

Морфофункциональная характеристика изучаемых тканей через 12 месяцев после имплантации

Результаты измерений приведены в таблице 4. Через 12 месяцев после имплантации толщина стенки синтетического искусственного протеза была меньше (1269,5 (1094,12–1444,26) мкм), чем через 9 месяцев (1396,89 (1231,14–1561,91) мкм) ($p = 0,039$). Васкуляризация протеза (5,9 (4,91–6,89) %) была меньше, чем в поверхностной (6,42 (5,59–7,11) %) и бедренной вене (8,25 (6,18–10,22) %) ($p = 0,045$). Через 12 месяцев после имплантации фиброзные изменения в протезе были более выраженными, чем через 9 месяцев.

Максимальная толщина стенки была у бедренной вены (1612,41 (1356,24–1868,45) мкм), минимальная (1269,5 (1094,12–1444,26) мкм) — у искусственного протеза ($p = 0,041$). Наибольшая площадь ядер эндотелия, связанная с повышенной пролиферативной активностью, определялась у поверхностной вены (111,4 (102,9–119,46) мкм²), а наименьшая — у искусственного протеза (95,34 (80,28–110,46) мкм²) ($p = 0,048$). Васкуляризация в большей степени была выражена в бедренной вене (8,25 (6,18–10,22) %), в меньшей степени (5,9 (4,91–6,89) %) — у искусственного протеза.

Таблица 4 — Результаты исследования тканей через 12 месяцев после начала эксперимента

| Показатели | Искусственный протез, Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅) | Поверхностная вена, Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅) | Бедренная вена, Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅) | p |
|---|--|--|--|--------------|
| Толщина стенки сосуда, мкм | 1269,5 (1094,12–1444,26) | 1495,78 (1230,67–1760,41) | 1612,41 (1356,24–1868,45) | 0,041 |
| Площадь ядер эндотелия, мкм ² | 95,34 (80,28–110,46) | 111,4 (102,9–119,46) | 104,12 (98,23–109,55) | 0,048 |
| Васкуляризация, % от площади стенки сосуда | 5,9 (4,91–6,89) | 6,42 (5,59–7,11) | 8,25 (6,18–10,22) | 0,045 |

Заключение

Исходя из анализа пролиферативной активности изучаемых тканей, можно утверждать, что процесс артериализации бедренной вены завершается через 6 месяцев после включения в артериальное русло, после чего толщина стенки стабилизируется, тогда как ремоделирование поверхностной вены продолжается до 1 года с момента имплантации. Васкуляризация искусственного протеза достигает своего пика к 6 месяцам после имплантации, после чего начинает преобладать замещение сосудистых элементов фиброзной тканью, что может свидетельствовать об инволюции псевдоинтимы. Таким образом, бедренная вена быстрее адаптируется к воздействию артериального давления и менее склонна к развитию гиперплазии интимы или ее деградации на протяжении длительного времени, чем сравниваемые ткани.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. European Carotid Surgery Trialists Collaborative Group // *Lancet*. — 1991. — Vol. 337. — P. 1235–1243.
2. Покровский, А. В. Что влияет на стандарты «качества» выполнения каротидной эндартерэктомии? / А. В. Покровский, Д. Ф. Белоярцев, Р. В. Колосов // *Ангиология и сосудистая хирургия*. — 2003. — Т. 9, № 3. — С. 80–87.
3. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis: North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators // *N. Engl. J. Med.* — 1991. — Vol. 325, № 7. — P. 445–453.
4. Сравнительный анализ отдаленных результатов каротидной эндартерэктомии в зависимости от методики операции / А. В. Покровский [и др.] // *Ангиология и сосудистая хирургия*. — 2005. — Т. 11, № 1. — С. 93–101.
5. Restenosis after carotid endarterectomy: significance of newly acquired risk factors / F. Fluri [et al.] // *Eur J Neurol*. — 2010. — Mar; 17(3). — P. 493–498.
6. Schanzer, A. Restenosis after carotid endarterectomy performed with routine intraoperative duplex ultrasonography and arterial patch closure: a contemporary series / A. Schanzer [et al.] // *Vasc. Endovasc. Surg.* — 2007. — Vol. 41 (3). — P. 200–205.

