собранных на участках с разной кислотностью. Данные в таблице 1 сгруппированы по степени увеличения значений кислотности почвы.

Таблица 1 – Свойства лесных почв и содержание фосфора в пробах макромицетов

рН	Содержание фосфора, мг/кг					
	Почва	<i>B. e.</i>	<i>L. s.</i>	<i>L. a.</i>	<i>C. c.</i>	<i>R. v.</i>
5,0	144	5800	5700	5100	4500	3200
4,7	74	4400	4500	4100	3600	3000
4,5	82	4800	4700	4400	4000	3400
4,3	91	5200	4400	4600	5200	3000
4,2	77	6900	5900	5500	4400	4900
4,1	79	5400	5300	5700	4200	4400
4,1	88	5500	4300	4900	3800	4800
4,0	85	5900	6700	5400	4800	4900
4,0	73	5400	5400	4900	4900	5300
3,8	39	4100	4800	4100	4500	3200
3,6	42	4900	4700	4100	3500	3900

Из таблицы 1 видно, что прослеживается общая закономерность снижения содержания фосфора в почве с понижением ее кислотности. Значение коэффициента корреляции составляет 0,81 ($p < 0,05$). Повышение кислотности почвенного раствора способствует увеличению концентрации подвижных форм алюминия, которые переводят фосфаты в неподвижную форму, недоступную для растений [10-12]. Анализ корреляционной связи между содержанием фосфора в грибах и почвой позывает, что плодородие лесных почв не оказывает значимого влияния на коэффициент накопления фосфора в плодовых телах грибов разных видов. Коэффициент корреляции между содержанием органического вещества в почве и содержанием фосфора в плодовых телах грибов разных видов указывает на отсутствие достоверной связи между этими показателями: *Boletus edulis* – 0,34, *Leccinum scabrum* – 0,29, *Leccinum aurantiacum* – 0,27, *Cantharellus cibarius* – 0,53 и *Russula vesca* – 0,31.

На рисунке 1 представлены распределения содержания фосфора в грибах разных видов.

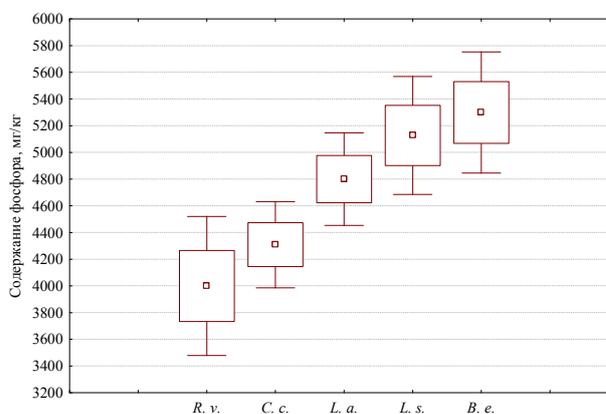


Рис. 1 – Содержание фосфора в плодовых телах макромицетов

Вариация значения содержания фосфора в грибах составила от 12 до 22%: для *Leccinum aurantiacum* 12%, *Cantharellu scibarius* 13%, *Boletus edulis* 14%, *Leccinum scabrum* 15% до *Russula vesca* 22%. Общая вариация значений содержания фосфора составила 18%, что указывает на однородность выборки по данному показателю. На рисунке 2 представлена динамика коэффициентов накопления фосфора грибами разных видов собранных на участках с разной кислотностью.

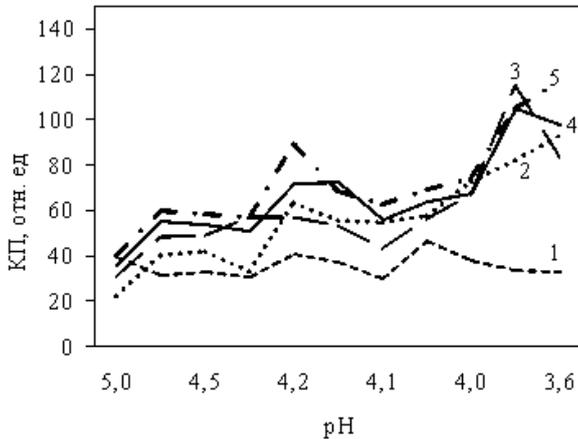


Рис. 2 – Динамика коэффициентов накопления фосфора грибами разных видов: 1 – *Russula vesca* Fr., 2 – *Leccinum scabrum* Bull., 3 - *Cantharellus cibarius* Fr., 4 – *Leccinum aurantiacum* Fr., 5 – *Boletus edulis* Bull.

Из рисунка 2 видно, что снижение кислотности почвы способствует переходу фосфора в грибной мицелий, исключение составили грибы вида *Russula vesca* Fr. Для грибов вида *Russula vesca* Fr. характерно стабильное накопление фосфора на уровне 5300 мг/кг сухого веса. Химический анализ плодовых тел показал, что среднее содержание фосфора в пробах грибов составляет 4707,3±847,8 мг/кг сухого вещества. Установлено достоверное различие содержания фосфора в грибах видов *Russula vesca* (4000±279 мг/кг), *Cantharellus cibarius* (4309±173 мг/кг), *Leccinum scabrum* (5127±236 мг/кг) и *Boletus edulis* (5300±243 мг/кг). Достоверная вероятность различия содержания фосфора между *Russula vesca* и *Leccinum aurantiacum* составила $p=0,02$, между *Russula vesca* и *Cantharellus cibarius* $p=0,004$, между *Cantharellus cibarius* и *Boletus edulis* $p=0,001$. Достоверного различия содержания фосфора между видами *Russula vesca* и *Cantharellus cibarius*, *Leccinum aurantiacum*, а также между *Leccinum aurantiacum*, *Leccinum scabrum* и *Boletus edulis* не установлено ($p>0,05$). Сравнительный анализ коэффициентов накопления фосфора грибами разных видов приведен в таблице 2.

