

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В МЕДИЦИНЕ

TRACE ELEMENTS IN MEDICINE

Том 25

Сентябрь

September

Vol. 25

Вып. 3

2024

2024

No. 3

Москва • 2024 • Moscow

**Орган Российского общества медицинской элементологии
и Института микроэлементов ЮНЕСКО**
*Journal of the Russian Society of Trace Elements in Medicine
and Trace Element - Institute for UNESCO*

**Журнал основан и издается при поддержке
АНО «Центр биотической медицины»**
*Founded and supported by
ANO "Centre for Biotic Medicine"*

Номер выпущен в сентябре 2024
Published in September 2024

Международный научно-практический рецензируемый журнал
Издается с 2000 г. на русском и английском языках
*The journal is peer-reviewing
Issued since 2000 in Russian and English*

Журнал включен в перечень ВАК:

1.5.4. Биохимия (медицинские науки); 1.5.5. Физиология человека и животных (медицинские науки);
1.5.8. Математическая биология, биоинформатика (медицинские науки); 1.5.24. Нейробиология (медицинские
науки); 3.3.3. Патологическая физиология (биологические, медицинские науки); 3.3.5. Судебная медицина (меди-
цинские науки); 3.3.6. Фармакология клиническая фармакология (биологические науки); 3.3.8. Клиническая лабо-
раторная диагностика (биологические, медицинские науки)

**Journal is accredited by Supreme Attestation Commission
of the Russian Federation:**

1.5.4. Biochemistry (medical sciences); 1.5.5. Physiology of humans and animals (medical sciences);
1.5.8. Mathematical biology, bioinformatics (medical sciences); 1.5.24. Neurobiology (medical sciences); 3.3.3. Pathologi-
cal physiology (biological, medical sciences); 3.3.5. Forensic medicine (medical sciences); 3.3.6. Pharmacology, clinical
pharmacology (biological sciences); 3.3.8. Clinical laboratory diagnostics (biological, medical sciences)

Журнал выходит 4 раза в год
The journal is quarterly

Адрес редакции:
105064 Москва, ул. Земляной Вал, 46, АНО ЦБМ
E-mail: journaltem@gmail.com
Факс: (495)936-01-38

Address:
105064 Moscow, Zemlyanoy Val str., 46, NGO CBM
E-mail: journaltem@gmail.com
Fax: (495)936-01-38

Подписано в печать 01.09.2024. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 12,25. Тираж 50 экз.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-1

**ВЛИЯНИЕ СОЕВОГО ЛЕЦИТИНА НА МИНЕРАЛЬНЫЙ СТАТУС
ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ****К.В. Рязанцева, К.С. Нечитайло, Е.А. Сизова**Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,
Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29

РЕЗЮМЕ. В настоящее время растет интерес к поиску и использованию альтернативных экономически эффективных подходов, обеспечивающих организм доступной энергией. Одним из таких подходов может выступать применение эмульгаторов при снижении уровня жиров в рационе. При этом эмульгаторы могут влиять на минеральный обмен, вызывая количественную и качественную модуляцию элементов, ассоциированных с жировым обменом.

Цель исследования – оценить влияние лецитина на элементный состав органов и тканей. Установлено, что внесение в рацион цыплят-бройлеров лецитина способствует снижению уровня магния и калия на 25,2% ($p \leq 0,05$) и 25,7% ($p \leq 0,05$) при сравнении с контролем. Изменения минерального профиля организма направлены в сторону повышения концентраций магния, натрия и железа, с параллельным снижением кадмия, кальция, селена и свинца в опытных группах. Таким образом, скармливание рационов с включением соевого лецитина в количестве 2 г/кг комбикорма способствует изменению минерального состава органов и тканей цыплят-бройлеров. Полученные данные свидетельствуют о потребности в корректировке рационов по минеральному составу при использовании эмульгаторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цыплята-бройлеры, лецитин, кормление, макро- и микроэлементы.

Для цитирования: Рязанцева К.В., Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Влияние соевого лецитина на минеральный статус цыплят-бройлеров. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):3–5. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-1.

ВВЕДЕНИЕ

Жиры и масла как наиболее концентрированные источники энергии широко используются в рационах птиц с целью повышения продуктивности. В настоящее время большое внимание уделяется поиску и применению альтернативных подходов, обеспечивающих организм доступной энергией (Сизова, Рязанцева, 2022). Одним из таких подходов может выступать применение эмульгаторов при снижении уровня жиров в рационе. При этом эмульгаторы могут влиять на минеральный обмен, вызывая количественную и качественную модуляцию элементов, ассоциированных с жировым обменом.

Существует большое разнообразие источников лецитина (растительного и животного происхождения), но наиболее актуальными с точки зрения применения и мирового производства являются источники, полученные из семян сои (Cui, Decker, 2016). Соевый лецитин (СЛ) обладает высокой энергетической ценностью, а также служит эмульгатором, способствуя усвоению жиров. В ранее проведенных исследованиях выявлено положительное влияние СЛ на эффективность роста, коэффициенты усвояемости питательных веществ и липидемические показатели крови (Lai et al., 2018).

Цель исследования – оценить влияние лецитина на элементный состав органов и тканей.

Лабораторные исследования проведены на базе ЦКП ФНЦ БСТ РАН (<https://ckprf.ru/ckp/77384/>). В качестве модели для исследований использовались цыплята – бройлеры кросса «Arbor Acres». Методом пар-аналогов отобрано 40 цыплят бройлеров (возраст 7 суток), и сформировано 2 группы ($n=20$) – контрольная и опытная. Согласно схеме эксперимента, цыплятам контрольной группы скармливали основной рацион (ОР) составленный по рекомендациям ВНИТИП (2019), опытная группа – ОР + СЛ в дозе 2г/кг комбикорма.

Статистический анализ проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» (Microsoft, США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» (StatSoftInc., США). Достоверными считали результаты при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Область исследований влияния эмульгаторов на минеральный статус цыплят-бройлеров ограничена, а полученные результаты противоречивы. По ранее проведенным исследованиям выявлено, что эмульгаторы имеют потенциал влиять на минеральный обмен, вызывая изменения в количественном и качественном составе элементов, связанных с жировым обменом (Dierick, Decuypere, 2004), однако также имеются противоположные результаты (Roy et al., 2010).

Введение эмульгатора в рацион цыплят-бройлеров привело к снижению уровня магния и калия на 25,2% ($p \leq 0,05$) и 25,7% ($p \leq 0,05$) соответственно по сравнению с контрольной группой. Изменения в минеральном профиле организма шли в направлении увеличения концентраций магния, натрия и железа при одновременном снижении содержания кадмия, кальция, селена и свинца в экспериментальных группах. Таким образом, добавление соевого лецитина в рацион в количестве 2 г/кг комбикорма способствовало изменениям в минеральном составе органов и тканей цыплят-бройлеров. Полученные данные указывают на необходимость корректировки рационов по минеральному составу при использовании эмульгаторов.

Проведенный эксперимент выявил значительные изменения в концентрации ряда минералов, нормируемых в кормлении сельскохозяйственной птицы. Данный факт свидетельствует о участии эмульгаторов в обменных процессах организма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, скармливание рационов с включением соевого лецитина в количестве 2 г/кг комбикорма способствует изменению минерального состава органов и тканей цыплят-бройлеров. Полученные данные свидетельствуют о потребности корректировки рационов по минеральному составу, при использовании эмульгаторов.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0002).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Егоров И.А., Манукян В.А., Ленкова Т.Н., и др. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы. Под общей редакцией академика РАН В.И. Фисинина и академика РАН И.А. Егорова. Методическое пособие. Москва: ЛИКА. 2019; 215 с. [Egorov I.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N., i dr. Under the general editorship of Academician of the Russian Academy of Sciences V.I. Fisina and Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Egorova. Poultry Feeding Guide. Toolkit. Moscow: LIKA; 2019: 215 s. (In Russ.).].

Сизова Е.А., Рязанцева К.В. Жиры и эмульгаторы в кормлении цыплят-бройлеров (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2022; 57(4): 664–680. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus. [Sizova E.A., Ryazantseva K.V. Fats and emulsifiers in feeding broiler chickens. Agricultural biology. 2022; 57(4): 664–680. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus (In Russ.).].

Cui L., Decker E.A. Phospholipids in foods: prooxidants or antioxidants? Journal of the Science of Food and Agriculture. 2016; 96(1): 18–31.

Dierick N.A., Decuypere J. A. Influence of lipase and/or emulsifier addition on the ileal and faecal nutrient digestibility in growing pigs fed diets containing 4% animal fat. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2004; 84(12): 1443–1450. DOI:10.1002/jsfa.1794.

Lai W., Huang W., Dong B., et al. Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens. Poultry science. 2018; 97(1): 196–202. DOI:10.3382/ps/pex288.

Roy A., Haldar S., Mondal S., Ghosh T.K. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. Veterinary medicine international. 2010; 262604. DOI:10.4061/2010/262604.

INFLUENCE OF SOY LECITHIN ON THE MINERAL STATUS OF BROILER CHICKENS

K.V. Ryazantseva, K.S. Nechitailo, E.A. Sizova

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, St. 9 January 29, Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. Currently, there is growing interest in finding and using alternative cost-effective approaches to provide the body with accessible energy. One of these may be the use of emulsifiers when reducing the level of fat in the diet. At the same time, emulsifiers can affect mineral metabolism, causing quantitative and qualitative modulation of elements associated with fat metabolism. The purpose of the research was to evaluate the effect of lecithin on the ele-

mental composition of organs and tissues. The addition of an emulsifier to the diet of broiler chickens contributed to a decrease in the level of magnesium and potassium by 25.2% ($p \leq 0.05$) and 25.7% ($p \leq 0.05$) when compared with the control. Changes in the mineral profile of the body are directed towards increasing the concentrations of magnesium, sodium and iron, with a parallel decrease in cadmium, calcium, selenium and lead in the experimental groups. Thus, feeding diets containing soy lecithin in an amount of 2 g/kg of feed contributes to changes in the mineral composition of organs and tissues of broiler chickens. The data obtained indicate the need to adjust diets in terms of mineral composition when using emulsifiers.

KEYWORDS: broiler chickens, lecithin, feeding, macro- and microelements.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-2

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ КАДМИЯ НА ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ОСТРОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

Е.В. Сальникова, А.Н. Сизенцов

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. В рамках проведенных исследований, направленных на оценку физиолого-адаптационных механизмов и потенциала использования пробиотических штаммов в условиях экспериментальной острой интоксикации тяжелыми металлами, ключевым моментом являлось исследование динамически развивающихся патогенетических изменений в организме экспериментальных животных на фоне однократного введения кадмия в дозе 3 мг/кг массы тела. Полученные данные свидетельствуют о наличии выраженных полиорганных изменений с вовлечением в патологический процесс систем органов кровотока, выделительной и сердечно-сосудистой систем, а также органов, отвечающих за детоксикацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кадмий, острая интоксикация, патогенез.

Для цитирования: Сальникова Е.В., Сизенцов А.Н. Оценка степени влияния кадмия на организм животных в модельном эксперименте острой интоксикации. Микрoэлементы в медицине. 2024;25(3):5-6. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-2.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологических процессов в области добычи полезных ископаемых и их переработки оказывают негативное влияние на биологические объекты и окружающую среду в целом. Весомый вклад, обусловленный негативным влиянием на окружающую среду, оказывают тяжелые металлы (Cd, Pb, Hg и др.), негативное влияние которых обусловлено высоким уровнем кумуляции в биологических тканях и выраженным канцерогенным действием на организм на клеточном уровне. В модельных экспериментах на лабораторных животных установлено выраженное нефротоксическое действие кадмия, проявляющееся значительным повреждением канальцев с последующими некротическими изменениями в их структуре (Handan et al., 2020; Yan et al., 2021), системным влиянием на сердечно-сосудистую систему (Klinova et al., 2021), что подтверждается исследованием биохимических показателей крови (Saleh et al., 2017).

Ц е л ь р а б о т ы – провести комплексную оценку степени кадмия в модельном эксперименте на крысах Wistar.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования выполняли на двух группах крыс Wistar по 20 особей в каждой. В опытной группе однократно индивидуально натошак *per os* вводили раствор $CdSO_4$ из расчета содержания кадмия 3 мг/кг массы тела. Оценка степени влияния кадмия на организм животных осуществляли на основании развернутого анализа морфофизиологических и биохимических показателей крови, гистологических изменений в органах мишенях (печень, селезенка) и определении содержания элемента в биологических образцах (кожный покров, мышечная и костные ткани). Период наблюдения составил 21 сутки с интервалами отбора образцов 7 суток. Полученные экспериментальные данные подвергали статистической обработке с оценкой достоверности результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Уровень содержания исследуемого элемента в анализируемых биологических образцах достоверно превышал аналогичные показатели интактной группы в диапазоне от 60,05% на 7-е сутки эксперимента до 54,99% на 21-е сутки эксперимента ($p < 0,001$).

Биохимические показатели крови свидетельствуют о наличии выраженного гепатотоксического действия кадмия, которое проявилось значительным увеличением показателей общего билирубина и щелочной фосфатазы на протяжении всего эксперимента с превышением показателей интактной группы к 7-м суткам на 31,25% ($p < 0,01$) и 11,43% соответственно, и превышало показатели интактной группы на протяжении всего эксперимента. Динамические показатели щелочной фосфатазы и гистологического исследования печени (размер ядер печени) увеличивались на протяжении всего эксперимента ($p < 0,05$), что может быть обусловлено эффектом пролонгированного патологического действия кадмия на гепатоциты, а также вовлечением в патологический процесс костной и почечной тканей (увеличение уровня щелочной фосфатазы до 56,74% ($p < 0,001$) к 21-м суткам эксперимента по отношению к контролю).

Реакционные характеристики селезенки демонстрируют выраженный характер острой интоксикации, о чем свидетельствует значительное смещение показателей красной пульты, с превышением контрольных значений на 77,71% ($p < 0,01$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что на фоне однократного поступления кадмия в организм (острая интоксикация) развиваются выраженные системные признаки полиорганного поражения с влечением в патологический процесс систем органов кровотока (селезенка), выделительной (почки) и сердечно-сосудистой (сердце) систем, а также органов, отвечающих за детоксикацию (печень).

Работа выполнена при поддержке государственного задания FSGU-2023-0007.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Handan B.A., De Moura C.F.G, Cardoso C.M., et al. Protective Effect of Grape and Apple Juices against Cadmium Intoxication in the Kidney of Rats. *Drug Res (Stuttg)*. 2020; 70(11): 503–511. DOI: 10.1055/a-1221-4733.

Yan L.J., Allen D.C. Cadmium-Induced Kidney Injury: Oxidative Damage as a Unifying Mechanism. *Biomolecules*. 2021;11(11):1575. DOI: 10.3390/biom11111575.

Klinova S.V., Katsnelson B.A., Minigalieva I.A., et al. Cardioinotropic Effects in Subchronic Intoxication of Rats with Lead and/or Cadmium Oxide Nanoparticles. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(7): 3466. DOI: 10.3390/ijms22073466.

Saleh R.M., Awadin W.F. Biochemical and histopathological changes of subacute cadmium intoxication in male rats. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017; 24(32): 25475–25481. DOI: 10.1007/s11356-017-0348-9.

