

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 582.287.23:574

Д. М. Иванов

БИОМОНИТОРИНГ ^{137}Cs В ЭКОСИСТЕМЕ ВЕРХОВОГО БОЛОТА ПО ПЛОДОВЫМ ТЕЛАМ *LECCINUM HOLOPUS* — ПОДБЕРЕЗОВИКА БОЛОТНОГО

Введение

На основании проведенных исследований было установлено, что накопление ^{137}Cs в плодовых телах грибов, относящихся к виду Подберезовик болотный — *Leccinum holopus* (Rostk.) Watling, далее *L. holopus*, приводит к морфологическим изменениям гимениального слоя [1, 2]. Указанные морфологические изменения наблюдаются визуально (рис. 1), что облегчает обнаружение таких плодовых тел в полевых условиях.



Рис. 1. Плодовые тела Подберезовика болотного с разросшимся гимениальным слоем из крупных трубочек с угловатыми порами

Иванов Дмитрий Михайлович — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Санкт-Петербургский государственный университет; e-mail: goldenflees@mail.ru

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

© Д. М. Иванов, 2013

Для названия организмов, способных изменять свои морфологические признаки при накоплении загрязняющих веществ, предложен термин — «биомонитор». Выявление новых биомониторов в условиях чрезвычайного разнообразия объектов живой природы является несомненной удачей [3].

Проблема использования морфологических признаков грибов для биомониторинга различного рода загрязнений остается нерешенной. Такие биомониторы позволили бы выявлять локальные участки химического и радиационного загрязнения и проводить выбраковку загрязненных плодовых тел [3].

В работе [1] обосновано предложение по включению *L. holopus* в референтную группу живых организмов для экологического мониторинга ^{137}Cs в лесных сообществах и болотных экосистемах. Однако целенаправленного массового сбора морфологически измененных плодовых тел *L. holopus* для такого исследования не проводилось.

Цель работы — провести биомониторинг ^{137}Cs в экосистеме верхового болота на основе массового сбора морфологически измененных плодовых тел *L. holopus*.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- провести сбор плодовых тел грибов *L. holopus* в период массового плодоношения;
- нанести маршрут сбора плодовых тел на карту;
- измерить суммарную бета-активность в плодовых телах *L. holopus*;
- сравнить полученные результаты измерений по плодовым телам *L. holopus* с данными измерений суммарной бета-активности в плодовых телах других симбиотрофных макромицетов, произрастающих на болоте.

Материалы и методы исследования

Гербарные материалы. Сбор образцов проводился 15.09.2012 в Гатчинском районе Ленинградской обл.

Латинские названия таксонов приводятся по данным Index Fungorum (URL: <http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>). Русские названия видов грибов приведены по определителю Б. П. Василькова [4].

Материалом для исследования послужили плодовые тела, принадлежащие к виду *Leccinum holopus* (Rostk.) Watling — Подберезовик болотный.

Кроме плодовых тел *L. holopus*, также были собраны плодовые тела следующих видов эктомикоризных грибов:

Suillus variegatus (Sw.) Kuntze — Моховик желто-бурый;

Suillus flavidus (Fr.) J. Presl — Масленок болотный;

Lactarius helvus (Fr.) Fr. — Млечник серо-розовый;

Russula emetica (Schaeff.) Pers. — Сыроежка едкая.

Собирали рядом расположенные плодовые тела указанных видов в количестве, достаточном для приготовления образца, удовлетворяющего условию измерения в толстом слое.

Составление карты местности и нанесение маршрута сбора грибов. Карта местности была составлена на основе карт Ленинградской обл., вложенных в программу OziExplorer, по данным спутниковой съемки программы Google Планета Земля. Географические координаты каждой точки сбора, приведенные в таблице, определялись GPS-навигатором eTrex пр-ва Garmin, точность 15 м. На их основе был проложен маршрут следования по болоту. Материалы всех трех источников использовались для измерения площади болота, которая составила 10 га.