Поступила 18.04.2014

УДК 614.876.06.:621.039.58

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗЕННОСТИ ЛЕСНОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ¹³⁷Cs И СРЕДНЕЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОРГАНИЗМА ЗА СЧЕТ ЕЕ УПОТРЕБЛЕНИЯ

М. А. Шабалева, Н. И. Булко, А. К. Козлов

Гомельский государственный медицинский университет
Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель

Разработана экспоненциальная модель многолетней динамики накопления ¹³⁷Cs плодовыми телами белого гриба. Установлена взаимосвязь поглощения радионуклида лесной пищевой продукцией с метеорологическими факторами: обратно пропорциональная между количеством осадков и накоплением ¹³⁷Cs и прямо пропорциональная между температурой и поглощением ¹³⁷Cs грибами. Предложен метод биоиндикации для прогнозной оценки накопления ¹³⁷Cs ягодами черники на основе данных по загрязненности вегетативной

массы черники за месяц до плодоношения. На основе средних показателей накопления ^{137}Cs в грибах для различных лесхозов Гомельского ГПЛХО проведена прогнозная оценка дозы внутреннего облучения населения за счет употребления лесной пищевой продукции.

Ключевые слова: лесная пищевая продукция, грибы, ягоды, коэффициент перехода, ^{137}Cs , прогнозирование накопления ^{137}Cs лесной пищевой продукцией, доза внутреннего облучения.

PREDICTION FOR ^{137}CS RADIOACTIVE CONTAMINATION OF FOREST FOOD PRODUCTS AND AVERAGE INTERNAL DOSE OF ORGANISM EXPOSURE DUE TO THEIR CONSUMPTION

M. A. Shabaleva, N. I. Bulko, A. K. Kozlov

Gomel Medical University
Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel

An exponential model of the long-term dynamics of ^{137}Cs accumulation by fruit bodies of *Boletus edulis* has been developed. The interrelation of the radionuclide intake by forest food products with meteorological factors was established (it was inversely proportional between precipitation and ^{137}Cs accumulation and directly proportional between temperature and ^{137}Cs accumulation by mushrooms). A method of bioindication for the prognostic assessment of ^{137}Cs accumulation by blueberries was proposed on the basis of the data on contamination of blueberry vegetative mass within a month before the fruiting. On the basis of the average indices of ^{137}Cs accumulation by mushrooms for various forestries of Gomel region, we made the prognostic assessment of the internal dose of the population due to the consumption of forest food products.

Key words: forest food products, mushrooms, berries, transfer factor, ^{137}Cs , prediction of ^{137}Cs accumulation by forest food products, internal dose.

Введение

Для оценки возможного вклада лесной пищевой продукции в формирование внутренней дозы облучения человека особое значение имеет достоверное прогнозирование уровня загрязненности грибов и ягод ^{137}Cs .

В то же время согласно современным представлениям долговременный прогноз накопления радионуклидов «дарами леса», базирующийся на адекватных моделях их многолетнего поступления в лесную пищевую продукцию, является достаточно сложной задачей. Если для ягод (черники, земляники) имеются экспоненциальные модели, описывающие многолетнюю динамику поступления в них ^{137}Cs [1], то накопление радионуклидов грибами характеризуется очень сильной вариабельностью. Для грибов достаточно сложно выделить определенный тренд, описывающий изменение их загрязненности с течением времени. А. Н. Переволоцким разработана аддитивно-мультипликативная зависимость КП ^{137}Cs в плодовые тела грибов с течением времени, которая учитывает циклические изменения поступления радионуклида в грибы [1]. Однако автором подчеркивается предварительный характер данной модели и необходимость анализа большего объема данных за более продолжительный период исследований для достоверного математического описания поведения ^{137}Cs в системе «почва – плодовые тела грибов».

По данным немецких ученых, прогноз содержания ^{137}Cs в грибах должен базироваться на оценке глубины залегания их мицелия в

лесной подстилке. В частности, у видов грибов, мицелий которых находится в ее верхних слоях, в 2011 г. удельная активность ^{137}Cs составит лишь 1 % от первоначальной, тогда как у видов, мицелий которых частично находится в подстилке, частично в минеральных слоях почвы, составит 140 % [2].

Важнейшую роль для краткосрочного прогнозирования поступления радионуклидов в лесную пищевую продукцию имеет оценка взаимосвязи накопления ^{137}Cs грибами и ягодами с метеорологическими условиями. Однако на это в настоящее время отсутствует единый взгляд. Согласно данным одних исследователей [3–5] содержание радионуклида в плодовых телах грибов положительно коррелирует с суммой выпавших осадков. При этом в отдельных работах выделяются оптимальные погодные условия, обеспечивающие максимальный уровень накопления ^{137}Cs в грибах [6]. Делается предположение о том, что наиболее благоприятные условия роста грибов обеспечивают их максимальную урожайность и определяют наибольшее накопление ими радиоактивных элементов [1].

