

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 582.287.23:574

Д. М. Иванов, М. А. Ефремова

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ БЕТА-АКТИВНОСТИ В ПЛОДОВЫХ ТЕЛАХ ГРИБОВ РОДА *LECCINUM*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ*

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС обширные территории Российской Федерации и сопредельных государств оказались загрязнены радионуклидами. Одним из основных путей поступления ^{137}Cs чернобыльского происхождения в организм человека является употребление в пищу лесных грибов [1].

Сбор и употребление в пищу съедобных дикорастущих грибов — часть нашей национальной культуры. В основном заготавливаемые виды относятся к эколого-трофической группе эктомикоризообразующих грибов. Установлено, что грибы, образующие эктотрофную микоризу с корнями древесных пород, накапливают больше радионуклидов в плодовых телах, чем сапротрофные и дереворазрушающие [2].

В нише эктомикоризообразующих грибов формируется повышенная дозовая нагрузка, поскольку концентрирование радионуклидов происходит с большого объема почвенной толщи вследствие разветвленности вегетативного мицелия и адсорбционного типа питания грибных организмов.

Род *Leccinum* S. F. Gray объединяет широко известные съедобные грибы — подосиновики и подберезовики. При сборе гербарного материала для изучения филогенетических связей между видами рода *Leccinum* были обнаружены плодовые тела подберезовиков с аномалиями морфологических признаков. Поры трубочек гимениального слоя в норме тонкие и округлые становятся широкими и угловатыми, а сам гимениальный слой разрастается вниз и увеличивается в размерах (рис. 1).

В районе сбора на карте радиоактивного загрязнения местности ^{137}Cs отмечены две зоны загрязнения плотностью 1 Ки/км² [3]. Была высказана гипотеза о том, что морфологические изменения в плодовых телах происходят в результате накопления радионуклидов.

Цель работы — провести оценку суммарной бета-активности плодовых тел грибов рода *Leccinum*, собранных в различных типах лесных сообществ и болотных экосистем.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

– провести сбор гербарного материала в районе исследования;

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 10-04-01190-а).

© Д. М. Иванов, М. А. Ефремова, 2012



Рис. 1. Морфологически измененный Подберезовик болотный с крупными угловатыми порами трубочек и утолщенной ножкой

- определить суммарную бета-активность в плодовых телах грибов;
- идентифицировать радионуклид, удельная активность которого выше допустимого уровня по СанПиН 2.3.2.1078-01.

Материалы и методы исследования

Гербарные материалы. Гербаризацию плодовых тел грибов проводили, придерживаясь классических рекомендаций [4]. Мясистые плодовые тела разрезали пополам сверху вниз. В случае крупных размеров шляпку разрезали на части толщиной 1–1,5 см. Затем высушивали в потоке теплого воздуха 35–40°C на электрической сушилке «Суховой».

Для изучения микроскопических признаков использовался микроскоп МБИ 15-У4.2 окуляр 10^x, объективы 10^x, 40^x, 60^x, перемена увеличения 1^x, 1,6^x, 2,5^x.

Латинские названия таксонов приводятся по работе [5]. Материалом для исследования послужили плодовые тела, принадлежащие к следующим видам:

Leccinum aurantiacum (Bull.) Gray — Подосиновик красный;

Leccinum vulpinum Watling — Красный гриб сосновый;

Leccinum versipelle (Fr. et Hök) Snell — Подосиновик желто-бурый;

Leccinum scabrum (Bull. : Fr.) S. F. Gray — Подберезовик обыкновенный;

Leccinum holopus (Rostk.) Watling — Подберезовик болотный.

Места сбора образцов. Перед описанием места сбора приведен его условный номер, используемый в таблице и на рис. 2. Сбор образцов проводился в Гатчинском (I–VII, IX–X) и Лужском (VIII) районах Ленинградской обл. В скобках указаны географические координаты, определенные GPS навигатором eTrex производства Garmin, точность 15 м, далее приведен тип лесного сообщества и даты сбора.