Средние значения суммарной бета-активности в плодовых телах грибов

Точка сбора	Вид	GPS-координаты	Q Бк/кг*
1	<i>Suillus flavidus</i>	N 59°04.697', E 30°25.735'	6153 ± 616
2	<i>Suillus variegatus</i>	N 59°04.692', E 30°25.695'	6185 ± 619
3	<i>Lactarius helvus</i>	N 59°04.697', E 30°25.670'	4623 ± 462
4	<i>Russula emetica</i>	N 59°04.718', E 30°25.674'	6605 ± 661
5	<i>Leccinum holopus</i>	N 59°04.714', E 30°25.603'	9870 ± 987
6	<i>L. holopus</i>	N 59°04.692', E 30°25.566'	7657 ± 766
7	<i>L. holopus</i>	N 59°04.685', E 30°25.566'	8091 ± 809
8	<i>L. holopus</i>	N 59°04.706', E 30°25.580'	9894 ± 989
9	<i>L. holopus</i>	N 59°04.683', E 30°25.578'	8272 ± 827
10	<i>L. holopus</i>	N 59°04.662', E 30°25.567'	7390 ± 739
11	<i>L. holopus</i>	N 59°04.649', E 30°25.588'	7397 ± 740
12	<i>L. holopus</i>	N 59°04.628', E 30°25.617'	8516 ± 852
13	<i>L. holopus</i>	N 59°04.613', E 30°25.615'	7531 ± 753
14	<i>L. holopus</i>	N 59°04.545', E 30°25.624'	7856 ± 786

* В данном случае учтена ошибка прибора — 10%.

Расположение точек сбора на карте (рис. 2) обусловлено спорадичностью плодоношения. Маршрут проходил последовательно от 1-й к 14-й точке.

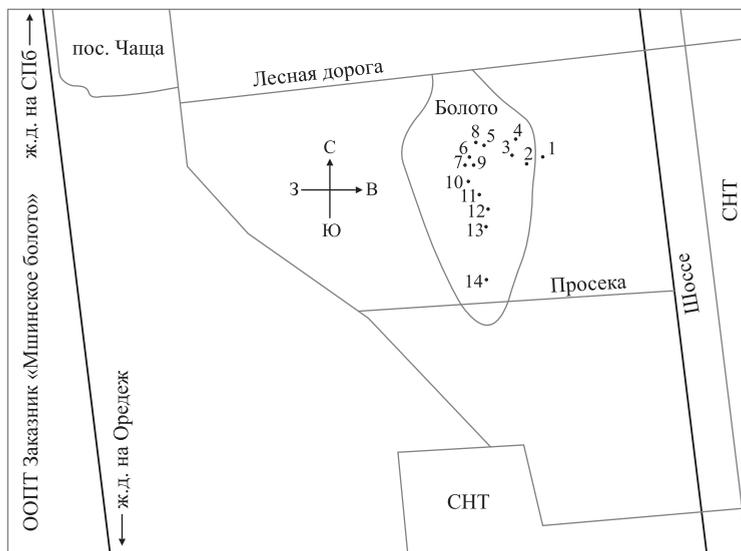


Рис. 2. Расположение верхового болота на местности

Условные обозначения: 1–14 — точки сбора плодовых тел (то же в таблице); СНТ — садоводческое некоммерческое товарищество. В 1 см — 100 м.

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 2 ч. Время измерения пробы не менее 1000 с. Среднее значение суммарной бета-активности, полученное для плодовых тел одного вида из каждой точки сбора, приведено в таблице.

Средняя масса навески сухих плодовых тел грибов при измерении суммарной бета-активности составляла 4,00 г. Размер кюветы для измерения 8,0×5,5×2,0 см, примерный объем — 90 см³. Для измерения использовали только шляпки плодовых тел.

Результаты исследований и их обсуждение

Ранее по северной границе болота (см. рис. 2) были сделаны отдельные находки плодовых тел с измененной морфологией и превышением суммарной бета-активности. Методом гамма-спектроскопии было установлено, что превышение суммарной бета-активности вызвано наличием в плодовых телах ¹³⁷Cs [1].