Аналогичные исследования проводились и для травянистых растений, в том числе и ягодных. В работах Н. В. Елиашевич [2], А. А. Орлова [7] утверждается о положительной корреляционной связи осадков с уровнем накопления ^{137}Cs растениями и отрицательной — с температуры. Однако в опытах, проведенных с однолетними сельскохозяйственными культурами Л. А. Рерихом и И. Т. Моисеевым [8] при-

водятся противоположные данные. Вполне вероятно, что связь между погодными факторами и накоплением ^{137}Cs ягодами и грибами носит не прямой характер: максимальное накопление радионуклидов происходит при определенном сочетании погодных факторов, отклонение от которого приводит к более низкому или высокому поглощению радиоактивных элементов грибами и ягодами.

Цель исследования

Конкретизация имеющейся информации по долговременному поступлению ^{137}Cs в отдельные виды лесной пищевой продукции и разработка методов возможного краткосрочного и долговременного прогнозирования загрязненности лесных грибов и ягод, в том числе с учетом метеорологических факторов, а также дозы внутреннего облучения населения за счет употребления «даров леса».

Материал и методы

Объект исследования — лесная пищевая продукция, отобранная на территории Гомельского ГПЛХО в насаждениях с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs до 2 Ки/км² (74 кБк/м²), где в соответствии с существующими Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения [9] разрешен сбор дикорастущих съедобных ягод и средненакапливающих радионуклиды грибов.

Проводилось исследование наиболее распространенных и наиболее важных с точки зрения питательной ценности видов грибов и ягод. Работы проводились на территории 15 лесхозов Гомельской области в 64 лесных кварталах 15 лесничеств с охватом 179 выделов.

Пробы грибов и ягод доставлялись для измерений в день отбора.

Для оценки влияния погодных факторов на накопление ^{137}Cs плодовыми телами лисички, белого гриба и подберезовика проводился анализ ежемесячного количества осадков за период с июня по август в течение 2006–2009 гг. для каждого лесхоза Гомельской области, на территории которых имеются метеорологические станции.

Коэффициенты перехода ^{137}Cs (КП) из почвы в ягоды или плодовые тела грибов рассчитывались по формуле:

$$\text{КП} = (A_{\text{уд}}/A_{\text{пов}}), 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}, \quad (1)$$

где: $A_{\text{уд}}$ — удельная активность ^{137}Cs в пробе ягод или грибов, Бк/кг;

$A_{\text{пов}}$ — плотность загрязнения почвы цезием-137, кБк/м².

В ходе статистической обработки установлено, что распределения изучаемых признаков отличаются от нормальных (в соответствии с рассчитанными коэффициентами Шапиро-Уилка). В большинстве случаев имели место лог-нормальные распределения. В этой связи исходные данные были прологарифмированы.

Дальнейшая обработка осуществлялась с помощью корреляционного анализа с использованием программы «Statistica», 8,0.

Прогнозирование дозы внутреннего облучения за n -й год после начала обследования ПНЭД^{int}_{НП} за счет употребления грибов населением осуществлялось по формуле (1) в соответствии с [10]:

$$\begin{aligned} \text{ПНЭД}^{\text{int}}_{\text{НП}}(n) = & \sum V_p^{\text{эф}} \times K_p \times \sum \text{КП}(0) \times \delta_0^k \times \\ & \times [\alpha_{1,p}^j \times \exp(-0,693 \times (n-1)/T_{1,kp}^{\text{эф}}) + \alpha_{2,p}^j \times \\ & \times \exp(-0,693 \times (n-1)/T_{2,kp}^{\text{эф}})] (\alpha \times dk_k^{\text{дет}} + \\ & + (1-\alpha) \times dk_k^{\text{взр}}); \text{ мЗв/год} \quad (2) \end{aligned}$$

где: $\sum V_p^{\text{эф}}$ — годовое потребление p -го пищевого продукта, кг/год (согласно статистическим данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации [11] в Беларуси 5,8 кг/год);

K_p — коэффициент снижения содержания k -го радионуклида в готовом p -м пищевом продукте по сравнению с исходным вследствие его кулинарной обработки;

δ_0^k — средняя плотность загрязнения почвы k -м радионуклидом, кБк/м²;

$\alpha_{1,p}^j$ и $\alpha_{2,p}^j$ — коэффициенты, лет;

$T_{1,kp}^{\text{эф}}$ и $T_{2,kp}^{\text{эф}}$ — соответственно «быстрый» и «медленный», эффективные периоды полуочищения p -го пищевого продукта от k -го радионуклида за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данного продукта со временем от этого химического элемента;

$dk_k^{\text{дет}}$ и $dk_k^{\text{взр}}$ — дозовые коэффициенты для пищевого поступления k -го радионуклида в организм детей и взрослых соответственно, мЗв/Бк;

n — порядковый номер года (1, 2 и т. д.).