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF CADMIUM ON THE BODY OF ANIMALS IN A MODEL EXPERIMENT OF ACUTE INTOXICATION

E.V. Salnikova, A.N. Sizentsov

Orenburg State University,
Pobedy Ave. 13, 460018, Orenburg, Russian Federation

ABSTRACT. As part of our research aimed at assessing physiological-adaptive mechanisms and the potential of using probiotic strains in conditions of experimental acute intoxication with heavy metals, the key point was the study of dynamically developing pathogenetic changes in the body of experimental animals against the background of a single administration of cadmium at a dose of 3 mg/kg body weight. The data obtained indicate the presence of pronounced multiorgan changes involving the hematopoietic, excretory and cardiovascular systems, as well as organs responsible for detoxification, into the pathological process.

KEYWORDS: cadmium, acute intoxication, pathogenesis.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-3

ВКЛАД АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ОБЩИЙ ИНДЕКС СБРОСА ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ, СБРАСЫВАЕМЫХ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ТЕРРИТОРИИ РФ ЗА 2018-2022 ГГ.

А.И. СарайкинФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460013, г. Оренбург, пр. Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Приведены данные по объёму валового сброса химических веществ в сточных водах атомных электростанций (АЭС), сбрасываемых в водные объекты на территории РФ. Обсуждается методика по исчислению размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам, а также мероприятия, нацеленные на сохранность природных систем, поддержания их целостности и жизнеобеспечивающих функций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: атомная электростанция, экологическая безопасность, вредные химические вещества, водные объекты.

Для цитирования: Сарайкин А.И. Вклад атомных электростанций в общий индекс сброса химических веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты на территории РФ за 2018–2022 гг. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):7–9. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-3.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс оценки ущерба водным биоресурсам является одним из необходимых видов деятельности, нацеленной на сохранение экологической обстановки в близлежащей акватории АЭС. Данный процесс регулируется методикой, представленной в приказе № 1166 от 25 ноября 2011 г. «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам» (Приказ..., 2011). В приказе представлены формулы по применению коэффициентов перевода биомассы кормовых организмов в их продукцию, правила суммирования категорий ущербов, порядок расчета величины повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и восстановления до исходной численности и биомассы теряемых водных биоресурсов, в том числе их кормовой базы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные – отчёты об экологической безопасности АЭС. Контроль поступления вредных химических веществ в окружающую среду осуществляли в соответствии с регламентами химического контроля качества сточных и природных вод и установленными нормативами допустимых сбросов вредных химических веществ (Официальный..., 2024). В представленной работе использовали численный метод и теорию статистической обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице приведены данные по объёмам валового сброса химических веществ в сточных водах АЭС, сбрасываемых в водные объекты на территории РФ.

На рисунке представлена диаграмма вклада в индекс сброса анализируемыми АЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью обеспечения сохранности природных систем, поддержания их целостности и жизнеобеспечивающих функций, АЭС проводятся мероприятия по охране водоемов. Одно из таких мероприятий – искусственное зарыбление прилегающей акватории. Так за 2022 г. Балаковская АЭС выпустила в акваторию Саратовского водохранилища: молоди белого амура в объеме 78795 шт., навеской не менее 25 г; молоди толстолобика в объеме 78795 шт., навеской не менее 25 г; молоди сазана в объеме 158914 шт., навеской не менее 20 г; молоди стерляди в объеме 73678 шт., навеской не менее 3 г. Белоярская АЭС выпустила молоди пестрого толстолобика средней штучной навеской не менее 25 г в Белоярское водохранилище в количестве 268 888 шт. Калининская АЭС выпустила в озеро Удомля

сеголетками черного амура общим весом 1038 кг, средней навеской 12,5 г Курская АЭС произвела зарыбление водоёма-охладителя молодью растительных рыб навеской 50–250 г, общей массой 320 кг. Нововоронежская АЭС выпустила 6 т. молоди толстолобика в пруд-охладитель 5-го энергоблока. Ростовская АЭС выпустила в водоем-охладителя: толстолобика – 4 т, карпа – 4 т, белого амура – 2 т, а также в Цимлянское водохранилище 418 807 шт. молоди белого амура, 856 128 шт. молоди сазана и 34 030 шт. молоди стерляди. Плавающая атомная теплоэлектростанция произвела выпуск молоди кеты в ручей Трезубец в размере 101 тыс. особей.

Таблица. **Валовый сброс химических веществ в сточных водах АЭС, т/год**

Наименование	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Сумма
Балаковская АЭС	64,57	71,58	79,44	79,17	64,60	359,35
Белоярская АЭС	117,00	123,03	122,51	114,37	137,37	614,28
Билибинская АЭС	42,58	42,05	40,10	33,35	44,38	202,46
Калининская АЭС	81,87	117,87	227,91	191,93	130,13	749,70
Кольская АЭС	98,61	81,61	70,12	51,48	201,97	503,78
Курская АЭС	1012,75	3826,90	4043,98	3778,67	4720,74	17383,05
Ленинградская АЭС	10921,48	50128,78	90048,11	24935,34	18413,42	194447,14
Нововоронежская АЭС	2345,71	12,57	3,63	13,48	21,94	2397,33
Ростовская АЭС	1183,29	7328,47	9539,61	16562,43	9659,62	44273,42
Смоленская АЭС	194,95	190,17	197,71	619,27	486,55	1688,64
Плавающая атомная теплоэлектростанция	–	–	–	0,15	5,63	5,78

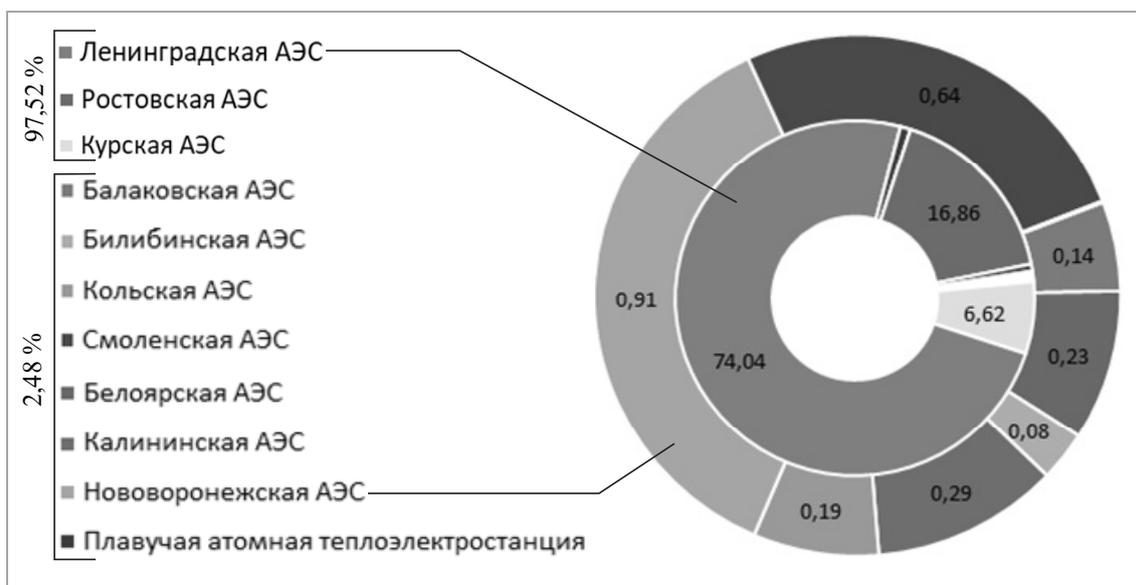


Рисунок. Диаграмма вклада в индекс сброса анализируемыми АЭС

ЛИТЕРАТУРА

Приказ Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам».

Официальный сайт АО «Концерн Росэнергоатом». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosenergoatom.ru> (дата обращения: 04.04.2024).

CONTRIBUTION OF NUCLEAR POWER PLANTS TO THE TOTAL INDEX OF CHEMICAL DISCHARGE IN WASTEWATER DISCHARGED INTO WATER BODIES IN THE TERRITORY OF THE RF FOR 2018-2022

A.I. Saraykin

Orenburg State University,
Pobeda Ave., 13, 460013, Orenburg, Russian Federation

ABSTRACT. The paper provides data on the volume of gross discharge of chemicals in wastewater from nuclear power plants (NPPs) discharged into water bodies on the territory of the Russian Federation. A methodology for calculating the amount of damage caused to aquatic biological resources is discussed, as well as measures aimed at preserving natural systems, maintaining their integrity and life-supporting functions.

KEYWORDS: nuclear power plant, environmental safety, harmful chemicals, water bodies.

REFERENCES

Order of Rosrybolovstvo dated November 25, 2011 No. 1166 "On approval of the methodology for calculating the amount of damage caused to aquatic biological resources."

Official website of Rosenergoatom Concern JSC. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.rosenergoatom.ru> (access date: 04/04/2024).

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-4

ДИНАМИКА ВАЛОВОГО СБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, СБРАСЫВАЕМЫХ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ТЕРРИТОРИИ РФ

А.И. Сарайкин

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460013, г. Оренбург, пр. Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Большинство важнейших отраслей промышленности не может существовать без воды. На атомных электростанциях (АЭС) вода нужна как для технологических нужд, так и для вспомогательных – хозяйственно-питьевых, использования в системах повторного водоснабжения, подпитки и продувки водоём-охладителя и др. В общей сложности в Российской Федерации (РФ) насчитывается 36 энергоблоков на 11 действующих АЭС. Объём забора воды осуществляется согласно установленным лимитам на один календарный год. На основе разрешительных документов, регулирующих природоохранную деятельность, осуществляется и водоотведение. В данной работе представлено суммарное содержание вредных химических веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты действующими АЭС на территории РФ, а также приведено установленное нормативами допустимое количество сбросов. Проанализирована динамика изменения валового сброса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: атомная электростанция, экологическая безопасность, вредные химические вещества, водные объекты.

Для цитирования: Сарайкин А.И. Динамика валового сброса загрязняющих химических веществ в сточных водах атомных электростанций, сбрасываемых в водные объекты на территории РФ. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):9–11. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-4.

ВВЕДЕНИЕ

Основной сброс загрязняющих химических веществ в сточных водах АЭС, сбрасываемых в водные объекты на территории РФ осуществляется в ручей Б. Поннеурген (Билибинская АЭС), реку Дон (Нововоронежская АЭС), Сейм (Курская АЭС), Пышма (Белоярская АЭС), Сиса (Ленинградская АЭС), Хомутовка и Волчина (Калининская АЭС), Коваши и Пейпия (Калининская АЭС). В озеро Удомля (Калининская АЭС). В Цимлянское водохранилище (Ростовская АЭС), Имандровское водохранилище (Кольская АЭС), Белоярское водохранилище (Белоярская АЭС), Саратовское водохранилище (Балаковской АЭС). В Ольховское болото (Белоярская АЭС). А также в Финский залив (Ленинградская АЭС) и акваторию Восточно-сибирского моря (Плавучая атомная теплоэлектростанция).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные – отчёты об экологической безопасности АЭС. Контроль поступления вредных химических веществ в окружающую среду осуществляли в соответствии с регламентами химического контроля качества сточных и природных вод и установленными нормативами допустимых сбросов (НДС) вредных химических веществ (Официальный..., 2024). В представленной работе использовали численный метод и теорию статистической обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице представлено суммарное содержание загрязняющих химических веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты по 11 АЭС.

Таблица. Суммарное содержание загрязняющих химических веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты по 11 АЭС

Наименование загрязняющего вещества	Фактический сброс, т/год				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Взвешенные вещества	182,498	1529,046	2888,669	697,270	1239,069
Сухой остаток	8385,734	9315,898	9587,828	8716,038	3942,787
БПК	267,132	319,860	336,771	481,328	157,899
ХПК	4002,231	9856,477	17512,271	13121,557	5074,675
Хлориды	774,884	3036,427	4046,844	6259,851	3776,167
Сульфаты	2214,783	37650,589	69789,384	14853,467	19317,626
Аммоний-ион	19,880	5,765	18,310	30,026	38,414
Нитриты	3,492	12,359	14,297	0,926	0,790
Нитраты	186,794	124,271	106,813	112,176	126,691
Фосфаты	3,064	4,699	4,654	7,556	7,510
Азот аммонийный	2,030	5,026	6,642	7,385	4,118
Алюминий	0,039	0,044	0,043	0,510	0,430
Кальций	6,894	12,857	19,950	19,729	5,763
Кадмий	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Железо	3,493	36,160	16,198	10,290	12,162
Магний	2,228	5,542	9,753	10,198	3,548
Марганец	0,010	0,009	0,009	0,110	0,100
Медь	0,129	0,503	0,115	0,173	0,214
Натрий	4,965	2,487	1,781	2,404	4,369
Никель	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Свинец	0,005	0,004	0,005	0,004	0,013
Хром	0,020	0,020	0,020	0,002	0,002
Цинк	0,014	0,010	0,038	0,135	0,330
АСПАВ	0,128	0,138	0,141	1,057	0,883
Фенол	0,001	0,001	0,001	0	0
Фттрид	0,190	0,142	0,160	0	0
Гидразин	0,00013	0	0	0	0
Октадециламин	0,012	0	0	0	0
Водородный показатель	0	0	0	21,380	22,930
Нефть и нефтепродукты	2,353	4,702	12,409	5,041	3,562
ВСЕГО	16062,798	61923,031	104373,105	46379,631	33740,042
НДС	26273572,64	26127083,33	25686439,63	25722852,13	25743572,82

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение суммарных сбросов вредных химических веществ в водные объекты в 2019 г. на 74,06% по сравнению с предшествующим периодом и в 2020 г. на 40,67% по отношению к 2019 г. в большей части (на 85,49% в 2019 г. и на 94,04% в 2020 г.) связан с поступлением в Копорскую губу Финского залива от энергоблоков Ленинградской АЭС упаренных морских вод градирен (продувка). Однако следует отметить что суммарный показатель вредных химических веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты, не превышал 1% от установленных нормативами допустимых сбросов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Официальный сайт АО «Концерн Росэнергоатом». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosenergoatom.ru> (дата обращения: 04.04.2024). [Official website of Rosenergoatom Concern JSC. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.rosenergoatom.ru> (access date: 04/04/2024). (In Russ.)].

DYNAMICS OF GROSS DISCHARGE OF POLLUTING CHEMICALS IN WASTEWATER FROM NUCLEAR POWER PLANTS DISCHARGED INTO WATER BODIES ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.I. Saraykin

Orenburg State University,
Pobeda Ave., 13, 460013, Orenburg, Russian Federation

ABSTRACT. Most of the most important industries cannot exist without water. At nuclear power plants (NPPs), water is needed both for technological needs and for auxiliary needs - drinking water, use in re-water supply systems, replenishment and purging of the cooling pond, etc. In total, in the Russian Federation there are 36 power units at 11 operating nuclear power plants. The volume of water intake is carried out according to the established limits for 1 calendar year. Water disposal is also carried out on the basis of permits regulating environmental activities. This work presents the total content of harmful chemicals in wastewater discharged into water bodies by operating nuclear power plants on the territory of the Russian Federation, as well as the permissible amount of discharge established by regulations. The dynamics of changes in gross discharge are analyzed.