I — ст. Чаща, СНТ (садоводческое некоммерческое товарищество) «Мечта», северная дорога, лес между садоводством и р. Кременка, направо от тропы, перед лугом, (N 59°04.677', E 30°27.494', H 55 м), береза с примесью ели европейской, 11.06.2006, 23.06.2006;

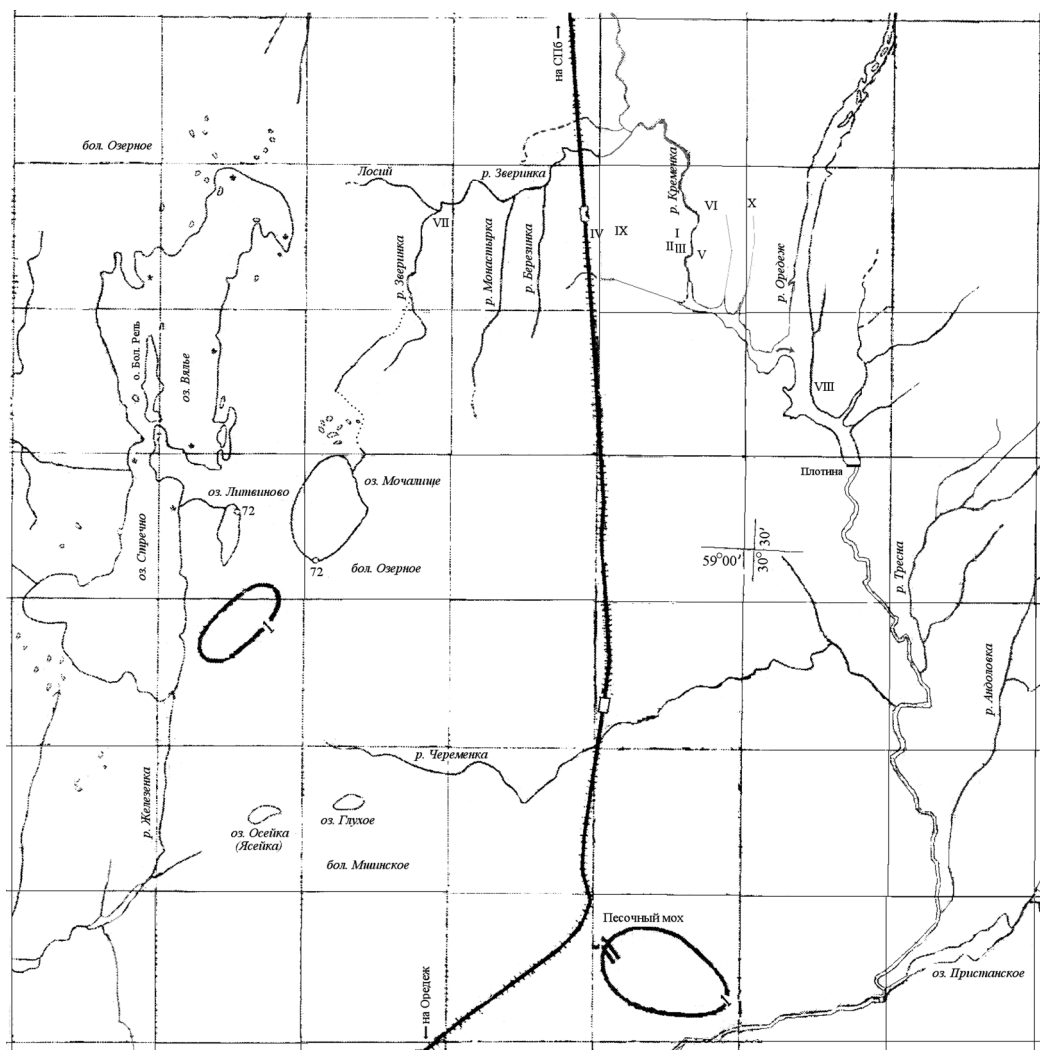


Рис. 2. Ленинградская область. Карта радиоактивного загрязнения местности (^{137}Cs). Фрагмент листа № 23 Оредеж. В 1 см — 2 км

Условные обозначения:

○ — зоны загрязнения местности ^{137}Cs плотностью 1 Ки/км². I-X — места сбора плодовых тел (то же в таблице).