Результаты и обсуждение

Для долгосрочного прогноза накопления ^{137}Cs грибами необходима оценка многолетней динамики потребления радионуклида. Однако проведенный анализ данных за 4-летний период исследований не позволяет установить значимого тренда варьирования содержания радионуклида в плодовых телах грибов. В этой связи для построения модели, описывающей многолетнюю динамику накопления ^{137}Cs грибами, были использованы данные А.Н. Переловского [1], полученные за 1990–2000 гг. исследований для белого гриба. К этим показателям были добавлены результаты, полученные нами за 2006–2009 гг. На основании имеющихся данных в наиболее общем виде накопление ^{137}Cs белым грибом можно описать с помощью экспоненциальной модели:

$$\text{Кп} = 14,52e^{-0,24 \times t} + 12,81e^{-0,005 \times t} \quad (3),$$

где: t — время с начала наблюдений (1990 года), лет.

Критерий χ^2 для этой модели равен 10,4 при $p < 0,49$ (число степеней свободы $n = 12$). Коэффициент корреляции предсказанных и на-

блюдаемых значений достоверен ($r = 0,69$, $r^2 = 0,48$), ошибка прогнозирования 11,9%.

На рисунке 1 показаны имеющиеся данные по фактическим и полученным с помощью модели значениям накопления ^{137}Cs плодовыми телами белого гриба. Видно, что в 2008 г. наблюдается существенное превышение КП ^{137}Cs в белый гриб относительно значения, полученного из модели. Известно, что при анализе

многолетней динамики накопления радионуклидов грибами отклонения от однонаправленного тренда изменения данного показателя чаще всего объясняются влиянием погодных факторов [1]. Поэтому полученное в настоящих исследованиях превышение КП ^{137}Cs обусловлено тем, что в 2008 г. наблюдалось аномально низкое количество осадков в мае и июне на фоне значительного их количества в сентябре.

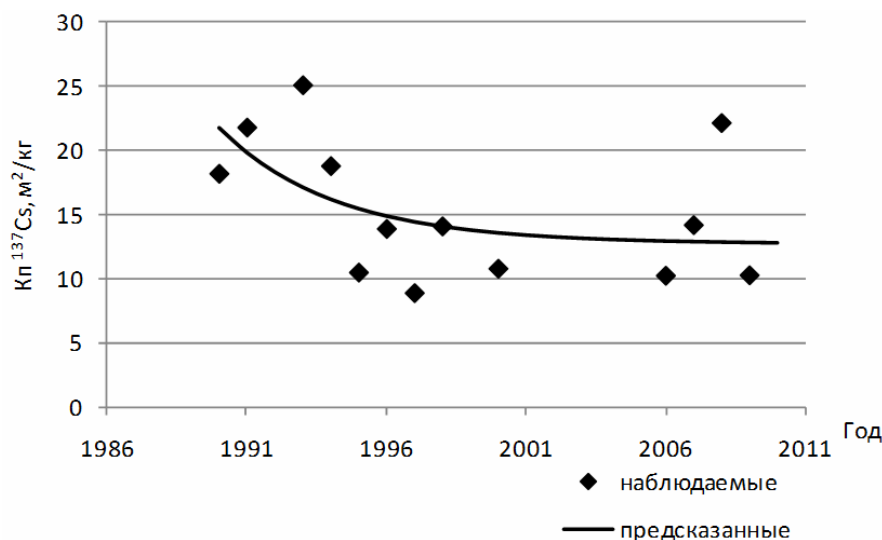


Рисунок 1 – Многолетняя динамика накопления ^{137}Cs плодовыми телами белого гриба

В этой связи среди факторов, оказывающих выраженное воздействие на интенсивность поглощения ^{137}Cs грибами с годами, следует выделить метеорологические параметры, которые в значительной степени обеспечивают уровень увлажненности почвы и интенсивность физиологических процессов в мицелии грибов и фитомассе травянистых растений. В то же время, принимая во внимание метеорологические показатели вегетационного сезона, можно проводить краткосрочную предвари-

тельную прогнозную оценку загрязненности ^{137}Cs лесной пищевой продукции.