KEYWORDS: nuclear power plant, environmental safety, harmful chemicals, water bodies.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-5

ОЦЕНКА АДДИТИВНОГО ЭФФЕКТА КОМБИНАЦИИ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТНОШЕНИИ *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*

Т.А. Семьинин, А.Н. Здоров, М.М. Маринчев

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. Интенсивно развивающееся животноводство требует постоянного поиска и разработки биологически активных соединений, направленных на профилактику и лечение патологических состояний, вызванных полирезистентными патогенными и условно-патогенными штаммами. Наряду с выраженным физиологически значимым биологическим действием отдельных эссенциальных элементов они могут проявлять и выраженный бактерицидный эффект в отношении инфекционных агентов. Цель работы – оценить потенциал комбинированного действия цинка и йода на *Pseudomonas aeruginosa*, в качестве компонентов разрабатываемой рецептуры мази для лечения раневых и послеоперационных ран у животных. Полученные данные свидетельствуют о наличии выраженного синергизма элементов, совместное действие которых способствует усилению бактерицидных эффектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цинк, йод, бактерицидный эффект, *Pseudomonas aeruginosa*.

Для цитирования: Семьинин Т.А., Здоров А.Н., Маринчев М.М. Оценка аддитивного эффекта комбинации эссенциальных элементов в отношении *Pseudomonas aeruginosa*. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):11–13. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-5.

ВВЕДЕНИЕ

Цинк является важным микроэлементом для всех живых организмов. Показано, что у условно-патогенного бактериального патогена *Pseudomonas aeruginosa* цинк играет важную роль в вирулентности, колонизации организма-хозяина, а также участвует в устойчивости к антибиотикам (Gonzalez et al., 2019). Контроль концентрации цинка в клетках с помощью специальных систем импорта и экспорта имеет важное значение для выживания и вирулентности *Pseudomonas aeruginosa*. Таким образом, транскрипция многих переносчиков этого элемента жестко регулируется известным набором транскрипционных факторов, участвующих либо в импорте, либо в экспорте цинка (Ducret et al., 2023a, Ducret et al., 2023b). Устойчивость к металлам у микроорганизмов определяется металлофорами, которые представляют собой молекулы, хелатирующие ионы металлов, выделяемые бактериями, что позволяет им выживать в организме хозяина в условиях дефицита и избытка металлов. *P. aeruginosa* секретирует три металлофора: пиовердин, пиохелин (являются первичными сидерофорами, приобретающими железо из окружающей среды) и псевдопалин (хелатор ионов опина с узким спектром действия, позволяет поглощать цинк, но также может транспортировать никель и кобальт) (Ghssein et al., 2022).

Ц е л ь р а б о т ы – провести оценку аддитивного эффекта комплексного воздействия цинка и йода на полирезистентный штамм *P. aeruginosa*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведена оценка уровня толерантности исследуемого штамма *P. aeruginosa* в отношении сульфата и нитрата цинка с использованием диффузионного метода агаровых лунок, совмещенного с методом серийных разведений. Соли металлов разводили в дистиллированной воде из расчета 1 М/л в первой пробирке с последующим переносом половинного объема, кратность разведения 1:2. Всего сделано 7 разведений. Кристаллический йод растворяли в полиэтилен гликоле 400 0,1 г/10 мл. Оценку биологической активности проводили аналогичным образом посредством внесения 30 мкл в лунки с предварительным высевом тестируемого микроорганизма.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о выраженном бактерицидном действии исследуемых солей цинка в отношении бактериального штамма с выраженной зоной ингибирования, вплоть до разведения, соответствующего 0,063 М/л для обоих исследуемых солей, при этом диаметрально удаленное ингибирование роста *P. aeruginosa* для $ZnSO_4$ было более выраженным чем для $Zn(NO_3)_2$ и составило 9,28 мм и 8,34 мм, соответственно. Йод также оказывал слабо выраженное бактерицидное действие.

Для проведения чистоты эксперимента, а также для предотвращения кристаллизации йода было принято решение произвести разведение навески $ZnSO_4$ в глицерине, а йода – в полиэтилен гликоле. После разведения в обе пробирки вносили равные объемы растворителя, к йоду добавили глицерин, а к цинку полиэтилен гликоль. Анализ аддитивного бактерицидного действия выполняли в 10 повторностях; в лунки вносили по 15 мкл растворенного йода и сульфата цинка, оценку осуществляли визуально после инкубирования микроорганизмов в течение 24 ч при 37 °С, путем замера зон ингибирования роста.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о наличии выраженного синергетического эффекта тестируемых веществ с превышением средних значений подавления роста на 53,48 и 39,54% по отношению к $ZnSO_4$ и йоду соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о перспективности использования комбинации йода и цинка в составе лекарственных средств для наружного применения, направленных на профилактику послеоперационных и раневых инфекций у животных, вызванных полирезистентными к антибактериальным препаратам штаммами.

Работа выполняется в рамках стартап проекта по заказу предприятия «КРС-протектор» «Разработка барьерного средства для обработки сосков вымени крупного рогатого скота».

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Gonzalez M.R., Ducret V., Leoni S., Perron K. *Pseudomonas aeruginosa* zinc homeostasis: Key issues for an opportunistic pathogen. *Biochim Biophys Acta Gene Regul Mech.* 2019; 1862(7): 722–733. DOI: 10.1016/j.bbagr.2018.01.018.

Ducret V., Gonzalez D., Leoni S., et al. A Zur-mediated transcriptional regulation of the zinc export system in *Pseudomonas aeruginosa*. *BMC Microbiol.* 2023a; 23(1): 6. DOI: 10.1186/s12866-022-02750-4.

Ducret V., Gonzalez D., Perron K. Zinc homeostasis in *Pseudomonas*. *Biometals.* 2023b; 36(4): 729–744. DOI: 10.1007/s10534-022-00475-5.

Ghssein G., Ezzeddine Z. A Review of *Pseudomonas aeruginosa* Metallophores: Pyoverdine, Pyochelin and Pseudopaline. *Biology (Basel).* 2022; 11(12): 1711. DOI: 10.3390/biology11121711.

ASSESSMENT OF THE ADDITIVE EFFECT OF A COMBINATION OF ESSENTIAL ELEMENTS IN RELATION TO PSEUDOMONAS AERUGINOSA

T.A. Semynin, A.N. Zdorov, M.M. Marincev

Orenburg State University,
Pobedy Ave. 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Intensively developing animal husbandry requires constant search and development of biologically active compounds aimed at the prevention and treatment of pathological conditions caused by polyresistant pathogenic and opportunistic strains. Along with the pronounced physiologically significant biological effect of individual essential elements, they can also exhibit a pronounced bactericidal effect against infectious agents. In our work, the potential of the combined action of zinc and iodine on *Pseudomonas aeruginosa* was evaluated as components for the formulation of ointment being developed for the treatment of wound and postoperative wounds in animals. The data obtained indicate the presence of pronounced synergism of elements, the combined action of which contributes to the enhancement of bactericidal effects.

KEYWORDS: zinc, iodine, bactericidal effect, *Pseudomonas aeruginosa*.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ *BACILLUS* SP. В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ ИНТОКСИКАЦИИ ЦИНКОМ И МЕДЬЮ

А.Н. Сизенцов

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований, направленных на оценку использования биоремедиационного потенциала пробиотических штаммов *Bacillus* sp. в условиях острой интоксикации цинком и медью, свидетельствует о значительном снижении данных элементов в исследуемых образцах опытных групп. Максимальные сорбционные показатели при интоксикации цинком регистрируются на применении *B. subtilis* 534 и составляют 60,51%, в то время как при интоксикации медью максимальные значения процента выведения составили 45,29% для *B. cereus* IP 5832 «Бактисубтил» и 45,88 % для *B. subtilis* ВКПМ В 7048 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038 «Ветом 2».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биосорбция, цинк, медь, острая интоксикация.

Для цитирования: Сизенцов А.Н. Использование сорбционного потенциала пробиотических штаммов *Bacillus* sp. в условиях острой интоксикации цинком и медью. *Микроэлементы в медицине.* 2024;25(3):13–15. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-6.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях возрастающего уровня техногенной нагрузки на окружающую среду возникает острая необходимость в поиске новых экологически безопасных методических подходов, направленных

на поддержание биологических систем различного уровня организации в пределах референтных физиологически значимых показателей. Несмотря на то, что многие тяжелые металлы являются эссенциально значимыми (Zn, Cu, Co и др.), поступление их в организм в дозах, превышающих пороговые значения, приводит к развитию патологических состояний и накоплению в тканях свободных металлов (Plum et al., 2010). Многие микроорганизмы для борьбы с последствиями избытка цинка и меди выработали широкий спектр защитных механизмов. Например, *B. subtilis* вырабатывает внеклеточное полимерное вещество полигамма-глутамат (γ -PGA) в качестве защитного механизма в ответ на избыток цинка и меди (Deol et al., 2022).

Ц е л ь р а б о т ы – провести комплексную оценку эффективности применения пробиотических штаммов *Bacillus* sp. в условиях острой интоксикации цинком и медью в модельном эксперименте на крысах Wistar.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Блок экспериментальных исследований реализовали в условиях вивария на группах аналогах крыс Wistar по 20 особей в каждой группе. Были сформированы 3 контрольные группы: K_0 – интактная, K_1 – интоксикация цинком (75 мг/кг), K_2 – интоксикация Cu (50 мг/кг) и 6 опытных: O_1 (Zn + *B. subtilis* 534), O_2 (Zn + *B. cereus* IP 5832), O_3 (Zn + *B. subtilis* ВКПМ В 7048 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038). В группах O_4 , O_5 и O_6 проводили модельную оценку эффективности применения бактериальных штаммов при интоксикации медью. В эксперименте использовали растворы солей $ZnSO_4$ и $CuSO_4$, которые вводили однократно индивидуально натошак *per os*. Корректирующую терапию с использованием пробиотических штаммов осуществляли по средству индивидуального введения суспензии тестируемых штаммов на основе 0,7% NaCl в дозе 1 мл (не менее 1×10^9 КОЕ/мл) в течение 7 дней. Состояние животных оценивали в течение 21 суток с интервалом 7 суток на основании морфофизиологических, биохимических и иммунологических (показатели неспецифической резистентности) показателей крови, гистологического исследования органов мишеней (печень, селезенка) и содержания исследуемых элементов в тканях (кожный покров, мышечная и костная ткани).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ключевое значение в эксперименте имел показатель содержания тяжелых металлов в биологических образцах, так как его значение в опытных группах по отношению к группам интоксикации позволяло оценить уровень сорбционных характеристик бактериальных штаммов *Bacillus* sp. методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

При анализе итогового результата оценки сорбционных характеристик тестируемых бактериальных штаммов установлено, что уровень содержания исследуемых элементов в исследуемых биологических образцах группы контролей интоксикации значительно превышает показатели интактной группы на 55,46 и 60,58% для цинка и меди соответственно. При этом максимальные достоверно значимые уровни локализации обоих элементов регистрируются в костной ткани – цинка на 75,46% ($p < 0,01$), меди – 64,06% ($p < 0,001$), и кожном покрове на 35,71% ($p < 0,05$) и 62,07% ($p < 0,01$) соответственно по отношению к контролю интоксикации.

Курсовой прием пробиотических штаммов оказывает положительную динамику на уровень содержания исследуемых элементов в тканях, проявляющийся значительным снижением их уровня вплоть до показателей интактной группы. При этом следует отметить, что наиболее активно бактериальные штаммы сорбируют и выводят из организма цинк. Максимальные показатели выведения регистрируются на фоне применения *B. subtilis* 534, применение которого позволило снизить концентрацию металла не только по отношению к контролю интоксикации, но и интактной группы на 60,51 и 11,32% соответственно. Процент выведения меди из организма животных тестируемыми штаммами имеет относительно близкие значения в диапазоне от 41,18% (*B. subtilis* 534) до 45,88% (*B. subtilis* ВКПМ В 7048 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенный анализ результатов экспериментальных исследований свидетельствует о высоком уровне биоаккумуляции цинка и меди в организме животных с превышением контрольных значений

на 55,46 и 60,58% соответственно. Потенциал и перспективность использования пробиотических транзиторных штаммов рода *Bacillus* sp. свидетельствует о высоком уровне сорбции не только в желудочно-кишечном тракте, но и в организме в целом. Процент выведения цинка в опытных группах составляет от 35,29 до 60,51%, меди – от 41,18 до 45,88%. При этом уровень сорбции имеет обратную корреляционную зависимость, штаммы, обладающие максимальными показателями аккумуляции одного элемента показывают минимальный уровень сорбции другого.

Работа выполнена при поддержке государственного задания FSGU-2023-0007.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Plum L.M., Rink L., Haase H. The essential toxin: impact of zinc on human health. *Int J Environ Res Public Health*. 2010; 7(4): 1342–65. DOI: 10.3390/ijerph7041342.

Deol R., Louis A., Glazer H.L., et al. Poly-Gamma-Glutamic Acid Secretion Protects *Bacillus subtilis* from Zinc and Copper Intoxication. *Microbiol Spectr*. 2022; 10(2): e0132921. DOI: 10.1128/spectrum.01329-21.

USE OF SORPTION POTENTIAL OF PROBIOTIC STRAINS *BACILLUS* SP. IN CONDITIONS OF ACUTE INTOXICATION WITH ZINC AND COPPER

A.N. Sizenfsov

Orenburg State University,
Pobedy Ave. 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Comparative analysis of the results of experimental studies aimed at assessing the use of bioremediation potential of probiotic strains of *Bacillus* sp. under conditions of acute intoxication with Zn and Cu indicates a significant decrease in these elements in the studied samples of the experimental groups. The maximum sorption indicators for zinc intoxication are recorded for the use of *B. subtilis* 534 and amount to 60.51%, while for copper intoxication the maximum values of the percentage of excretion were 45.29% for *B. cereus* IP 5832 «Baktisubtil» and 45.88% *B. subtilis* VKPM V 7048 and *B. licheniformis* VKPM V 7038 «Vetom 2».

KEY WORDS: biosorption, zinc, copper, acute intoxication.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-7

ВЛИЯНИЕ КОНОПЛЯНОГО И ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХОВ НА УСВОЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЦЫПЛЯТ БРОЙЛЕРОВ

Я.А. Сизенцов, О.В. Кван

ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН,
Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

РЕЗЮМЕ. Проведение исследований по оценке степени влияния конопляного и подсолнечного жмыхов в рационе цыплят-бройлеров на уровень содержания макроэлементов (натрий, магний, калий, кальций) в мышечной ткани, свидетельствует об отсутствии выраженной положительной динамики по отношению к показателям интактной группы. Наиболее значимые показатели увеличения содержания кальция регистрируются на фоне применения 5% конопляного жмыха от общего рациона. Максимальные показатели усвоения калия и кальция регистрируются при увеличении концентрации жмыха *Cannabis sativa* до 10%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жмых, макроэлементы, цыплята бройлеры.