II — ст. Чаща, СНТ «Мечта», южная дорога, при входе в лес, (N 59°04.495', E 30°27.302', H 46 м), смешанный лес, 03.09.2004, 29.08.2005, 08.09.2005;

III — ст. Чаща, СНТ «Мечта», южная дорога, лес между садоводством и р. Кременка, участок заболоченного леса, (N 59°04.489', E 30°27.321', H 57 м), береза пушистая, 15.08.2005, 24.08.2005, 29.08.2005;

IV — лес к югу от ст. Чаща, рядом с железной дорогой, (N 59°04.623', E 30°24.721', H 52 м), заболоченный смешанный лес, 10.09.2006;

V — покос на правом берегу р. Кеменка, в пойме, (N 59°04.491', E 30°27.767', H 68 м), одиночные березы, 23.09.2006;

VI — лес за р. Кременка, просека вдоль кварталов 95, 96, 97, (N 59°04.655', E 30°27.949', N 70 м), осиново-еловый лес, 13.08.2005, 21.08.2005;

VII — заказник Мшинское болото, уроч. Комарино, (N 59°04.800', E 30°20.606', N 66 м), осиново-еловый лес, 13.07.2007, 12.07.2008;

VIII — левый берег р. Оредеж, между впадением р. Кременка и плотиной малой ГЭС, (N 59°02.528', E 30°31.423', N 45 м), сосняк бруснично-вересковый, 17.07.2007;

IX — первая треть дороги от ст. Чаща к СНТ «Волна», за дренажной канавой, (N 59°04.781', E 30°25.326', N 70 м), участок сфагнового болота с березой и сосной, 10.09.2006;

X — лес между р. Кременка и р. Оредеж, просека в квартале 97, (N 59°04.785', E 30°29.389', N 47 м), заболоченный участок низкорослого леса из сосны и березы с примесью ели, 02.08.2008, 22.08.2008.

Проведение измерений активности проб. Для определения суммарной активности грибов использовался радиометр бета-излучения «Бета». Детектор — газоразрядный счетчик торцового типа СБТ-10, расположенный в свинцовом домике. Измерения проводились в условиях толстого слоя. Значение фона детектора измеряли каждые два часа. Измерения активности были проведены для каждого гербарного образца. Время измерения пробы не менее 1000 с. Среднее значение по образцам получено для плодовых тел одного вида из одного местообитания (таблица). Идентификацию радионуклидного состава пробы проводили на сцинтилляционном гамма-спектрометре МКГБ-01 «РАДЕК».

Результаты исследований и их обсуждение

Средние значения суммарной бета-активности для образцов плодовых тел грибов из разных мест сбора приведены в таблице. Различия в количестве образцов объясняются спорадичностью образования плодовых тел.

Средние значения суммарной бета-активности грибов

Место сбора	Вид рода <i>Leccinum</i>	Измерено образцов	Q Бк/кг*
I	<i>L. versipelle</i>	4	1193 ± 265
II	<i>L. scabrum</i>	6	1234 ± 180
III	<i>L. holopus</i>	6	3172 ± 318
IV	<i>L. holopus</i>	17	3335 ± 616
V	<i>L. scabrum</i>	4	1711 ± 171
VI	<i>L. aurantiacum</i>	5	1896 ± 304
VII	<i>L. aurantiacum</i>	5	1997 ± 198
VIII	<i>L. vulpinum</i>	4	1665 ± 369
IX	<i>L. holopus</i>	4	4495 ± 1240
X	<i>L. holopus</i>	9	3551 ± 967

* Уровень значимости $p < 0,05$.

В незагрязненных лесных экосистемах I и II активность измеренного материала сопоставима с уровнем фона детектора. Анализ полученных результатов измерений суммарной бета-активности грибов (см. таблицу) показывает, что в местах сбора III, IV, IX и X (см. рис. 2), в плодовых телах, принадлежащих виду *L. holopus* — Подберезовик

болотный, были обнаружены превышения допустимого уровня содержания радионуклидов. Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 [6] допустимый уровень содержания ^{137}Cs в сухих грибах составляет 2500 Бк/кг.