Наиболее существенным фактором, определяющим продуктивность грибов, является количество выпавших осадков [12]. Очевидно, что данный показатель оказывает влияние и на интенсивность поглощения ^{137}Cs грибами.

В таблице 1 приведены полученные значения коэффициента корреляции между отдельными метеорологическими показателями и накоплением ^{137}Cs в плодовых телах грибов и ягодах черники.

Таблица 1 — Показатели корреляционной связи между отдельными метеорологическими факторами и накоплением ^{137}Cs в лесной пищевой продукции

| Название гриба, ягод | Сопоставляемые показатели | Коэффициент корреляции, $r(X,Y)$ | Коэффициент детерминации, r^2 | Критерий Стьюдента, t | Уровень достоверности, p |
|----------------------|--|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Белый гриб | Осадки за вегетационный период (до 515 мм) — КП | -0,51 | 0,26 | -2,54 | 0,020 |
| | Температура в августе (выше 18 °С) — КП | 0,60 | 0,36 | 2,79 | 0,015 |
| Лисичка | Средняя температура в июле-августе (выше 17 °С) — КП | 0,64 | 0,41 | 3,57 | 0,002 |
| Подберезовик | Осадки в сентябре — КП | -0,52 | 0,27 | -2,59 | 0,018 |
| | Температура в июле — КП | -0,51 | 0,26 | -2,47 | 0,025 |
| Черника | Осадки в июле (до 90 мм) — КП | 0,88 | 0,78 | 4,17 | 0,009 |
| | Осадки в июле (свыше 165 мм) — КП | 0,78 | 0,61 | 2,78 | 0,039 |

Так, для белого гриба определена обратно пропорциональная связь с количеством осадков в мае ($r = -0,51$). Однако данная связь прослеживается лишь при суммарном количестве осадков до 515 мм в месяц. При более высоких показателях суммы выпавших осадков четкого обратного пропорционального влияния данного показателя на накопление радионуклида в плодовых телах белого гриба не прослеживается. Возможно, в данном случае наблюдается два взаимно противоположных влияния, проявляющихся в различных диапазонах количества выпавших осадков. С одной стороны, в соответствии с предположениями Н. Е. Зарубиной [13] при увеличении суммы осадков возможно вымывание радионуклида из грибного мицелия, а также «разбавление» содержания ^{137}Cs в мицелии за счет роста грибных гиф при подходящих погодных условиях. С другой стороны, слишком высокое количество влаги в почве приводит к возрастанию подвижности и доступности содержащегося в почве ^{137}Cs и его накопления грибами.

Также установлено, что при увеличении температуры в августе выше 18°C наблюдается ее прямо пропорциональное влияние на накопление ^{137}Cs в плодовых телах белого гриба. (В то же время не выявлено влияние более низких температур на поглощение радионуклида).

В отношении лисички установлена прямо пропорциональная связь между накоплением ^{137}Cs ее плодовыми телами и средней температурой воздуха в июле-августе. Однако, выраженное влияние температуры начинает проявляться лишь при ее показателях выше 17°C .

Для подберезовика определена достоверная обратно пропорциональная связь между содержанием радионуклида в плодовых телах и суммарным количеством осадков в сентябре ($r = -0,52$), а также среднемесячной температурой в июле ($r = -0,51$).

Установлено достаточно сложное влияние суммарного количества осадков в июле на накопление ^{137}Cs ягодами черники. Определены достоверные коэффициенты прямой корреляции между этими показателями при невысоком количестве осадков (до 90 мм в месяц) и, наоборот, при очень высоком его уровне (свыше 165 мм). Суммарное количество осадков в диапазоне от 90 до 165 мм не оказывает достоверного воздействия на поглощение радионуклида ягодами черники.

В целом проведенные исследования подтвердили неоднозначное влияние метеорологических показателей на поглощение радионуклидов лесной пищевой продукцией. Среди наиболее четких тенденций, необходимых для краткосрочного прогноза радиоактивной загрязненности «даров леса», следует выделить влияние

повышения температуры воздуха в течение вегетационного сезона на усиление поступления радионуклидов в грибы и ягоды, а также увеличения количества осадков на снижение накопления ^{137}Cs грибами. Однако повышение количества осадков определяет уменьшение накопления радионуклидов в грибах лишь в определенном диапазоне: выпадение осадков свыше 165 мм в месяц может способствовать усилению поглощения ^{137}Cs плодовыми телами грибов.