Для цитирования: Сизенцов Я.А., Кван О.В. Влияние конопляного и подсолнечного жмыхов на усвоение и накопление макроэлементов в организме цыплят бройлеров. *Микроэлементы в медицине*. 2024;25(3):15–17. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-7.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск альтернативных стимуляторов роста в условиях интенсивно развивающегося животноводства и птицеводства в настоящее время является одной из основных задач в условиях ограничения и запрета использования кормовых антибиотиков. Растения в процессе роста образуют различные фитохимические вещества, обеспечивающие их устойчивость к различным патогенам (алкалоиды,

флавоноиды, терпеноиды и др.). *Cannabis sativa* является богатым источником полиненасыщенных жирных кислот, высококачественных белков и незаменимых аминокислот. Согласно литературным данным, использование семян *C. sativa* в рационе цыплят бройлеров положительно влияет на липидный профиль мяса, улучшает окислительный статус и здоровье кишечника, представляя, таким образом, ценный и устойчивый ингредиент в рационе бройлеров (Vispute et al., 2019; Tufarelli et al., 2023).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, наряду с конопляным жмыхом, использовали традиционно применяемый подсолнечный жмых; проводили комплексный анализ степени их влияния на организм цыплят бройлеров. Одним из параметров оценки перспективы использования жмыхов являлся системный анализ содержания микро- и макроэлементов в тушках экспериментальной птицы.

В условиях реализации эксперимента были сформированы группы аналогов из 7 дневных цыплят по 35 голов в каждой. Рацион интактной группы на 100% состоял из комбикорма ПК-5 и ПК-6 (Оренбургский комбикормовый завод). В опытных группах в структуру рациона вводили 5% конопляного (O_1), подсолнечного (O_3) и соответственно 10% (O_2 и O_4) от общего рациона. Для анализа уровня усвоения сравнивали показатели макроэлементов в составе кормов и помете, степень накопления элементов определяли в мышечной ткани (грудная и голень). Полученные результаты подвергли статистической обработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка уровня распределения макроэлементов в мышечной ткани экспериментальной птицы свидетельствует о значительном увеличении кальция на фоне применения конопляного жмыха в дозе 5% от общего рациона (рисунок).

Однако следует отметить, что уровень усвояемости макроэлементов в экспериментальной группе O_1 значительно уступал аналоговым значениям интактной группы: Na на 35,07% ($p < 0,01$), Mg на 40,00% ($p < 0,01$), K на 20,69% ($p < 0,05$) и Ca на 19,6% ($p < 0,01$). Увеличение концентрации конопляного жмыха до 10% в структуре основного рациона не оказывает влияния на уровень усвоения натрия и магния по отношению к контролю, однако значительно увеличивает показатели биосорбции калия на 37,93% ($p < 0,01$) и кальция на 11,77% ($p < 0,05$). При этом усвоение данных элементов в мышечной ткани имеет близкие по отношению к интактной группе значения с незначительным отклонением в сторону снижения калия на 3,90% и увеличения кальция на 1,29%. Гипотетически это можно объяснить с изменением микробного профиля и увеличением его численности, так как данные элементы обеспечивают физиологические значимые параметры роста и размножения прокариот (эндогенные потери).

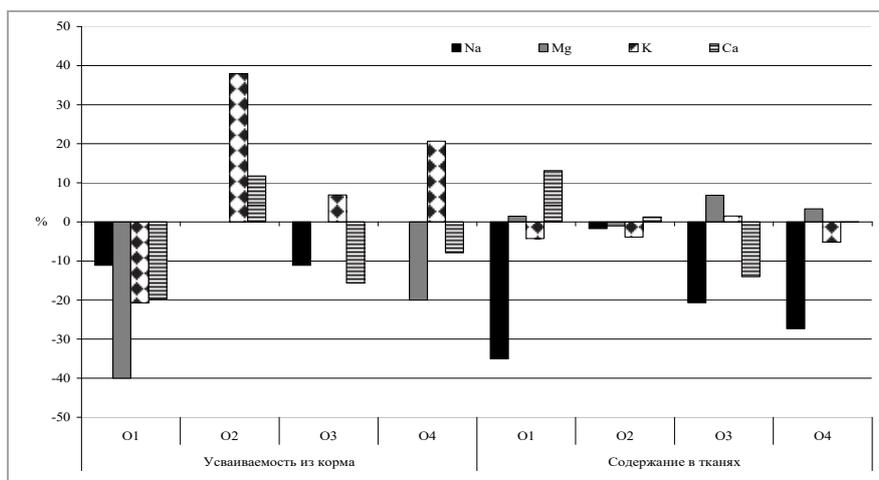


Рисунок. Уровень усвоения и содержания макроэлементов в организме цыплят бройлеров по отношению к интактной группе при использовании жмыхов в дозе 5 и 10% от общего рациона

Анализ степени влияния подсолнечного жмыха на уровень усвоения макроэлементов также свидетельствует о наличии отрицательной динамики по отношению к интактным значениям, исключение со-

ставляет калий, показатели которого в опытных группах превышают контрольные на 6,90 и 20,67% для групп О₃ и О₄, соответственно. Оценка содержания исследуемых элементов в мышечной ткани имеет положительные значения концентрации магния на 6,80% (О₃), 3,35% (О₄) и калия на 1,52% (О₃).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенный анализ экспериментальных данных по оценке степени влияния жмыхов в рационе птицы на уровень элементного состава (Na, Mg, K, Ca), свидетельствует об отсутствии выраженной положительной динамики их накопления в тканях цыплят бройлеров. На уровне гипотезы эндогенные потери данных элементов можно обосновать стимулирующим действием на микробиом кишечника. Максимальные показатели усвоения K и Ca регистрируются при добавлении в рацион 10% конопляного жмыха.

Исследование выполнено в соответствии с планом НИР за 2021–2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Tufarelli V., Losacco C., Tedone L., Passantino L., et al. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) cake as sustainable dietary additive in slow-growing broilers: effects on performance, meat quality, oxidative stability and gut health. *Vet Q.* 2023; 43(1): 1–12. DOI: 10.1080/01652176.2023.2260448.

Vispute M.M., Sharma D., Mandal A.B., et al. Effect of dietary supplementation of hemp (*Cannabis sativa*) and dill seed (*Anethum graveolens*) on performance, serum biochemicals and gut health of broiler chickens. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2019; 103(2): 525–533. DOI: 10.1111/jpn.13052.

INFLUENCE OF HEMP AND SUNFLOWER CAKES ON THE ABSORPTION AND ACCUMULATION OF MACROELEMENTS IN THE BODY OF BROILER CHICKENS

Ya.A. Sizentsov, O.V. Kvan

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences; St. January 9, 29, Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. Conducting studies to assess the degree of influence of hemp and sunflower cakes in the diet of broiler chickens on the level of macroelements (Na, Mg, K, Ca) in muscle tissue indicates the absence of pronounced positive dynamics in relation to the indicators of the intact group. The most significant indicators of an increase in calcium content are recorded against the background of the use of 5% hemp cake from the total diet. The maximum rates of K and Ca absorption are recorded when the concentration of *C. sativa* cake increases to 10%.

KEYWORDS: cake, macroelements, broiler chickens.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-8

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ КАЛЬЦИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОСТНОЙ ТКАНИ

Д.Е. Шошин^{1,2}, Е.В. Яушева¹, Т.Н. Холодилина^{1,2}, К.А. Казиев¹

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, Оренбург, ул. 9 Января, д. 29

² ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Российская Федерация, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. Цель исследования – изучение влияния перспективных источников кальция на уровень токсичных элементов в костной ткани. Показано, что использование хлорида кальция в дозировке 10% приводит к увеличению содержания в бедренной кости ряда токсичных элементов (Cd, Al и Pb), тогда как внесение в рацион доломитовой муки в той же концентрации способствует снижению количества марганца, меди и кальция в костной ткани в сравнении с контролем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кальций, свинец, токсичность, крысы.

Для цитирования: Шошин Д.Е., Яушева Е.В., Холодилина Т.Н., Казаев К.А. Сравнительная оценка действия различных источников кальция на накопление токсичных элементов в костной ткани. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):17–19. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-8.

ВВЕДЕНИЕ

Кальций является важной составляющей в организме животного и играет ключевую роль в минерализации скелета, обеспечивая его прочность (Peacock et al., 2010). Отмечается, что различные источники кальция по-разному влияют на накопление и выведение тех или иных макро- и микроэлементов в организме (Paiva et al., 2013). Учитывая высокую опасность даже в малых дозах группы токсичных элементов, особый интерес вызывает влияние кальция на уровень кадмия, свинца, ртути и мышьяка в организме (Filipoiu et al., 2022). Цель исследования – изучение влияния перспективных источников кальция на уровень токсичных элементов в костной ткани.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись крысы Wistar (самцы, 200±30 г). Исследование проведено в виварии Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФНЦ БСТ РАН). Для исследования было отобрано 15 лабораторных животных, которых методом пар-аналогов разделили на 3 группы ($n = 5$): I группа получала основной рацион (ОР) с добавлением доломитовой муки ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) (+10% Ca от содержания в ОР); II группа – ОР с добавлением в воду CaCl_2 (+10% Ca от содержания в ОР); III группа (контроль) – ОР. Длительность исследования составила 28 дней. Кормление животных осуществляли специализированным комбикормом для крыс со следующим элементным составом, мг/кг: Cd – 0,06±0,002; Pb – 0,05±0,003; As – 0,04±0,001; Fe – 291,2± 8,73; Zn – 234,2±9,36; Ca – 10151,4±345,2; Mn – 287,4±9,77; Na – 513,3764±22,0752; Mg – 2408,6±84,3; Al – 86,3±2,58; P – 6088,5±243,5; K – 7483,5± 336,8; Ni – 3,71± 0,16. В качестве дополнительного источника кальция использовали доломитовую муку (ООО «Аккерманн, Россия) и CaCl_2 (синтезирован из доломитовой муки). Обслуживание животных и экспериментальные исследования выполняли в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553).

Исследование элементного состава корма, доломитовой муки и костной ткани (бедренная кость) проводили в Испытательном центре ЦКП ФНЦ <http://цкп-бст.рф> по стандартным методикам. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» (Microsoft, США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» (StatSoftInc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Использование $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ в количестве 10% в рационе вело к снижению концентрации марганца, меди и кадмия в костной ткани на 27,9; 72,5 и 126% ($p \leq 0,01$) относительно контрольных значений соответственно, что обусловлено способностью доломитовой муки к выведению тяжелых металлов из организма (Апостолиди и др., 2017). Напротив, использование хлорида кальция в количестве 10% от нативной доли эссенциального элемента, полученного из доломитовой муки, приводило к увеличению содержания кадмия (+96,13% к контролю, $p \leq 0,05$), алюминия (+49,53% к контролю, $p \leq 0,01$) и свинца (+30,44 % к контролю, $p \leq 0,1$). Предполагаем, что подобные изменения могут быть связаны со способностью хлорида кальция влиять на почечную экскрецию отдельных элементов, тем самым вызывая их накопление в организме (Taube et al., 2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования продемонстрировали, что использование различных источников кальция в кормлении животных приводит к противоположным изменениям в элементном составе костной ткани крыс, что требует более детального изучения механизмов данных изменений.

Исследования выполнены в рамках гранта РНФ № 23-16-00165.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Апостолиди К.Ю., Чеходариди Ф.Н., Асланов Р.М., и др. Физико-химические свойства доломитовой муки и ее фармако-токсическая оценка. Ветеринарный врач. 2017; 5: 20–23. [Apostolidi K.Yu., Chekhodaridi F.N., Aslanov R.M., Korchemkin A.A., Konyukhova V.A. Physico-chemical properties of dolomite flour and its pharmaco-toxic assessment. Veterinarian. 2017; 5: 20–23. (In Russ.)].

Taube V.A., Rohn K., Kreienbrock L., Kamphues J. Individual differences in the phosphorus metabolism of fattening bulls—testing effects of crude fibre and calcium chloride in the diet. Arch Anim Nutr. 2010; 64(2): 111–120. DOI: 10.1080/17450390903461543.

Peacock M. Calcium metabolism in health and disease. Clin J Am Soc Nephrol. 2010; 1: S23–30.

Paiva D.M., Walk C.L., McElroy A.P. Influence of dietary calcium level, calcium source, and phytase on bird performance and mineral digestibility during a natural necrotic enteritis episode. Poult Sci. 2013; 92(12): 3125–3133. DOI: 10.3382/ps.2013-03298.

Kosiba A.A., Wang Y., Chen D., et al. The roles of calcium-sensing receptor (CaSR) in heavy metals-induced nephrotoxicity. Life Sci. 2020; 1(242): 117183. DOI: 10.1016/j.lfs.2019.117183.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFECT OF VARIOUS CALCIUM SOURCES ON THE ACCUMULATION OF TOXIC ELEMENTS IN BONE TISSUE

D.E. Shoshin^{1,2}, E.V. Yausheva¹, T.N. Kholodilina^{1,2}, K.A. Kazaev¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, St. 9 January 29, Orenburg, 460000,

²Orenburg State University, Pr. Pobeda 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. The purpose of our study was to study the effect of promising calcium sources on the level of toxic elements in bone tissue. The use of calcium chloride at a dosage of 10% led to an increase in the content of a number of toxic elements (Cd, Al and Pb) in the femur, while the addition of dolomite flour to the diet at the same concentration contributed to a decrease in the amount of manganese, copper and calcium in bone tissue in comparison with control.

KEYWORDS: calcium, lead, toxicity, rats.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-9

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ (МЕДЬ, ЦИНК, СЕЛЕН) В ВОЛОСАХ У БЕРЕМЕННЫХ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА

С.В. Яковенко, В.И. Корчин

Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Российская Федерация, 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Мира, д. 40

РЕЗЮМЕ. Исследование элементного статуса дает возможность оценить содержание в организме биоэлементов, сделать выводы об их адекватном уровне поступления. Для беременных это обязательное условие для сохранения здоровья матери и новорожденного. При оценке фактического поступления микроэлементов меди, цинка и селена в организм беременных установлен дисбаланс, выраженный в дефиците цинка и селена, а в образцах волос уровень этих микроэлементов у женщин группы исследования ниже по сравнению с группой контроля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: беременность, избыточная масса тела, микроэлементы, фактическое питание.

Для цитирования: Яковенко С.В., Корчин В.И. Анализ фактического питания и содержания микроэлементов (медь, цинк, селен) в волосах у беременных с избыточной массой тела. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):19–22. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-9.

ВВЕДЕНИЕ

Являясь одним из важнейших залогов здоровья беременных и новорожденных, сбалансированное питание обеспечивает адекватное поступление в организм макро- и микронутриентов. Для беременных, проживающих в экстремальных условиях высоких широт, важным условием правильного питания становится не только достаточное получение необходимого количества энергии, белков, жиров и углеводов, но микроэлементов, особенно регулирующих метаболические процессы, оказывающих антиоксидантное действие (медь, цинк, селен). Достаточное поступление таких биоэлементов в

организм женщины способствует компенсации проявлений окислительного стресса, который развивается при беременности в сочетании с избыточной массой тела женщин или ожирением и усугубляется воздействием неблагоприятных факторов внешней среды северного региона.