Оценка влияния pH почвы, а также содержания органического вещества (гумуса) и фосфора почвы на накопление фосфора грибами выполнена с помощью ANOVA-анализа, результаты которого сведены в таблицу 3.

Таблица 2 – Коэффициенты накопления фосфора грибами разных видов

Вид	M±ME	SD	CV, %
<i>Russula vesca</i>	56±6	21	38
<i>Cantharellus cibarius</i>	60±7	23	38
<i>Leccinum aurantiacum</i>	66±6	20	31
<i>Leccinum scabrum</i>	71±8	26	36
<i>Boletus edulis</i>	73±7	23	31

Таблица 3 – Однофакторный дисперсионный анализ

Свойство	Дисперсия		p-уровень
	Между групп	Внутри групп	
Гумус	1,05E+7	2,83E+7	<0,01
Кислотность	1,08 E+7	2,80 E+7	<0,01
Фосфор в почве	0,42 E+7	3,46 E+7	0,21

Анализ результатов таблицы 3 показывает, что сила влияния фактора кислотности почвы составляет 27%, содержание органического вещества 28%, а содержание фосфора в почве 11%. Влияние содержания фосфора на накопительную способность этого макроэлемента не достоверно, на что указывает высокое значение достоверной вероятности. Из чего следует, что накопительные свойства грибов для фосфора в большей степени зависят от кислотности почвы и наличия органического вещества, по сравнению с его непосредственным содержанием в почве. Одним из объяснений такой закономерности может служить высокая ферментативная активность грибов, а также продукция микотрофными корнями кислой и щелочной фосфатаз. Они являются важными факторами перевода в почве малорастворимых соединений фосфора в доступные формы [12].

Заключение

Таким образом, изучение миграции фосфора в системе «почва-грибы» показывает, что вне зависимости от агрохимических свойств почвы, pH, содержания органического вещества, и собственно содержания фосфора, наблюдается относительно стабильное накопление этого макроэлемента, в среднем на уровне 4700 мг/кг. Установлено, что кислотность почвы и содержание органического вещества обуславливает до 55% вариации содержания фосфора в плодовых телах микоризообразующих грибов.

Литература

- Бурова, Л.Г. Грибы в лесных биогеоценозах / Л.Г. Бурова // Труды Московск. общества испытателей природы. Отд. биол. – 1976. – Т. 81, № 3. - С. 144-153.
- Космачевская, Л.Н. Арбускулярно-везикулярная микориза: ее изучение и применение для повышения плодородия почв / Л.Н. Космачевская // АгроЭкоИнфо. 2009. – № 2. – С. 15.

3. *Auge, R.M.* Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal Symbiosis. *Mycorrhiza*, 2001. – V. 11, № 3. – 42 p.
41. *Флора Беларуси*. Грибы: в 7 т. Т. 1. Boletales. Amanitales. Russulales / Национальная академия наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича; [О.С. Гапиенко, Я.А. Шапорова]; под общ. ред. В.И. Парфенова. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 199 с.
5. *Дьяков, Ю.Т.* Грибы и их значение в жизни природы и человека / Ю.Т. Дьяков // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 3. – С. 38-45.
6. *Falandysz, J.* Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms—health benefits and risks / *J. Falandysz, J. Borovička* // *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2013. - V. 97, № 2. - P. 477-501.
7. *Olsen, R.A.* Soil fungi and the fate of radiocaesium in the soil ecosystem – a discussion of possible mechanisms involved in the radiocaesium accumulation in fungi, and the role of fungias a Cs-sink in the soil // *R.A. Olsen, E. Joner, L.R. Bakken*. / *Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environment G. Desmetetal.*, ed. – London – New-York: Elsevier Applied Science, 1990. – P. 202-209.
8. *Сысоева М.А., Сысоева Е.В., Носов А.И., Фатыхова А.З.* Содержание макро- и микроэлементов в макромицетах, растущих в Республике Татарстан // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16, № 7. - С. 192-195.
9. *Кобелева Й.В., Кирилина Т.В., Низамова А.А. и др.* Анализ состояния активного ила в процессе опытно-промышленных испытаний реагента VTA ВЮКАТ Р500 для очистки сточных вод от соединений фосфора // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17, № 10. - С. 125-128.
10. *Адерихин П.Г.* Фосфор в почвах и земледелии Центрально-Черноземной полосы / П.Г. Адерихин – Воронеж, 1970. – 248 с.
11. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас – М.: Мысль, 198. – 439 с.
12. *Хабибрахимова, В.Р.* Роль базидиомицетов в биоценозе леса и биологически активные вещества, продуцируемые ими / В.Р. Хабибрахимова, М.А. Сысоева, С.А. Никитина, А.И. Носов // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2012. – № 31. – С. 165-167.

© **Д. Н. Дроздов**, канд. биол. наук, доцент каф. зоологии, физиологии и генетики, «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», dndrosdow@mail.ru; **Т. И. Кожедуб**, ассистент той же кафедры, bimgomel@gmail.com.

© **D. N. Drozdov**, Associate Professor, PhD, associate professor of the Department of Zoology, Physiology and Genetics Educational Institution "Gomel State University. Skaryna", dndrosdow@mail.ru; **T. I. Kozhedub**, assistant of the Department of Zoology, Physiology and Genetics Educational Institution "Gomel State University. Skaryna", bimgomel@gmail.com.