Достоверный краткосрочный прогноз загрязненности ^{137}Cs ягод черники осуществляется на основании измерения удельной активности вегетативной массы растений накануне созревания ягод на основе метода биоиндикации. Уравнения зависимости удельной активности (А) ^{137}Cs в ягодах черники от листьев за месяц до массового созревания ягод в разных типах лесорастительных условий будут иметь следующий вид:

$$\text{в } A_2 \text{ — } A_{\text{ягод}} = 0,0917A_{\text{листья}} + 56,598; \quad (1)$$

$$\text{в } A_3 \text{ — } A_{\text{ягод}} = 0,0938A_{\text{листья}} + 63,223; \quad (2)$$

$$\text{в } B_3 \text{ — } A_{\text{ягод}} = 0,1105A_{\text{листья}} + 0,6596. \quad (3)$$

Для верификации полученных зависимостей были использованы данные о накоплении ^{137}Cs в вегетативных и генеративных органах черники в трех лесхозах Гомельского ГПЛХО за 2010 год. При оценке фактических и ожидаемых удельных активностей ^{137}Cs в ягодах черники при помощи парного критерия Вилкоксона установлено, что достоверные различия между сравниваемыми данными отсутствуют ($n = 16$, $n_T = 48 > 30$ при $p = 5\%$). Коэффициент корреляции данных рядов ($r = 0,82 \pm 0,15$) характеризуется высоким уровнем значимости (0,001), что говорит о достаточно тесной их связи. Средняя ошибка составляет 15,5%.

Согласно общепринятой методике [10], прогнозная оценка внутренней дозы облучения населения за счет лесной пищевой продукции базируется на усредненных для почв разного типа данных по коэффициентам перехода ^{137}Cs в плодовые тела грибов. В настоящем исследовании были использованы имеющиеся показатели для каждого из обследованных лесхозов Гомельского ГПЛХО, полученные за 4-летний период (таблица 2).

Из данных таблицы 2 видно, что максимальная внутренняя доза будет наблюдаться на территории Чечерского, Лельчицкого и Ветковского лесхоза, где получены самые высокие на территории Гомельского ГПЛХО показатели загрязненности лесной пищевой продукции в разрешенных для заготовки зонах.

В то же время необходимо отметить, что прогноз загрязнения лесной пищевой продукции ^{137}Cs и внутренней дозы облучения за счет ее употребления должен корректироваться с учетом погодных условий конкретного года в соответствии с полученными закономерностями.

Таблица 2 — Прогноз внутренней дозы облучения населения за счет потребления грибов, мЗв/год

| Годы | Лесхозы | | | | | | | |
|------|------------------|------------|------------|-----------|---------|------------|-----------|--------------|
| | Буда-Кошелевский | Ветковский | Гомельский | Чечерский | Ельский | Лельчицкий | Мозырский | Наровлянский |
| 2009 | 0,028 | 0,102 | 0,062 | 0,172 | 0,072 | 0,109 | 0,079 | 0,087 |
| 2010 | 0,027 | 0,098 | 0,060 | 0,165 | 0,070 | 0,104 | 0,076 | 0,083 |
| 2011 | 0,026 | 0,094 | 0,057 | 0,158 | 0,067 | 0,100 | 0,073 | 0,080 |
| 2012 | 0,025 | 0,090 | 0,055 | 0,152 | 0,064 | 0,096 | 0,070 | 0,077 |
| 2013 | 0,024 | 0,086 | 0,053 | 0,146 | 0,062 | 0,092 | 0,067 | 0,074 |
| 2014 | 0,023 | 0,083 | 0,051 | 0,140 | 0,059 | 0,089 | 0,064 | 0,071 |
| 2015 | 0,022 | 0,080 | 0,049 | 0,134 | 0,057 | 0,085 | 0,062 | 0,068 |
| 2016 | 0,021 | 0,076 | 0,047 | 0,129 | 0,054 | 0,082 | 0,059 | 0,065 |
| 2017 | 0,020 | 0,073 | 0,045 | 0,124 | 0,052 | 0,078 | 0,057 | 0,063 |
| 2018 | 0,019 | 0,070 | 0,043 | 0,119 | 0,050 | 0,075 | 0,055 | 0,060 |
| 2019 | 0,019 | 0,068 | 0,041 | 0,114 | 0,048 | 0,072 | 0,052 | 0,058 |
| 2020 | 0,018 | 0,065 | 0,040 | 0,110 | 0,046 | 0,069 | 0,050 | 0,055 |
| 2021 | 0,017 | 0,062 | 0,038 | 0,105 | 0,044 | 0,067 | 0,048 | 0,053 |
| 2022 | 0,016 | 0,060 | 0,037 | 0,101 | 0,043 | 0,064 | 0,046 | 0,051 |
| 2023 | 0,016 | 0,057 | 0,035 | 0,097 | 0,041 | 0,061 | 0,045 | 0,049 |
| 2024 | 0,015 | 0,055 | 0,034 | 0,093 | 0,039 | 0,059 | 0,043 | 0,047 |
| 2025 | 0,015 | 0,053 | 0,032 | 0,089 | 0,038 | 0,057 | 0,041 | 0,045 |