Известно, что создание баз данных содержания химических элементов в биосубстратах человека является основанием для формирования элементного статуса популяций и различных групп населения, принятия мер в отношении питания населения, качества жизни (Скальный, 2018). Изучение фактического поступления микроэлементов (медь, цинк, селен), участвующих в антиоксидантной защите организма, и сравнение с концентрацией в образцах волос беременных с избыточной массой тела, проживающих в ХМАО-Югре, позволит сделать выводы об адекватном полноценном питании данной категории населения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование включало 57 беременных, из которых 30 с избыточной массой тела (группа исследования) и 27 с нормальной массой тела (группа контроля). Индекс массы тела (ИМТ) рассчитан по антропометрическим данным из медицинской документации и составил в группе исследования 29,7 кг/м², в группе контроля – 24,6 кг/м² (табл. 1). Средний возраст пациенток составил 33,5 и 32,5 лет соответственно.

В обеих группах проведено исследование фактического питания беременных методом 24-часового воспроизведения питания. Для оценки суточного поступления макро- и микронутриентов провели анализ рациона питания беременных женщин с использованием программы «АСПОН-питание», разработанной проф. И.М. Воронцовым. Полученные данные сравнивались с адекватными уровнями потребления (АУП) пищевых и биологически активных веществ – МР 2.3.1. 0253-21 (Москва, 2021). В образцах волос методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) в лаборатории АНО «Центр Биотической Медицины» (ЦБМ) (г. Москва) определены концентрации эссенциальных микроэлементов медь (Cu), цинк (Zn) и селен (Se), участвующих в антиоксидантной защите. В проведении статистического анализа результатов использованы прикладные программы STATISTICA 8.0 и Microsoft Excel, для оценки данных использовали медиану (Me), значения межквартильного интервала Q1–Q3 с применением U-критерия Манна–Уитни, где значимое различие принято как $p < 0,05$. Исследование проведено в соответствии с этическими принципами, регламентированными Хельсинской декларацией.

Таблица 1. Потребление эссенциальных микроэлементов с фактическим питанием беременными, проживающими в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре

Показатель	Беременные с избыточной массой тела*, n=30		Беременные с нормальной массой тела**, n=27		p	Суточная энергия, % */**
	Me	Q1–Q3	Me	Q1–Q3		
Калорийность, ккал	2126,6	1711,0–2270,0	1463,1	1249,2–1523,0	0,000021	
Белки, г	67,1	52,4–76,3	57,1	40,4–62,3	0,004444	12,9/15,4
Жиры, г	94,8	76,2–106,1	61,6	53,4–76,3	0,000110	41,2/37,4
Углеводы, г	237,2	166,3–286,5	174,5	141,4–211,5	0,001245	45,9/47,2
Медь, мг	1,2	0,9–1,9	1,0	0,9–1,3	0,133	
Цинк, мг	7,1	5,4–9,5	5,5	4,6–6,1	0,000939	
Селен, мкг	5,5	3,2–6,6	3,6	2,0–4,2	0,009623	

Установлено, что беременные с избыточной массой тела потребляют повышенное количество белков, жиров и углеводов в сравнении с беременными с нормальной массой тела, при этом суточная калорийность их рациона выше в 1,45 раза ($p=0,000021$). Среднее суточное количество фактически потребляемых белков, жиров и углеводов статистически значимо выше в группе исследования на 17,5% ($p=0,004444$), 53,9% ($p=0,000110$), 35,9% ($p=0,001245$) чем в контроле соответственно. При сравнении суточной энергетической обеспеченности беременных с АУП, установлено, что в группе с избыточной массой тела доля белков и углеводов ниже, а жиров выше, чем в группе женщин с нормальным ИМТ. Также важным является превышение жиров в суточной калорийности рациона на 37,3% в группе исследования и 23,6% в группе контроля, что обусловлено адаптацией организма женщин к условиям северного региона, формированием «полярного метаболического типа» (Никифорова и др., 2018).

При сравнении поступления микроэлементов с пищей с физиологической потребностью отмечено, что в обеих группах беременные адекватно обеспечены только Cu. Дефицит потребления Zn в группе исследования составил в 1,7 раза, а Se в 10 раз в сравнении с АУП, в группе контроля в 2,2 раза и в 15 раз соответственно (табл. 2). При этом поступление Cu на 20% выше в группе женщин с повышенным ИМТ в сравнении с контролем, Zn – на 29,1% ($p=0,000939$), а Se – в 1,5 раза ($p=0,009623$).

Таблица 2. Концентрация эссенциальных микроэлементов в образцах волосах у беременных женщин, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре

Показатель	Беременные с избыточной массой тела, <i>n</i> =30		Беременные с нормальной массой тела, <i>n</i> =27		<i>p</i>
	Me	Q1–Q3	Me	Q1–Q3	
Медь, мкг/г	13,35	12,50–16,3	16,27	9,78–22,20	0,325
Цинк, мкг/г	188,00	168,00–236,00	304,00	210,00–518,00	0,0005
Селен, мкг/г	0,399	0,35–0,46	0,42	0,29–0,50	0,637

Выявлено, что уровни эссенциальных химических элементов в образцах волос находились в диапазоне физиологически оптимальных величин (данные ЦБМ), при этом отмечается межгрупповое различие содержания биоэлементов в волосах пациенток. Медианы микроэлементов в группе беременных с избыточной массой тела ниже, чем в группе беременных с нормальной массой тела: Cu на 17,9%, Zn в 1,6 раза и Se на 5%. По методу Манна–Уитни найдено статистически значимое различие между группами по показателю цинка ($p=0,0005$), по другим показателям статистически значимых различий не установлено ($p>0,05$).

Несмотря на то, что поступление с пищей микроэлементов меди, магния и цинка выше у беременных с избыточной массой тела, их концентрация в волосах ниже, чем у женщин в нормальном ИМТ. Учитывая активное участие этих биоэлементов в регуляции баланса про- и антиоксидантной системы, можно сделать вывод о повышенной потребности беременных с избыточной массой тела в экзогенных антиоксидантах, в том числе меди, цинка, селена.

Известно, что биологическое влияние ионов цинка связано с антиоксидантной ролью, они участвуют в регуляции окислительно-восстановительного гомеостаза за счет структурной роли в ферментативных антиоксидантах и синтезе металлотиионеина (Skalny et al., 2021). Медь является кофактором ферментов, участвующих в функционировании митохондрий, воспалительной реакции и антиоксидантных функциях (Yang et al., 2019). Селен играет решающую роль в синтезе и функционировании эндогенных антиоксидантов, таких как GPx, селенопротеин P, тиоредоксинредуктаза (TrxR) и йодтирониндейодиназы (IDD), контролирует антиоксидантную активность ферментативной системы глутатиона, действует как антиоксидант, поддерживая как гуморальный, так и клеточно-опосредованный иммунитет (Grzeszczak et al., 2023).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что у беременных фактическое питание не соответствует требованиям гигиенических норм – низкий уровень энергетической ценности рациона беременных группы контроля за счет недостаточного потребления белков и углеводов, в то же время увеличена доля жиров в суточной энергии в обеих группах. Выявлен выраженный дисбаланс обеспеченности макро- и микронутриентами беременных – дефицит потребляемых эссенциальных химических элементов селена и цинка характерен как для беременных с нормальной, так и избыточной массой тела. У женщин группы исследования содержание изучаемых биоэлементов в пище выше, а в образцах волос ниже по сравнению с группой контроля.

Таким образом, необходимыми требованиями при осуществлении антенатального ухода являются полноценное питание беременных, контроль количества и качества фактически потребляемой пищи, а также прием витаминно-минеральных комплексов женщинами на этапе преконцепционной подготовки и в период беременности.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения – перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга Микроэлементы в медицине. 2018; 19(1): 5–13. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13. [Skalny A.V. Assessment and correction of the elemental status of the population - a promising direction of domestic healthcare and environmental monitoring. Trace elements in medicine. 2018; 19(1): 5–13. DOI 10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13. (In Russ.)].

Никифорова Н.А., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В. Особенности питания жителей Севера (обзор литературы). Экология человека. 2018; 11: 20–22. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-11-20-25. [Nikiforova N. A., Karapetyan T.A., Dorshakova N.V. Nutrition features of the inhabitants of the North (literature review). Human ecology. 2018; 11: 20–22. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-11-20-25.].

Skalny A.V., Aschner M., Tinkov A.A. Zinc. Adv Food Nutr Res. 2021; 96: 251–310. DOI: 10.1016/bs.afnr.2021.01.003.

Yang H., Liu C.N., Wolf R.M., Ralle M., Dev S., Pierson H., Askin F., Steele K.E., Magnuson T.H., Schweitzer M.A., Wong G.W., Lutsenko S. Obesity is associated with copper elevation in serum and tissues. Metallomics. 2019 Aug 1; 11(8): 1363–1371. DOI: 10.1039/c9mt00148d.

Grzeszczak K., Łanocha-Arendarczyk N., Malinowski W., Ziętek P., Kosik-Bogacka D. Oxidative Stress in Pregnancy. Biomolecules. 2023 Dec 9; 13(12): 1768. DOI: 10.3390/biom13121768.

ANALYSIS OF ACTUAL NUTRITION AND CONTENT OF MICRONUTRIENTS (COPPER, ZINC, SELENIUM) IN HAIR OF OVERWEIGHT PREGNANT WOMEN

S.V. Yakovenko, V.I. Korchin

Khanty-Mansiysk State Medical Academy,
st. Mira 40, Khanty-Mansiysk, 628011, Russian Federation

ABSTRACT. The study of elemental status makes it possible to assess the content of bioelements in the body, to draw conclusions about their adequate level of intake. For pregnant women, this is a prerequisite for preserving the health of the mother and newborn. When assessing the actual intake of trace elements of copper, zinc and selenium in the body of pregnant women, an imbalance expressed in the deficiency of zinc and selenium was established, and in hair samples the level of these trace elements in women of the study group is lower compared to the control group.

KEYWORDS: pregnancy, overweight, micronutrients, actual nutrition.

Grzeszczak K., Łanocha-Arendarczyk N., Malinowski W., Ziętek P., Kosik-Bogacka D. Oxidative Stress in Pregnancy. Biomolecules. 2023 Dec 9; 13(12): 1768. DOI: 10.3390/biom13121768.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-10

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МЕДИ И КОБАЛЬТА НА ФЛОРУ КИШЕЧНИКА В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ *IN VIVO* И *IN VITRO*

А.П. Баранова¹, Е.В. Сальникова¹, А.Е. Побилат², А.Н. Сизенцов¹¹ ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

РЕЗЮМЕ. Представлен анализ результатов исследования оценки биологического действия химических соединений кобальта и меди на представителей структурного микробиома кишечника, выполненного на модели *Enterococcus sp.*, *Lactobacillus sp.* и *E. coli*. Полученные данные свидетельствуют о высоком уровне толерантности исследуемых штаммов к химическим соединениям эссенциальных элементов в концентрациях от 0,125 М/л до 0,031 М/л. Выявлено выраженное пролонгирующее действие кобальта и меди на динамические показатели роста. Однако уровень сорбции данных элементов незначителен и составляет в среднем 10,7% для *E. coli* (Cu) и 8,3% для *Lactobacillus sp.* (Co). Экспериментально установлено, что численность популяции *E. coli* имеет достоверно низкие значения на фоне интоксикации кобальтом – ниже на 25,27% ($p < 0,05$). Увеличение численности популяции клеток данного микроорганизма можно связать со снижением конкурентоспособности за питательные вещества на фоне сокращения численности популяции других микроорганизмов, о чем свидетельствуют результаты подсчета *Enterococcus sp.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кобальт, медь, острая интоксикация, биоаккумуляция.

Для цитирования: Баранова А.П., Сальникова Е.В., Побилат А.Е., Сизенцов А.Н. Оценка степени влияния меди и кобальта на флору кишечника в модельных экспериментах *in vivo* и *in vitro*. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):23–25. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-10.

ВВЕДЕНИЕ

Микробиом кишечника выполняет ключевую роль в метаболических и иммунологических процессах организма хозяина. В современной литературе представлены многочисленные данные об уникальных механизмах толерантности бактериальных клеток к действию тяжелых металлов и их биоаккумулирующих характеристик. Воздействие тяжелых металлов тесно связано с функцией и толерантностью кишечных микробов (Zhao et al., 2024; Arun et al., 2021).

Цель исследования – оценить уровень толерантности отдельных представителей нормофлоры кишечника крыс в отношении химических соединений меди и кобальта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Модельный эксперимент состоял из двух взаимодополняющих блоков. На первом этапе проведена оценка уровня толерантности к металлам тестируемых штаммов (*Enterococcus sp.*, *Lactobacillus sp.* и *E. coli*), выделенных из структурного микробиома кишечника и дифференцированных с использованием микроскопических, культуральных и биохимических методов исследования. Полученные данные свидетельствуют о выраженной устойчивости тестируемых штаммов к исследуемым химическим соединениям меди и кобальта. В частности, установлено, что для *Lactobacillus sp.* минимальные ингибирующие концентрации (МИК) составляют 0,125 М/л (CoSO_4) и 0,031 М/л (CuSO_4), *Enterococcus sp.* 0,063 (CoSO_4) и 0,031 М/л (CuSO_4) в отличие от изолята *E. coli*, для которого устойчивость имеет обратную картину, характеризующуюся более высокими показателями к исследуемым химическим соединениям. Так, МИК составила для CuSO_4 0,125 М/л, а для CoSO_4 – 0,063 М/л.

Второй этап в реализации данного блока базировался на оценке степени влияния исследуемых химических соединений на изолированные культуры клеток. Для реализации использовали нефелометрический метод. Динамику роста определяли методом интервального замера (каждые 3 ч) оптической плотности популяции исследуемых микроорганизмов до получения индетичных показателей (не менее трех), свидетельствующих о выходе роста на максимальную фазу. Полученные данные свидетельствуют о значительной степени влияния исследуемых веществ на динамические показатели роста популяции в условиях периодического культивирования. Установлено, что присутствие в субстрате

CoSO₄ оказывает пролонгированное действие на длительность экспоненциальной фазы *E. coli* с увеличением времени наступления стационарной фазы на 3 ч, при этом плотность популяции уступала интактному показателю 5,86% ($p < 0,05$). Для *Enterococcus sp.* время выхода на стационарную фазу приходится на 30-й час проведения замеров, что на 6 ч больше по отношению к контролю, при этом плотность популяции снижена на 42,95% ($p < 0,001$). *Lactobacillus sp.* имеет схожую с *E. coli* характеризующуюся увеличением логарифмической фазы роста на 3 ч (36 ч контроль и 39 ч опыт) и уступает в показателях оптической плотности 11,41% ($p < 0,05$). В отношении CuSO₄ у всех тестируемых штаммов регистрируется схожая картина с CoSO₄ по динамике и времени наступления стационарной фазы роста. Разница в показателях оптической плотности составила для *Enterococcus sp.* 26,32% ($p < 0,01$), *Lactobacillus sp.* 12,28% ($p < 0,05$) ниже интактных значений, а для *E. coli* данный показатель составил 5,72% ($p < 0,05$) в сторону увеличения.