Измерения активности в образцах плодовых тел грибов из мест сбора III, IV, IX и X на сцинтилляционном гамма-спектрометре показали присутствие ^{137}Cs .

В районе проведения измерений на карте радиоактивного загрязнения местности ^{137}Cs [3] указаны две зоны загрязнения плотностью 1 Ки/км². Фрагмент карты приведен на рис. 2. Однако плодовые тела грибов с превышением допустимого уровня содержания ^{137}Cs найдены на расстоянии 16–22 км к северу от указанных зон. Места сбора загрязненных плодовых тел отмечены на рис. 2.

Данные, приведенные в таблице и на рис. 2 показывают мозаичность распределения радиоактивного загрязнения на небольшой территории, что связано с различными эдафическими условиями в том или ином типе лесного сообщества. Установлено, что в болотных экосистемах накопление радионуклидов грибами превышает значения, полученные для лесных сообществ. Это объясняется большей подвижностью радионуклидов в торфяной почве по сравнению с минеральными почвами лесных сообществ и, следовательно, большей степенью их доступности для грибного мицелия.

Территория, на которой были выявлены места сбора с превышением допустимого уровня содержания ^{137}Cs в плодовых телах, расположена в окрестностях массива «Чаща», включающего большое число садоводческих некоммерческих товариществ. Поэтому сбор и употребление в пищу загрязненных грибов на рассматриваемой территории исключать полностью нельзя. Необходима дальнейшая работа по выявлению участков локального загрязнения, детализации их границ, составлению карты и информированию населения.

Одной из главных рекомендаций является ограничение сбора грибов на болотах и в заболоченных участках леса. При этом следует отметить, что грибы, собираемые в таких экосистемах, например Подберезовик болотный, относятся к малоценным съедобным видам четвертой категории.

На данном этапе исследований определение подберезовиков с аномалиями морфологических признаков, показанных на рис. 1, проведено до вида *L. holopus* — Подберезовик болотный — на основе морфологических, микроскопических и экологических характеристик. Нормальное плодовое тело Подберезовика болотного приведено на рис. 3.

Однако в сходных местобитаниях, особенно на границе болот, в сообществах с участием сосны, в те же сроки плодоношения встречается другой близкий вид *L. variicolor* Watling — Подберезовик разноцветный. Поиск линии раздела между *L. holopus* и *L. variicolor* обсуждается в работе [7].



Рис. 3. *Leccinum holopus* (Rostk.) Watling — Подберезовик болотный

Размеры, характеризующие микроскопические признаки (размер спор, гимено- и каулоцистид) у *L. holopus* и *L. variicolor* перекрываются. Так, для исследованных образцов обоих видов *L. holopus* и *L. variicolor* размер спор составил 16,0–18,0×5,0–7,0 мкм [7]. Следует отметить, что размеры спор у образцов *L. holopus* с превышением допустимого уровня содержания ¹³⁷Cs были несколько больше — 18,0–21,0×6,0–7,0 мкм, что также соответствует описанию этих видов.

Вероятно, причины аномалий морфологических признаков обусловлены генетическими эффектами, приводящими к изменению гимениального слоя, являющегося генеративным органом. Известно, что генеративные органы обладают наибольшей радиочувствительностью. Было установлено, что гимениальный слой накапливает максимальную концентрацию радионуклидов по сравнению с другими частями плодового тела гриба [2].

В дальнейшем, для идентификации плодовых тел с превышением допустимого уровня содержания ¹³⁷Cs и разросшимся гимениальным слоем из крупных и угловатых трубочек планируется использовать методы анализа целевых фрагментов рибосомальной ДНК [8].

На протяжении XX в. в стратегии радиационной защиты господствовал принцип: «если радиационными стандартами защищен человек, то автоматически оказывается защищенной от воздействия ионизирующих излучений и природа (биота)» [9, с. 94]. Этому способствовал ряд предпосылок. Прежде всего, человек является наиболее радиочувствительным организмом. Кроме того, охрана здоровья человека, в том числе и при воздействии ионизирующих излучений, относится к одному из высших приоритетов [9].