Заключение

Результаты проведенных исследований и имеющиеся научные данные позволили разработать экспоненциальную модель накопления ^{137}Cs плодовыми телами белого гриба, которая может быть использована для долгосрочного прогнозирования загрязненности белого гриба радионуклидом.

Долговременный и краткосрочный прогноз накопления радионуклидов лесной пищевой продукцией должен учитывать влияние метеорологических факторов на поступление ^{137}Cs в плодовые тела грибов и ягод. Установлена обратно пропорциональная связь количества осадков и накопления радионуклида в белом грибе и подберезовике ($r = -0,51-0,52$), однако для белого гриба данная закономерность прослеживается лишь при суммарном количестве осадков до 515 мм в месяц. Определено прямо пропорциональное влияние температуры в июле-августе на накопление ^{137}Cs в плодовых телах белого гриба, лисички, подберезовика. Для белого гриба и лисички данная взаимосвязь наблюдается лишь при температуре выше $+18\text{ }^\circ\text{C}$ ($r = -0,60$). Для черники установлена прямая связь количества выпавших осадков и накопления ^{137}Cs в ягодах ($r = 0,8$), однако данная зависимость прослеживается лишь в диапазоне осадков до 99 мм и свыше 165 мм.

Для прогнозирования накопления ^{137}Cs в ягодах черники предложен метод биоиндикации на основе полученных за месяц до массового созревания ягод данных по загрязнению вегетативной массы.

На основе имеющихся данных по среднему накоплению ^{137}Cs грибами на территориях

различных лесхозах Гомельского ГПЛХО проведена прогнозная оценка внутренней дозы облучения населения за счет их потребления. Наиболее высокие показатели дозы получены для Чечерского, Лельчицкого и Ветковского лесхоза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Переволоцкий, А. Н.* Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Переволоцкий. — Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. — 255 с.
2. *Елиашевич, Н. В.* О метеогенной изменчивости содержания ^{137}Cs в наземной части растений автоморфных почв / Н. В. Елиашевич // Докл. НАН Беларуси. — 2000. — Т. 44, № 2. — С. 87–90.
3. *Кучма, Н. Д.* Накопление радионуклидов пищевой продукцией леса / Н. Д. Кучма, С. М. Бидна // Наука. Чернобыль-97: Тез. докл. науч.-прак. конф., Киев, 11–12 февраля 1998 г. — Киев, 1998. — С.99.
4. *Щеглов, А. И.* Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах / А. И. Щеглов. — М.: Наука, 1999. — 268 с.
5. *Федоров, В. Н.* Аккумуляция радионуклидов в плодовых телах макромицетов / В. Н. Федоров, Н. В. Елиашевич // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2000. — Т. 40, № 6. — С. 702–709.
6. *Елиашевич, Н. В.* Погода и содержание ^{137}Cs в наземной части растений / Н. В. Елиашевич // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: Тез. докл. на междунар. конф. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — С. 288.
7. *Орлов, А. А.* О метеогенной изменчивости содержания ^{137}Cs в чернике по многолетним данным 1991–2003 гг. / А. А. Орлов // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. — Гомель, 2004. — Вып.61: Проблемы лесоведения и лесоводства. — С. 239–243.
8. *Рерих, Л. А.* Влияние основных агрометеорологических факторов на поступление радиоцезия в растения / Л. А. Рерих, И. Т. Моисеев // Агрохимия. — 1989. — № 10. — С. 96–99.
9. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения (в редакции постановления Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 10 апреля 2009 г. №11). — Введ. 15.01.2001. — Мн.: Комитет лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь, 2002. — 99 с.
10. Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду: Методические указания МУ 2.6.1.2222-07. — Введ. 18.09.07. — Москва: Комиссия по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (протокол от 29.03.07 № 1), 2007. — 15 с.