Анализ сорбционной емкости исследуемых микроорганизмов проводили с использованием атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Анализировали биомассу клеток и супернатант с определением процента содержания элементов. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о низком потенциале сорбции кобальта из субстрата всеми тестируемыми микроорганизмами. Уровень аккумуляции составил 8,3% для *Lactobacillus sp.*, 5,7% для *Enterococcus sp.* и 4,8% *E. coli* соответственно. В отношении накопления биомассой меди наблюдается обратная картина. Так, максимальные значения регистрируются у *E. coli* и составляют в среднем 10,7%, а минимальные значения регистрируются у *Lactobacillus sp.* и составляют 3,2%.

В модельном эксперименте *in vivo* были сформированы две группы аналогов из самцов крыс Wistar по 15 голов в каждой. Животным натошак перорально вводили растворы CoSO₄ и CuSO₄ в дозах в пересчете на Co мг/кг массы тела и Cu 50 мг/кг соответственно. После создания острой интоксикации проводили оценку степени влияния исследуемых металлов на микрофлору кишечника на модели *Enterococcus sp.* (тонкий отдел кишечника) и *E. coli* (толстый отдел). Высев и подсчет колониеобразующих единиц (КОЕ) проводили с интервалом в 2 ч (фоновое исследование, 2, 4, 6 и 8 ч).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные в ходе проведения исследования данные свидетельствуют о выраженной динамическом влиянии обоих исследуемых соединений. Так, численность популяции *Enterococcus sp.* при интоксикации медью значительно снижалась на протяжении всего эксперимента и составила $29,67 \pm 1,76$ КОЕ/мл при разведении 1×10^5 , что на 58,60% меньше фоновых значений ($p < 0,001$), при этом наиболее значимое снижение регистрируется в первые часы с момента интоксикации и составляет 26,99% ($p < 0,05$) через 2 ч и 52,53% ($p < 0,01$) через 4 ч соответственно. Присутствие кобальта оказывает более выраженное ингибирующее действие на *Enterococcus sp.* со снижением численности через 2 ч на 33,49% ($p < 0,05$), через 4 ч на 74,43% ($p < 0,01$) и суммарным снижением к 8-му часу исследования на 81,40% ($p < 0,001$) соответственно.

По отношению к *E. coli* регистрируется обратная зависимость. На фоне введения в организм сульфата меди численность популяции достоверно увеличивается начиная с 4-го часа исследования на 72,91% ($p < 0,05$), через 6 ч на 78,85% ($p < 0,001$) и через 8 ч на 96,02% ($p < 0,001$) соответственно. Присутствие кобальта в пищеварительном тракте также оказывает «стимулирующее» действие на изменение численности популяции с максимальными показателями изменения численности, начиная с 6-го часа, и составляет 79,19% ($p < 0,05$), а на 8-й час 81,28% ($p < 0,01$) по отношению к фоновым показателям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемые бактериальные изоляты, формирующие микробиом кишечника крыс обладают выраженной толерантностью в отношении химических соединений кобальта и меди. Однако уровень сорбции данных элементов незначителен и составляет в среднем 10,7% для *E. coli* (Cu) и 8,3% для *Lactobacillus sp.* (Co). Оценка степени влияния металлов на микробиом кишечника в условиях острой интоксикации косвенно подтверждает результаты исследования *in vitro*. Установлено, что численность популяции *E. coli* имеет достоверно низкие значения на фоне интоксикации кобальтом на 25,27% ($p < 0,05$). Увеличение численности популяции клеток данного микроорганизма можно связать

со снижением конкурентоспособности за питательные вещества на фоне снижения численности популяции других микроорганизмов, о чем свидетельствуют результаты подсчета *Enterococcus sp.*

Работа выполнена при поддержке государственного задания FSGU-2023-0007.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Zhao L., Li X., Wang Y., et al. Resistance role of *Lactobacillus sp.* and *Lactococcus sp.* to copper ions in healthy children's intestinal microorganisms. *J Hazard Mater.* 2024 May 5; 469: 134059. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134059.

Arun K.B., Madhavan A., Sindhu R., et al. Probiotics and gut microbiome – Prospects and challenges in remediating heavy metal toxicity. *J Hazard Mater.* 2021 Oct 15; 420: 126676. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126676.

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF COPPER AND COBALT ON THE INTESTINAL FLORA IN MODEL EXPERIMENTS *IN VIVO* AND *IN VITRO*

A.P. Baranova¹, E.V. Salnikova¹, A.E. Pobilat², A.N. Sizentsov¹

¹ Orenburg State University,
Pobedy Ave., 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia,
St. Miklouho-Maklaya, 6, Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT. The presented work presents an analysis of the results of a study assessing the biological effect of chemical compounds of cobalt and copper on representatives of the structural intestinal microbiome using the model *Enterococcus sp.*, *Lactobacillus sp.* and *E. coli*. The data obtained indicate a high level of tolerance of the studied strains to chemical compounds of essential elements in concentrations from 0.125 M/l to 0.031 M/l. A pronounced prolonging effect of cobalt and copper on dynamic growth rates was established. However, the level of sorption of these elements is insignificant and averages 10.7% for *E. coli* (Cu) and 8.3% for *Lactobacillus sp.* (Co). It was experimentally established that the population size of *E. coli* has significantly low values against the background of cobalt intoxication by 25.27% ($p < 0.05$). An increase in the cell population of this microorganism can be associated with a decrease in competitiveness for nutrients against the background of a decrease in the population of other microorganisms, as evidenced by the results of counting *Enterococcus sp.*

KEY WORDS: cobalt, copper, acute intoxication, bioaccumulation.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-11

ВОПРОСЫ ДЕПОПУЛЯЦИИ КОРЕННЫХ НАРОДОВ СЕВЕРА И ИХ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНЫЕ КОРНИ

А.Л. Горбачев

Северо-Восточный государственный университет,
Российская Федерация, 685000, Магадан, ул. Портовая, д. 13

РЕЗЮМЕ. Для исследования здоровья и процессов депопуляции северных популяций проведен эколого-физиологический скрининг жителей Магаданской области (Северо-Восток России). Исследованы аборигенные группы (эвены, коряки, чукчи, метисы) и пришлое население. Маркером состояния функциональных систем человека и демографической стабильности популяции избран элементный статус: содержание в организме эссенциальных элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: север, аборигенные жители, микроэлементы, депопуляция.

Для цитирования: Горбачев А.Л. Вопросы депопуляции коренных народов Севера и их природно-социальные корни. *Микроэлементы в медицине.* 2024;25(3):25–28. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-11.

ВВЕДЕНИЕ

Принято считать, что коренные жители адаптированы к природно-климатическим условиям проживания. Это особенно актуально в отношении жителей экстремальных зон, в частности абори-

генных жителей Севера. В результате преобразований природно-социальной среды северных территорий произошло разрушение традиционного уклада жизни аборигенного населения и его дизадаптация к измененным условиям жизни.

Демографические показатели Арктической зоны РФ свидетельствуют о значительном сокращении численности жителей. В снижении численности пришлого населения главная роль принадлежит миграционным процессам, а аборигенов Севера – высоким показателям смертности (Талыкова и др., 2022). Ввиду повышенной смертности, высокого уровня ассимиляции сложилась демографически тревожная ситуация, свидетельствующая о депопуляции северных народов (Новикова и др., 2021).

Для исследования медико-социальной характеристики северных популяций предпринят эколого-физиологический скрининг пришлых и аборигенных жителей Магаданской области (Северо-Восток России). В качестве маркера состояния функциональных систем человека и демографической стабильности популяции избран элементный статус: вариации в организме биоэлементов, определяющих гомеостатические реакции человека и его здоровье. Этот подход основан на данных, свидетельствующих о причинно-следственных связях между обеспеченностью жителей эссенциальными микроэлементами и демографическими показателями регионов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – представители этнических групп: эвены, коряки, чукчи, метисы и пришлое население приморской территории Магаданской области. Оценку элементного статуса жителей проводили на основании спектрального анализа волос (АЭС-ИСП, МС-ИСП) в ООО «Микронутриенты» (Москва).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показано, что приморскую территорию Магаданской области следует считать биогеохимической провинцией с пониженным статусом у жителей многих жизненно важных элементов. Подобный дефицит элементов относят к «северному типу» элементного статуса, который может быть расценен как региональная норма.

Общим минеральным знаменателем для всех жителей региона является низкое содержание кальция, магния, кобальта, селена, йода. У аборигенных групп, в отличие от пришлых жителей, дополнительно отмечено пониженное содержание железа. У коряков, чукчей и метисов на фоне «дефицитного комплекса» элементов отмечено пониженное содержание хрома.

Заключения исследователей о нарастании процессов депопуляции у аборигенных народов севера являются дискуссионными и требуют научного переосмысления. Показано, что статус некоторых эссенциальных элементов у аборигенных групп является даже «выигрышным» относительно пришлого населения. Это касается, прежде всего, содержания у аборигенов кальция, магния, фосфора, свидетельствует об их адаптации к использованию слабоминерализованной воды и подтверждает данные литературы о высокой минерализации скелета арктических популяций (Бужилова и др., 2013). Дефицитный статус кальция, магния и фосфора у пришлых жителей указывают на их незавершенную адаптацию или дизадаптацию к биогеохимическому окружению.

К нарушениям элементного статуса аборигенов, включая метисов, следует отнести низкий уровень железа. Его пониженные показатели у современной популяции аборигенов, относительно пришлых жителей, по-видимому, связаны с нарушением питания и поддерживают более ранние данные о распространении железодефицитных состояний среди аборигенов Северо-Востока России (Журавская и др., 2002). Пониженное содержание хрома выявлено у всех аборигенов – коряков, чукчей и метисов за исключением эвенов. На этом основании можно прогнозировать проявление у северных этносов гипозэлементоза по хрому и развитию сахарного диабета II типа.

Особенности региональной биогеохимии обусловлены воздействием на популяцию общих экологических факторов. Разрушение национальных традиций аборигенного населения отразилось, в первую очередь, на качестве питания аборигенных жителей (Козлов, 2008; Марасанов, 2022). Алиментарный фактор стал ведущей причиной авитаминозов, дислипидемии и дисбаланса микроэлементов, следствием чего явилось ослабление природного иммунитета аборигенных этносов и развитие у них экологозависимых форм патологий (Карпин, 2021).

Существенным фактором формирования минерального обмена является использование населением поверхностных источников питьевой воды (Горбачев, 2021). Химический состав слабоминерализованной воды является постоянно действующим экологическим фактором и может приводить к нарушению минерального обмена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе элементного профиля аборигенных этносов Северо-Востока Азии (чукчи, коряки, эвены), не получено убедительных данных в пользу существенных нарушений минерального обмена, способных оказывать негативное влияние на здоровье малых этносов. Выявленная специфика элементного профиля изученных популяций объяснима с позиции этногенеза жителей Северо-Востока России (Хаховская, 2008). Наиболее древними этносами территории, максимально адаптированными к среде, являются палеоазиаты (коряки, чукчи). Эвены поселились на Северо-Востоке в сравнительно недавнем прошлом, что в плане адаптации к биогеохимической среде роднит их с современным пришлым населением. Метисы по основным показателям элементного статуса близки к корякам и чукчам – наиболее многочисленной группе аборигенов, вклад которых в метисацию населения максимальный.

ЛИТЕРАТУРА

- Бужилова А.П., Бацевич В.А., Бердиева А.Ю. и др. Оценка взаимосвязи морфологических характеристик и концентраций микроэлементов у современных представителей арктического адаптивного типа. Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2013; 4 (23): 59–70.
- Горбачев А.Л. Влияние химического состава питьевой воды на здоровье населения г. Магадана. Микроэлементы в медицине. 2021; 22(2): 17–24.
- Журавская Э.Я., Паламарчук М.В., Гырголькау Л.А. и др. Распространенность железодефицитных состояний в Сибири. Микроэлементы в медицине. 2002; 3(1): 54–58.
- Карпин В.А. Медицинская экология Севера: актуальность, достижения и перспективы (обзор литературы). Экология человека. 2021; 8: 4–11.
- Козлов А.И., Нувано В., Здор Э. Диета Чукотки. Химия и жизнь. 2008; 4: 42–45.
- Корчин В.И., Корчина Т.Я., Бикбулатова Л.Н. и др. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения. Журнал медико-биологических исследований. 2021; 1: 77–88.
- Куценогий К.П., Савченко Т.И., Чанкина О.В. и др. Элементный состав крови и волос коренных жителей Севера России с разной биогеохимической средой обитания. Химия в интересах устойчивого развития. 2010; 18(1): 51–61.
- Марсанов А.В. Инновационный подход к исследованию адапционных резервов и элементного статуса у населения Арктической зоны РФ (обзор). Журн. мед.-биол. исследований. 2023; 11(3): 351–366.
- Никифорова Н.А., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В. Особенности питания жителей Севера (обзор литературы). Экология человека. 2018; 11: 20–25.
- Новикова Ю.А., Ковшов А.А., Федоров В.Н. и др. Состояние санитарно-эпидемиологического благополучия населения, проживающего на территории Арктической зоны Российской Федерации, в 2020 году: бюллетень / под ред. д.м.н., проф. К.Б. Фридмана. СПб.: Издательско-полиграфическая компания «Коста». 2021; 48.
- Талькова Л.В., Мегорский В.В., Быков В.Р. Тенденции смертности коренного населения трудоспособного возраста Корякского округа и населения моногорода арктического региона в 1968–1991 гг. Экология человека. 2022; 29(9): 617–629.
- Хаховская Л.И. Коренные народы Магаданской области в XX – начале XXI в. г. Магадан: Изд-во СВНЦ ДВО РАН, 2008; 227.

ISSUES OF DEPOPULATION OF THE INDIGENOUS PEOPLES OF THE NORTH AND THEIR NATURAL AND SOCIAL ROOTS

A.L. Gorbachev

Northeastern State University,
13 Portovaya Street, 685000, Magadan, Russian Federation

ABSTRACT. To study the health and depopulation processes of northern populations, an ecological and physiological screening of residents of the Magadan region (North-East Russia) was carried out. Aboriginal groups (Evens, Koryaks, Chukchi, Mestizos) and newcomers were studied. Elemental status was chosen as a marker of the state of human functional systems and demographic stability of the population: the content of essential elements in the body.

KEYWORDS: north, aboriginal inhabitants, trace elements, depopulation processes.