Кроме того, в окрестностях верхового болота расположен массив «Чаша», включающий большое число садоводческих некоммерческих товариществ (см. рис. 2). Территория болота используется садоводами для сбора дикорастущих съедобных грибов и ягод.

Известно, что в плодовых телах грибов, образующих эктотрофную микоризу, концентрация радионуклидов в шляпках выше, чем в ножках. Связано это с тем, что гимениальный слой является местом протекания кариогамии и мейоза у высших базидиальных грибов. Органы, ответственные за половое размножение, поражаются в большей степени, поскольку обменные процессы протекают в них более интенсивно [5].

Все плодовые тела Подберезовика болотного, собранные в точках 5–14 (см. таблицу и рис. 2), имели разросшийся, морфологически измененный гимениальный слой из широких и угловатых трубочек (см. рис. 1). При выборе точек сбора прежде всего обращали внимание на растущие рядом плодовые тела грибов.

Экологическая особенность вида Подберезовик болотный связана с тем, что он растет при избыточном увлажнении на кислых торфяных болотных почвах и его плодовые тела после высушивания обладают небольшим объемом и массой 1,0–1,3 г. Поэтому для одного плодового тела не соблюдается условие измерения суммарной бета-активности в толстом слое. В среднем, шляпка одного высушенного плодового тела заполняет 1/3 измерительной кюветы. Ранее образцы собирались на значительном удалении друг от друга, что не позволяло объединить разные плодовые тела в одну пробу. При выполнении данного исследования было поставлено условие, что образец должен состоять из 3–4 плодовых тел, растущих близко друг от друга. Каждое плодовое тело помещали в свой конверт. Конверты объединяли соответственно месту сбора.

Мякоть шляпки Подберезовика болотного очень рыхлая, плохо переносит транспортировку и раскисает. Поэтому от измерения суммарной бета-активности в свежих плодовых телах отказались. Наиболее удобным способом фиксации собранного материала и предотвращения его повреждения является скорейшее высушивание в токе теплого воздуха при 35–40 °С. При этом практически сохраняется первоначальный объем шляпки, нарезанной на пластинки, что способствует заполнению объема кюветы.

Главное условие при высушивании плодового тела для микологического гербария заключается в том, чтобы оно было сохранено по возможности полностью, без разрезания. Однако для выполнения поставленных в работе задач шляпки разрезали на пластинки толщиной не более 0,5 см.

Описанная подготовка образца перед высушиванием позволила получить гербарные образцы, пригодные для плотного укладывания нарезанных и высушенных шляпок в измерительную кювету. Поскольку образец для измерения составлялся из шляпок нескольких плодовых тел (3–4), росших рядом, то также стояла задача: после измерения вернуть части разных образцов в свои гербарные конверты. Для этого высушенные части шляпки одного плодового тела помечали тушью. Такое сохранение образцов позволяет не только измерить суммарную бета-активность, но в дальнейшем использовать их для выделения ДНК и изучения внутривидового генетического полиморфизма.

Средние значения суммарной бета-активности для образцов плодовых тел грибов из разных точек сбора приведены в таблице.

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 [6] допустимый уровень содержания ^{137}Cs в сухих грибах составляет 2500 Бк/кг. Анализ полученных результатов показывает, что значения суммарной бета-активности во всех образцах плодовых тел *L. holopus* в точках сбора, расположенных по маршруту, превышают установленные допустимые значения в 3,0–3,9 раза.

Анализ данных таблицы показывает равномерное распределение радиоактивного загрязнения плодовых тел в точках сбора по маршруту следования (см. рис. 2).

В плодовых телах *Suillus variegatus*, *Suillus flavidus*, *Lactarius helvus*, *Russula emetica*, собранных по маршруту, также выявлено превышение установленных допустимых значений в 1,8–2,6 раза.