11. FAOSTAT[Электронный ресурс] / Food and agriculture organization of the United Nations. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://faostat.fao.org/de-fault.aspx?alias=faostatclassic>, свободный. — Загл. с экрана.

12. Музыка, С. М. Метеорологические закономерности биологической продуктивности макромицетов / С. М. Музыка // Макромицеты бореальной зоны: всероссийская науч.-практ. конф.:

11–13 марта 2009 года / Сиб. гос. технол. ун-т. — Красноярск: СибГТУ, 2009. — С. 2–5.

13. Зарубина, Н.Е. Влияние количества атмосферных осадков и температуры воздуха на накопление ^{137}Cs высшими грибами / Н. Е. Зарубина // Ядерная физика та энергетика. — 2012. — Т. 13, № 4. — С. 408–412.

Поступила 12.05.2014

УДК 616-092.18:577.127.4:591.463.1/2

СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА СПЕРМАТОЗОИДОВ И МОРФОЛОГИИ СЕМЕННИКОВ КРЫС

К. А. Кидун, Е. К. Солодова, Т. С. Угольник, Р. В. Дорошенко

Гомельский государственный медицинский университет

Имобилизационный стресс оказывает одновременно физический и психоэмоциональный эффект на животных. Многими авторами отмечено негативное влияние данного вида стресса на состояние мужской репродуктивной системы. В настоящей работе показано негативное влияние кратковременной иммобилизации (3 часа) на состояние антиоксидантного статуса сперматозоидов и морфологии семенников крыс. Исследование проведено на 24 половозрелых самцах беспородных белых крыс. У крыс опытной группы ($n = 11$) было выявлено снижение антиоксидантного статуса сперматозоидов. У животных, перенесших иммобилизационный стресс, отмечались морфологические изменения в семенниках: снижение диаметра извитых семенных канальцев и толщины герминативного слоя, а также нарушение мейотического деления развивающихся половых клеток.

Ключевые слова: крысы, иммобилизационный стресс, семенники, извитые семенные канальцы, антиоксидантный статус, окислительный стресс морфология.

STRESS-INDUCED CHANGES OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPERM AND MORPHOLOGY OF TESTIS

K. A. Kidun, E. K. Solodova, T. S. Ugolnik, R. V. Doroshenko

Gomel State Medical University

Immobilization stress has physical and psycho-emotional effect on animals. Numerous authors noted the negative impact of this type of stress on the state of the male reproductive system. The present work shows the negative impact of short-term immobilization (3 hours) on the state of the sperm antioxidant status and the morphology of rats testis. The study was conducted on 24 sexually mature male outbred albino rats. The rats of the experimental group ($n = 11$) showed a reduction in the antioxidant status of the sperm. The animals exposed to immobilization stress observed morphological changes in the testis: reduced diameter of seminiferous tubules and thickness of the germinal layer, as well as violation of meiotic division in developing germ cells.

Key words: rats, immobilization stress, testis, seminiferous tubules, antioxidant status, oxidative stress, morphology.

Введение

Стресс является неспецифическим общим ответом организма на действие различных повреждающих факторов, угрожающих гомеостазу [1, 18]. Согласно работам Г. Селье, при стрессе происходит активация систем нейро-гуморальной регуляции под влиянием так называемого «первичного медиатора» [1]. По современным представлениям, его роль выполняют свободные радикалы и продукты перекисного окисления липидов. Соответственно изменение редокс-баланса запускает комплекс защитно-приспособительных реакций, а также может негативно сказываться на морфологические характеристики органов и тканей, вызывая окислительный стресс [2].

В последние годы появляется все больше научных данных о влиянии различных экспериментальных видов стресса на репродуктивную систему животных [3–7]. Изучено негативное влияние подострого и хронического стрессов, опосредованно действующих через развитие окислительного стресса на состояние семенников у крыс и мышей [7, 8]. Однако изменения в органах мужской репродуктивной системы животных в результате более кратковременной иммобилизации изучены недостаточно полно.

Цель работы

Изучить состояние антиоксидантного статуса сперматозоидов и морфологические изме-