REFERENCES

- Buzhilova A.P., Batsevich V.A., Berdieva A.Yu., i dr. Otsenka vzaimosvyazi morfologicheskikh kharakteristik i kontsentratsii mikroelementov u sovremennikh predstavitelei arkticheskogo adaptivnogo tipa. Vestnik arkhologii, antropologii i etnografii. 2013; 4 (23): 59–70. (In Russ).
- Gorbachev A.L. Vliyanie khimicheskogo sostava pitevoi vodi na zdorove naseleniya g. Magadana. Mikroelementy v meditsine. 2021; 22(2): 17–24. (In Russ).
- Zhuravskaya E.Ya., Palamarchuk M.B., Girgolkau L.A., i dr. Rasprostranennost zhelezodefitsitnykh sostoyanii v Sibiri. Mikroelementy v meditsine. 2002; 3(1): 54–58. (In Russ).
- Karpin V.A. Meditsinskaya ekologiya Severa: aktualnost, dostizheniya i perspektivi (obzor literaturi). Ekologiya cheloveka. 2021; 8: 4–11. (In Russ).
- Kozhin A.A., Vladimirovskii B.M. Mikroelementozy v patologii cheloveka ekologicheskoi etiologii. Ekologiya cheloveka. 2013; 9: 56–64. (In Russ).
- Kozlov A.I., Nuvano V., Zdor E. Dieta Chukotki. Khimiya i zhizn. 2008; 4: 42–45. (In Russ).
- Korchin V.I., Korchina T.Ya., Bikbulatova L.N., et al. Vliyanie klimatogeograficheskikh faktorov Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga na zdorove naseleniya. Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy. 2021; 1: 77–88. (In Russ).
- Kutsenogii K.P., Savchenko T.I., Chankina O.V., i dr. Elementnii sostav krovi i volos korennykh zhitel'ei Severa Rossii s raznoi biogeokhimicheskoi sredoi obitaniya. Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya. 2010; 18(1): 51–61. (In Russ).
- Marasanov A.V. Innovatsionnii podkhod k issledovaniyu adaptatsionnykh rezervov i elementnogo statusa u naseleniya Arkticheskoi zoni RF (obzor). Zhurn. med.-biol. issledovaniy. 2023; 11(3): 351–366. (In Russ).
- Nadtochii L.A., Smirnova S.V., Bronnikova Ye.P. Depolyatsiya korennykh i malochislennykh narodov i problema sokhraneniya etnosov Severo-Vostoka Rossii. Ekologiya cheloveka. 2015; 2: 3–11. (In Russ).
- Novikova Yu.A., Kovshov A.A., Fedorov V.N., i dr. Sostoyanie sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya, prozhivayushchego na territorii Arkticheskoi zoni Rossiiskoi federatsii, v 2020 godu: byulleten / pod red. d.m.n., prof. K.B. Fridmana. SPb.: Izdatel'sko-poligraficheskaya kompaniya «Kosta». 2021; 48. (In Russ).
- Sapozhnikov S.P., Golenkov A.V. Rol biogeokhimicheskikh faktorov v razvitiy kraevoi patologii. Mikroelementy v meditsine. 2001; 2 (3): 70–72. (In Russ).
- Talykova L.V., Megorsky V.V., Bykov V.R. Mortality trends of the indigenous working-age population of the Koryak district and the population of the monotown of the Arctic region in 1968-1991. Human ecology. 2022; 29(9): 617–629.
- Shakhovskaya L.I. Indigenous peoples of the Magadan region at the beginning of the XXI century. Magadan: Publishing house SVND TWO, 2008; 227. (In Russ).

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-12

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ВИТАМИНОВ И АНТИБИОТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ

Е.А. Дроздова, Е.С. Алешина

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Известно, что лекарственные растения издавна используются не только в народной медицине, но и в качестве потенциального источника биологически активных веществ, эссенциальных микроэлементов и витаминов. Экстракты представляют собой концентрированные вытяжки из растительного сырья. Известны различные варианты приготовления растительных экстрактов, однако именно способ извлечения экстрагируемых веществ очень сильно отражается не только на содержании в них всего пула биологически активных веществ, но и на их бактерицидных свойствах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биологически активные вещества, микроэлементы, бактерицидный эффект, экстракты лекарственных растений.

Для цитирования: Дроздова Е.А., Алешина Е.С. Влияние способа экстрагирования растительного сырья на содержание микроэлементов, витаминов и антибиотических веществ в экстрактах. Микроэлементы в медицине. 2024;25(2):28–31. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-12.

ВВЕДЕНИЕ

В питании современного человека применение биологически активных веществ (БАВ) натурального происхождения, обладающих, кроме богатого витаминами и микроэлементами состава, бактерицидными свойствами, является хорошей альтернативой повсеместно используемым антибиотикам, к которым, как известно, у бактерий возникает резистентность. Применение БАВ позволяет не только поддержать иммунную систему, пополняя рацион витаминами, антиоксидантами и пребиоти-

ками, но и способно оказать благотворное влияние на нормофлору кишечника. Указанные свойства растительных экстрактов определяют достаточно обширный спектр их использования, открывая новые возможности как в области микробиологии, так и в прикладных областях исследований.

Цель исследования – провести сравнительную оценку растительных экстрактов *Calendula officinalis* (трава календулы) и *Matricaria chamomilla* (цветки ромашки аптечной), полученных различными способами, качественную сравнительную оценку их химического состава, а также антибактериальные свойства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для получения растительных экстрактов использовали три способа водной экстракции: горячей водой в течение 15 мин при температуре около 50 °С (способ 1), над кипящей водяной баней в течение 15 мин и периодическом нагревании в СВЧ-печи с предварительным подбором оптимальной температуры нагрева (способ 2), экстракция настаиванием при комнатной температуре в течение 25 мин (способ 3).

Оценка содержания биологически активных веществ в выбранных для исследования экстрактах проводили при помощи качественного анализа, содержание аскорбиновой кислоты – стандартным йодометрическим методом.

Для определения антимикробной активности растительных экстрактов готовили суспензию тест-микроорганизмов, оценивая ее оптическую плотность спектрофотометрическим методом. Антимикробную активность экстрактов производили с использованием бактерицидного метода анализа, подсчитывая КОЕ/мл, далее выполняли посев на ГРМ-агар методом Дригальского. Бактерицидные свойства полученных вытяжек растительного сырья оценивали непосредственно после экстрагирования. Полученные результаты анализировали с использованием непараметрической статистики по Манна–Уитни (программа Statistica 6.0 для Windows).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Качественный анализ выбранных для исследования экстрактов календулы и ромашки показал достаточно высокое содержание биологически активных веществ: это белки, флавоноиды, фенолы. Алкалоиды, которые были обнаружены в экстракте календулы и отсутствовали в экстракте ромашки, отвечают за обезболивающее, спазмолитическое и бактерицидное действие. Анализ экстракта ромашки показал наличие гликозидов, способных оказывать антиоксидантное, противодиабетическое действие.

Сравнительная оценка содержания аскорбиновой кислоты продемонстрировала достаточно высокое содержание в экстракте цветков ромашки аптечной – 26,54 мг на 100 мл воды, а в экстракте травы календулы – 18,89 мг на 100 мл воды.

В работе также была оценена антимикробная активность растительных экстрактов календулы *Calendula officinalis* и ромашки аптечной *Matricaria chamomilla*, полученных различными способами экстрагирования.

Наиболее эффективным методом экстракции оказалось экстрагирование над кипящей водяной баней сверхвысокочастотным методом (способ 2). Возможно, эффективность данного метода связана с разрушением стенок растительных клеток, что приводило к высвобождению биологически активных соединений и молекул. Это исследование подтверждает литературные данные о том, что способ экстракции влияет на содержание биологически активных веществ и напрямую связан с их антимикробной активностью (Мусифулина и др., 2021, Чуева и др., 2021).

Бактерицидное действие экстрактов оценивали выраженным подавлением роста штаммов грамположительных (*S. aureus*) и грамотрицательных (*E. coli*) микроорганизмов. Данные штаммы относятся к условно-патогенным, способны образовывать ассоциации, вызывая различные инфекционные процессы.

Все образцы экстрактов календулы и ромашки аптечной проявили ингибирующее действие в отношении тест-микроорганизмов *S. aureus* и *E. coli*. Однако наиболее сильный бактерицидный эффект продемонстрировал на тест-штамм *S. aureus* экстракт ромашки, способом 2. Чувствительность микроорганизмов *S. aureus* может быть обусловлена структурой клеточной стенки и внешней мембраны,

так как высокий уровень фосфолипидов, находящихся в клеточной стенке, может снижать ее проницаемость к антибактериальным веществам (Ghendov-Moşanu et al., 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что преимуществом водных экстрактов лекарственных растений является достаточно высокое содержание биологически активных веществ, алкалоидов, белков, флавоноидов, гликозидов, дубильных веществ, обладающих также выраженными бактерицидными свойствами в отношении условно-патогенных микроорганизмов. При этом среди исследуемых растительных экстрактов по содержанию витаминов, микроэлементов и бактерицидных веществ лидером стал экстракт ромашки аптечной *Matricaria chamomilla*, который оказал ингибирующее воздействие на тест-организмы *Staphylococcus aureus*.

ЛИТЕРАТУРА

- Мусифулина В.М., Омаров М.М. Сравнительная характеристика методов экстрагирования растительного сырья. Вестник Инновационного Евразийского университета. 2021; 4: 107–112.
- Алешина Е.С., Дроздова Е.А. *Origanum vulgare* и молочная сыворотка как компоненты нового функционального напитка. Микроэлементы в медицине. 2021; S 1: 7–8.
- Ghendov-Moşanu A., Daniela Cojocari, Greta Balan, Rodica Sturza. Antimicrobial activity of rose hip and hawthorn powders on pathogenic bacteria. Journal of Engineering Sciences. 2018; 4: 100–107.
- Чуева В.Д., Алешина Е.С., Дроздова Е.А. Антибактериальные и антиоксидантные свойства экстрактов водного состава лекарственных растений как основа для создания добавок к пищевым продуктам питания. Проблемы экологии южного Урала: сборник мат. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Оренбург. ОГУ. 2021; С. 233–235.
- Шорина Е.С. Оценка влияния способа приготовления экстрактов лекарственных растений на их состав. Теория и практика инновационных исследований в области естественных наук: сборник мат. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Оренбург. ОГУ. 2022; 357–359.
- Алексеева Д.Б., Дроздова Е.А. Алешина Е.С. Особенности функциональных напитков, обогащенных пребиотиками. Проблемы экологии южного Урала: сборник мат. XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Оренбург: ОГУ. 2023; 143–146.

THE EFFECT OF THE METHOD OF EXTRACTING VEGETABLE RAW MATERIALS ON THE CONTENT OF TRACE ELEMENTS, VITAMINS AND ANTIBIOTIC SUBSTANCES IN EXTRACTS

E.A. Drozdova, E.S. Aleshina

Orenburg State University,
Pr. Pobedy 13, 460013, Orenburg, Russian Federation

ABSTRACT. It is known that medicinal plants have long been used not only in folk medicine, but also as a potential source of biologically active substances, essential trace elements and vitamins. Extracts are concentrated extracts from vegetable raw materials. Various options for the preparation of plant extracts are known, but it is the method of extracting extracted substances that has a very strong effect not only on the content of the entire pool of biologically active substances in them, but also on their bactericidal properties.

KEYWORDS: biologically active substances, trace elements, bactericidal effect, extracts of medicinal plants.

REFERENCES

- Musifulina V.M., Omarov M.M. Comparative characteristics of methods of extraction of vegetable raw materials. Bulletin of the Innovative Eurasian University. 2021; 4: 107–112. (In Russ).
- Aleshina E.S., Drozdova E.A. *Origanum vulgare* and milk whey as components of a new functional drink. Trace elements in medicine. 2021; S1: 7–8. (In Russ).
- Ghendov-Moşanu A. et al. Antimicrobial activity of rose hip and hawthorn powders on pathogenic bacteria. Journal of Engineering Sciences. 2018; 4: 100–107. (In Russ).
- Chueva V.D., Alyoshina E.S., Drozdova E.A. Antibacterial and antioxidant properties of extracts of the aqueous composition of medicinal plants as a basis for the creation of food additives. Problems of ecology of the southern Urals: a collection of mat. All-Russian scientific and practical conference with international participation. Orenburg. OSU. 2021; 233–235. (In Russ).

Shorina E.S. Assessment of the influence of the method of preparation of extracts of medicinal plants on their composition. Theory and practice of innovative research in the field of natural sciences: collection of mat. All-Russian scientific and practical conference with international participation. Orenburg: OSU. 2022; 357–359. (In Russ).

Alekseeva D.B., Drozdova E.A. Alyoshina E.S. Features of functional drinks enriched with prebiotics. Problems of ecology of the southern Urals: collection of mat. XI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Orenburg: OSU. 2023; 143–146. (In Russ).

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МЕТОДАХ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ

А.А. Еркин, О.А. Науменко

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр-кт Победы 13

РЕЗЮМЕ. Флавоноиды являются важными эссенциальными веществами, они поступают в организм с растительной пищей или лекарственными растениями, богатыми флавоноидными соединениями. Флавоноиды обладают широким спектром биологической активности (антиоксидантной, антибактериальной). Рассмотрены методы качественного и количественного определения флавоноидов на основе цветных реакций с участием таких микроэлементов, как магний, цинк и алюминий, которые участвуют в восстановительных реакциях флавоноидов и дают красное (магний), оранжевое (цинк), желтое (алюминий) окрашивание. Представлена роль данных микроэлементов в организме и механизм их химического действия, используемый в методах количественного и качественного анализа содержания флавонолов и флавонов в экстрактах *Zea mays* (кукурузы обыкновенной). Для установления факта наличия флавоноидов в экстрактах проведены четыре качественные реакции: Вильсона, цианидиновая проба, реакция с щелочью, реакция с хлоридом алюминия, которые дали положительный результат с экстрактами *Zea mays*, что подтвердило присутствие в них флавоноидов. Для количественного определения флавоноидов использовали спектрофотометрию при длине волны 430 нм по реакции с хлоридом алюминия в пересчете на кверцетин. Предварительно был построен калибровочный график с разведениями кверцетина в присутствии хлорида алюминия. По результатам спектрофотометрии установлено, что массовая доля флавонолов и флавонов в анализируемой пробе *Zea mays* составила 18% мг/г сухой массы. Полученные результаты показывают, что рыльца и пестики *Zea mays* являются перспективным и богатым источником флавоноидов. Целесообразно дальнейшее использование магния, цинка и алюминия в разработке новых методов определения флавоноидов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: флавоноиды, магний, цинк, алюминий, Кукуруза обыкновенная, метод.

Для цитирования: Еркин А.А., Науменко О.А. Использование микроэлементов в методах количественного и качественного определения флавоноидов в растительном сырье. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):31–33. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-13.

ВВЕДЕНИЕ

Флавоноиды являются важными эссенциальными веществами, которые поступают в организм с растительной пищей или лекарственными растениями, богатыми флавоноидными соединениями (Агафонов, 2015). Флавоноиды являются одними из многочисленных групп вторичных метаболитов растений (Kumar, Meena, 2019). Лекарственные растения, содержащие флавоноидные соединения, обладают широким спектром биологической активности (антиоксидантной, антибактериальной). (Handayani, Faradiba, 2021).

Ц е л ь р а б о т ы – использование микроэлементов в методах количественного и качественного определения флавоноидов в экстрактах *Zea mays*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для экстракции данной группы вторичных метаболитов, использовали 96%-ный этиловый спирт и навеску растительного сырья, в соотношении 3:1. В течении 50 мин кипятили на водяной бане с обратным холодильником. После содержимое охлаждали и фильтровали с помощью воронки Шотта. Остаток растительного материала заливали 70%-ным, а затем 40%-ным этиловым спиртом и повторяли процедуру (Handayani, Faradiba, 2021).