Однако для человека возможно активное снижение доз облучения. Например, изменение времени пребывания в зонах радиоактивного загрязнения, ограничение в употреблении продуктов питания и воды, отселение из загрязненных зон. Для биоты такие возможности исключены. Также существуют ситуации, когда в окружающей среде человек отсутствует, а источник облучения воздействует на биоту.

Поэтому с начала XXI в. получила развитие концепция защиты биоты — «человек может быть здоров только в чистой окружающей среде» [9, с. 95]. Со временем ее основные положения были оформлены в виде публикации 91 МКРЗ [10].

Одной из идей, развитых в публикации 91 МКРЗ, является применение референтных живых организмов. Считается, что группа референтных организмов станет реперной в оценке основных закономерностей действия ионизирующих излучений на биоту.

При выборе таких референтных видов учитываются в первую очередь следующие особенности: радиочувствительность, значимость в экосистеме, представительность в основных экосистемах мира, объем имеющейся радиобиологической и радиоэкологической информации по этим видам [10].

Можно рекомендовать Подберезовик болотный и близкие виды в референтную группу живых организмов для радиоэкологического мониторинга лесных и болотных сообществ, поскольку они радиочувствительны, принадлежат к эколого-трофической группе облигатных симбиотрофных грибов, участвующих в формировании современного лесного пояса Голарктики, и широко известны у населения в качестве дополнительного источника питания.

Результаты наших исследований можно применять для выявления некартированных участков загрязнения лесных сообществ ¹³⁷Cs, в том числе и локальных.

Заключение

В районе исследования для плодовых тел грибов вида *Leccinum holopus* — Подберезовик болотный — установлено превышение уровня активности по ^{137}Cs над допустимым по СанПиН 2.3.2.1078-01 значением. Местообитанием загрязненных грибов являются болотные экосистемы.

Места сбора загрязненных плодовых тел не относятся к официальным территориям чернобыльского следа, указанного на карте радиоактивного загрязнения местности ^{137}Cs .

Предлагается включить Подберезовик болотный в референтную группу живых организмов для экологического мониторинга ^{137}Cs в лесных сообществах и болотных экосистемах.

Литература

1. Булгаков А. А., Коноплев А. В., Авилла Р. Оценка накопления ^{137}Cs в лесных грибах по свойствам почвы // Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т. 40, № 4. С. 462–464.
2. Щеглов А. И., Цветнова О. Б. Грибы — биоиндикаторы техногенного загрязнения // Природа. 2002. № 11. С. 39–46.
3. Ленинградская область. Карта радиоактивного загрязнения местности (цезием-137). 1 : 200 000. СПб.: КПЦ «Ленлес». 1992. 30 л. карт.
4. Бондарцев А. С., Зингер Р. А. Руководство по сбору высших базидиальных грибов для научного их изучения. Споровые растения // Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. II. 1950. Вып. 6. С. 499–543.
5. Den Bakker H. C., Noordeloos M. E. A revision of European species of *Leccinum* Gray and notes on extralimital species // Persoonia. 2005. Vol. 18. P. 511–587.
6. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов // Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01 / Утв. главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2001 г. с изменениями от 31 мая 2002 г., 20 августа 2002 г., 15 апреля 2003 г.
7. Иванов Д. М. Поиск гиатуса между видами *Leccinum holopus* и *Leccinum variicolor* // Иммунопатология. Аллергология. Инфектология. 2010. № 1. С. 37.
8. Иванов Д. М. Верификация метода рестрикционного анализа рДНК для изучения геномного полиморфизма представителей порядка *Boletales* // Вестн. С-Петербург. ун-та. Сер. 3: Биология. 2008. Вып. 4. С. 112–120.
9. Алесахин Р. М., Фесенко С. В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы // Радиационная биология. Радиоэкология. 2004. Т. 44, № 1. С. 93–103.
10. Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека. Публикация 91 МКРЗ / пер. с англ. М.: Изд. «Комтехпринт», 2004. 76 с.

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2011 г.