На основе полученных данных рекомендуется не употреблять в пищу морфологически измененные плодовые тела Подберезовика болотного, а также плодовые тела растущих рядом симбиотрофных макромицетов.

Однако известно, что в тех местах, где грибы концентрируют радионуклиды, содержание этих элементов в ягодах находится в допустимых пределах. По маршруту следования также были собраны ягоды клюквы. Величина суммарной бета-активности в ягодах клюквы, измеренная в условиях толстого слоя, не превышает фоновых значений. Это находится в согласии с тем положением, что накопления радионуклидов в плодах не происходит или происходит в меньшей степени.

Накопление радионуклидов в плодовых телах грибов происходит в верховых болотах в большей степени, чем в лесных экосистемах [1]. Увеличение подвижности тяжелых металлов и радионуклидов происходит в разные промежутки времени и при промывном режиме почвы связано с изменением степени увлажнения [7]. Количество радионуклида в почве, доступное для поглощения или вертикального переноса, определяется взаимодействием различных фракций твердой фазы почвы и почвенной влаги [8].

Можно предположить, что увеличение поступления ^{137}Cs в плодовые тела произошло следующим образом: *Leccinum holopus* — это осенний вид и его плодоношение совпадает с обильными дождями, влияющими на характеристики почвенного раствора. Дополнительные количества влаги способствуют миграции радионуклида по всему профилю торфяной почвы, обладающей кислой реакцией среды (рН 3,5–4,5), и его селективному концентрированию вегетативным мицелием эктомикоризных грибов.

Установлено, что в кислой среде торфяных почв закрепление ^{137}Cs твердой фазой почвы по сравнению с суглинистыми и супесчаными почвами минимально [9]. Селективное концентрирование ^{137}Cs в плодовых телах может приводить к запуску механизма миграции радионуклида вверх по почвенному профилю, выносу радионуклида на поверхность и вторичному загрязнению среды после отмирания плодовых тел.

Заключение

Для биомониторинга ^{137}Cs в экосистеме верхового болота было использовано явление изменения морфологических признаков гимениального слоя *Leccinum holopus* — Подберезовика болотного — в ответ на накопление радионуклида в плодовых телах. Выявлено, что содержание радионуклида в плодовых телах *Leccinum holopus* во всех точках сбора, расположенных по маршруту, превышает установленные допустимые значения в 3,0–3,9 раза. В плодовых телах *Suillus variegatus*, *Suillus flavidus*, *Lactarius helvius*, *Russula emetica*, собранных по маршруту, также выявлено превышение установленных допустимых значений в 1,8–2,6 раза.

Литература

1. Иванов Д. М., Ефремова М. А. Оценка суммарной бета-активности в плодовых телах грибов рода *Leccinum*, произрастающих в лесных и болотных экосистемах Ленинградской области // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3: Биология. 2012. Вып. 2. С. 55–61.
2. Иванов Д. М. Идентификация подберезовиков с аномалиями морфологических признаков и превышением содержания ^{137}Cs в плодовых телах методом рестрикционного анализа участков рДНК // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3: Биология. 2013. Вып. 1. С. 88–93.
3. Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
4. Васильков Б. П. Съедобные и ядовитые грибы средней полосы европейской части России: определитель. СПб.: Наука, 1995. 189 с.
5. Щеглов А. И., Цветнова О. Б. Грибы — биоиндикаторы техногенного загрязнения // Природа. 2002. № 11. С. 39–46.
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. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
8. Фесенко С. В., Спиридонов С. И., Санжарова Н. И., Алексахин Р. М. Оценка периодов полуснижения содержания ^{137}Cs в корнеобитаемом слое почв луговых экосистем // Радиационная биология. Радиоэкология. 1997. Т. 37, вып. 2. С. 267–280.
9. Санжарова Н. И., Фесенко С. В., Алексахин Р. М. Динамика биологической доступности ^{137}Cs в системе почва—растение после аварии на Чернобыльской АЭС // Доклады академии наук. 1994. Т. 338, № 4. С. 564–566.

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2012 г.