В основе цветных качественных реакций используются методы восстановления флавоноидов в присутствии соляной кислоты такими микроэлементами, как магний и цинк, которые участвуют в восстановительных реакциях карбонилапиринового кольца флавоноидов до антоцианидинов, и дают красное (магний) или оранжевое (цинк) окрашивание. Интенсивность окраски зависит как от количества флавоноидов, так и от их структуры. Для установления факта наличия флавоноидов в экстрактах были проведены четыре качественные реакции: Вильсона, цианидиновая проба, реакция с щелочью и хлоридом алюминия. По результатам исследования все четыре реакции дали положительный результат с экстрактами *Zea mays* (кукурузы обыкновенной), что подтвердило присутствие в них флавоноидов (рис. 1).

Магний – эссенциальный микроэлемент, который обеспечивает работу клеток сердечно-сосудистой и нервной систем организма, а также улучшает усвоение витаминов В₆, В₉ и В₁₂. Цинк – эссенциальный микроэлемент, который отвечает за процессы деления клеток, обеспечивает правильное функционирование иммунной системы, участвует в синтезе тестостерона и является кофактором фермента ароматазы.

Химизм реакции с AlCl₃ заключается в формировании водородных связей между R-COH и OH группами двух оксигрупп С₃- и С₅-флавоноидов и дает желтое окрашивание за счет образования хелатных комплексов. Роль алюминия в организме незначительна, однако соли обладают антацидным эффектом, в связи с этим препараты с AlCl₃ применяют при лечении пептических язв.

Количественное определение флавоноидов выполняли спектрофотометрическим методом в пересчете на кверцетин. В процессе измерения использовали реакцию кверцетина с раствором хлорида алюминия, длину волны выставляли на 430 нм, поскольку именно эта длина волны является удельным показателем образования хелатного комплекса желтого цвета кверцетина и AlCl₃. По градуировочному графику, определили процентное содержание суммы флавонолов и флавонов (рис. 2).

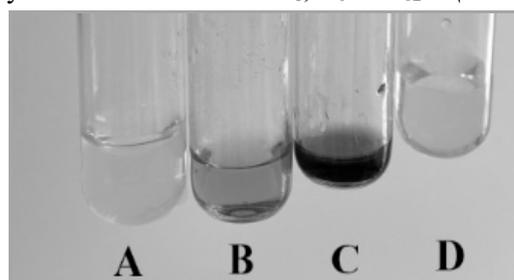


Рис. 1. Результаты качественной реакции на флавоноиды с экстрактами *Zea mays*:
А – реакция Вильсона,
В – цианидиновая проба,
С – реакция с щелочью,
D – реакция с хлоридом алюминия

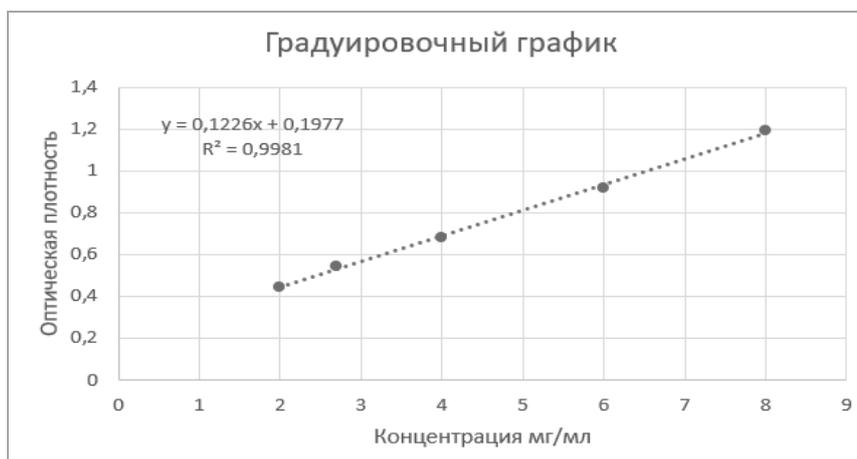


Рис. 2. Градуировочный график для кверцетина

Массовая доля флавонолов и флавонов в анализируемой пробе экстракта *Zea mays* составила 18% мг/г сухой массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование магния, цинка и алюминия целесообразно в разработке новых методов качественного и количественного определения флавоноидов. Также можно достоверно сказать, что рыльца и пестики *Zea mays* (кукурузы обыкновенной) являются перспективным и богатым источником флавоноидов и могут рекомендоваться в питании человека в качестве антиоксидантов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Агафонов В.А. Лекарственные растения: учебное пособие. Воронеж: Воронежский Государственный Университет. 2015; 9–10 с. [Agafonov V.A. Lekarstvennye rasteniya: uchebnoe posobie. Voronezh: Voronezhskiy Gosudarstvenniy Universitet. 2015; 9–10 s. (In Russ.)].

Kumar N.K., Meena S.K. Oxidative stress and antioxidant metabolic enzymes response of maize (*Zea mays* L.) seedlings to a biotic stress (Alachlor) condition. Research Article. 2019; 224–237.

Handayani V., Faradiba A.R. Spectrophotometric Determination of Total Flavonoid Content in *Biancaea Sappan* (*Caesalpinia sappan* L.) Leaves. Journal Fitofarmaka Indonesia. 2021; 1–4.

USE OF TRACE ELEMENTS IN METHODS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE DETERMINATION OF FLAVONOIDS IN PLANT RAW MATERIALS

A.A. Yerkin, O.A. Naumenko

Orenburg State University,
Pobedy ave., 13, Orenburg 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Flavonoids are important essential substances and enter the body with plant foods or medicinal plants rich in flavonoid compounds. Flavonoids have a wide range of biological activity (antioxidant, antibacterial). Methods of qualitative and quantitative determination of flavonoids on the basis of colour reactions involving such trace elements as magnesium, zinc and aluminium, which participate in reductive reactions of flavanoids and give red (magnesium), orange (zinc), yellow (aluminium) colouring, are considered in this work. The role of these trace elements in the organism and the mechanism of their chemical action used in methods of quantitative and qualitative analysis of flavonols and flavones content in extracts of *Zea mays* (Common Corn) are presented. Four qualitative reactions were carried out to establish the presence of flavonoids in the extracts: Wilson's, cyanidine assay, reaction with alkali, reaction with aluminium chloride, which gave positive results with *Zea mays* (Common Corn) extracts, which confirmed the presence of flavanoids in them. For the quantitative determination of flavonoids, spectrophotometry at 415 nm was used by reaction with aluminium chloride in terms of quercetin. A calibration chart was previously constructed with dilutions of quercetin in the presence of aluminium chloride. According to the results of spectrophotometry it was found that the mass fraction of flavonols and flavones in the analysed sample of *Zea mays* (Common Corn) was 18 % mg/g dry weight. According to our results, we can reliably say that stigmas and pistils of *Zea mays* (Maize ordinary) are a promising and rich source of flavonoids. It is expedient to further use magnesium, zinc and aluminium in the development of new methods for the determination of flavonoids.

KEYWORDS: flavonoids, magnesium, zinc, aluminium, Common Corn, method.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-14

ВЛИЯНИЕ Fe, Zn, Co НА АНТАГОНИСТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ *BACILLUS* SP. В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ *IN VITRO*

А.Н. Здоров, М.М. Маринчев, Т.А. Семьинин

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. Проведены экспериментальные исследования оценки степени влияния эссенциальных элементов из группы тяжелых металлов на антагонистическую активность транзиторных пробиотических штаммов *Bacillus* sp. Результаты исследования свидетельствуют о негативном влиянии избыточных концентраций металлов на показатели конкурентоспособности, характеризующееся снижением показателей ингибирующих характеристик в отношении тест организмов. Положительный эффект оказывает железо в отношении *E. coli*, что гипотетически можно охарактеризовать образованием ультрадисперсных металлокомплексов, увеличивающих проникновение биологически активных ингибиторов роста через защитные механизмы бактериальных клеток.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железо, цинк, кобальт, медь, *Bacillus*, антибиотикопродуктивность, *E. coli*, *S. aureus*.

Для цитирования: Здоров А.Н., Маринчев М.М., Семьинин Т.А. Влияние Fe, Zn, Co на антагонистическую активность пробиотических штаммов *Bacillus* sp. в модельном эксперименте *in vitro*. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):33–35. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-14.

ВВЕДЕНИЕ

В современной научной литературе представлены многочисленные экспериментальные данные, свидетельствующие о выраженной антагонистической активности представителей рода *Bacillus* sp. и их высоком потенциале практического применения (Santos, et al., 2022; Podnar, et al., 2022). Наряду с этим широко известен биоремедиационный потенциал тяжелых металлов представителями данного рода (Wrobel, et al., 2023).

Ц е л ь р а б о т ы – оценить степень влияния эссенциальных элементов (Fe, Zn, Co) на антибиотикопродуктивность транзиторных штаммов *Bacillus* sp. в модельных экспериментах *in vitro*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Реализация поставленной цели включала в себя два этапа. Первый этап направлен на оценку уровня резистентности исследуемых штаммов микроорганизмов к химическим соединениям тестируемых в эксперименте металлов (FeSO₄, ZnSO₄, CoSO₄). Исследование проводили методом агаровых лунок в комбинации с методом серийных разведений (от 1 до 0,016 М/л). В качестве тест-организмов в работе использовали три пробиотических штамма *Bacillus* sp. (*B. subtilis* 534, *B. cereus* IP 5832 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038) и два клинических изолята – *E. coli* и *S. aureus*. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о выраженном ингибирующем действии всех исследуемых солей эссенциальных элементов на тест организмы. Так, внесение FeSO₄ вплоть до концентрации 0,125 М/л для штаммов *B. subtilis* 534, *B. licheniformis* ВКПМ В 7038, *E. coli* и *S. aureus* оказывает бактерицидный эффект, для *B. cereus* IP 5832 минимальная ингибирующая концентрация (МИК) железа составила 0,063 М/л. В отношении действия цинка наблюдается аналогичная картина толерантности, исключение составляет *S. aureus*, для которого МИК составила 0,032 М/л. Из всех тестируемых соединений наиболее выраженным токсическим эффектом обладает CoSO₄ подавляющий рост тестируемых штаммов *B. subtilis* 534, *B. licheniformis* ВКПМ В 7038 в концентрациях до 0,032 М/л и *B. cereus* IP 5832 – до 0,016 М/л. Следует отметить, что штаммы *E. coli* и *S. aureus* обладают более высокими показателями резистентности, проявляя устойчивость к концентрациям сульфата кобальта 0,063 и 0,032 М/л соответственно. В ходе данного этапа определены рабочие концентрации исследуемых солей металлов для реализации следующего блока исследований.

Второй этап направлен на оценку степени влияния исследуемых металлов на антибиотикопродуктивность тестируемых в эксперименте транзиторных штаммов *Bacillus* sp. в отношении *E. coli* и *S. aureus*. Данный этап работы включал культивирование *B. subtilis* 534, *B. cereus* IP 5832 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038 в присутствии рабочих концентраций металлов, определенных на первом этапе исследования в течение 48 ч и интактных образцов (контроль роста). После культивирования отделялась биомасса клеток методом центрифугирования при 3000 оборотов/мин в течение 20 мин. В эксперименте использовали супернатант, отделенный от биомассы автоматической пипеткой. Для чистоты эксперимента контрольные и опытные образцы (культивирование в присутствии различных металлов) тестировали на одной чашки в 10 повторностях (определение статистически достоверных различий). После посева тест-культур *E. coli* и *S. aureus* на стерильные питательные среды микробиологическим пробойником в толще агаризованной пластинки вырезали лунки диаметром 5 мм, в которые вносили исследуемый супернатант к дозе 30 мкл.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о выраженном ингибирующем действии супернатанта полученного из контрольных образцов, при этом более выраженное действие регистрируется в отношении *S. aureus* (от 11,5 до 14,8 мм). Присутствие металлов негативно влияет на антагонистическую активность транзиторных штаммов. Так, присутствие Fe снижает показатели подавления роста на 10,81% ($p<0,05$), 7,52% ($p<0,05$) и 14,78% ($p<0,01$) для *B. subtilis* 534, *B. cereus* IP 5832 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038 соответственно. Присутствие Zn снижает биологическую активность штаммов на 37,16% ($p<0,01$), 35,34% ($p<0,05$), 45,22% ($p<0,01$) и Co – на 62,84% ($p<0,001$), 58,6% ($p<0,01$) и 53,91% ($p<0,01$) соответственно.

В отношении *E. coli* тестируемые штаммы проявляют менее выраженную биологическую активность (от 6,3 до 9,5 мм). Культивирование *B. cereus* IP 5832 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038 в присут-

ствии FeSO₄, активизировало уровень биологической активности на 24,60% ($p < 0,01$) и 26,88% ($p < 0,01$) соответственно. При этом биологическая активность *B. subtilis* 534 снизилась на 4,30%. Присутствие цинка не оказывает выраженного влияния на биологическую активность, разница между результатами средних показателей составляет менее 3,00% для всех транзиторных штаммов. Кобальт негативно влияет на антагонистическую активность, снижая показатели ингибирования роста *E. coli* на 33,39% ($p < 0,05$), 47,37% ($p < 0,01$) и 8,82% для *B. subtilis* 534, *B. cereus* IP 5832 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038 соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о выраженной антагонистической активности исследуемых транзиторных штаммов *Bacillus* sp. в отношении тест-организмов, при этом максимальные показатели регистрируются в отношении *S. aureus*. Однако присутствие металлов в субстрате оказывает негативное влияние на выработку антибиотикоподобных веществ, что визуально проявляется в достоверно значимом снижении зон ингибирования роста. Соединения цинка и кобальта аналогично влияют и в отношении *E. coli*, исключение составляет железо, которое, напротив, стимулирует ингибирующие характеристики *B. cereus* IP 5832 и *B. licheniformis* ВКПМ В 7038, что гипотетически можно охарактеризовать образованием ультрадисперсных металлокомплексов, увеличивающих проникновение биологически активных ингибиторов роста через защитные механизмы бактериальных клеток.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Santos J.E.Á., de Brito M.V., Pimenta A.T.Á., et al. Antagonism of volatile organic compounds of the *Bacillus* sp. against *Fusarium kalimantanense*. *World J Microbiol Biotechnol.* 2022; 39(2): 60. DOI: 10.1007/s11274-022-03509-9.

Podnar E., Erega A., Danevčič T., et al. Nutrient Availability and Biofilm Polysaccharide Shape the Bacillaene-Dependent Antagonism of *Bacillus subtilis* against *Salmonella typhimurium*. *Microbiol Spectr.* 2022; 10(6): e0183622. DOI: 10.1128/spectrum.01836-22.

Wróbel M., Śliwakowski W., Kowalczyk P., et al. Bioremediation of Heavy Metals by the Genus *Bacillus*. *Int J Environ Res Public Health.* 2023; 20(6): 4964. DOI: 10.3390/ijerph20064964.

INFLUENCE OF Fe, Zn, CO ON THE ANTAGONISTIC ACTIVITY OF PROBIOTIC STRAINS BACILLUS SP. IN A MODEL EXPERIMENT IN VITRO

A.N. Zdorov, M.M. Marinchev, T.A. Semynin

Orenburg State University,
Pobedy Ave., 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. The scientific literature presents numerous experimental data on the study of both antagonistic and sorption activity of representatives of the genus *Bacillus* sp. In our work, we carried out experimental studies to assess the degree of influence of essential elements from the group of heavy metals on the antagonistic activity of transient probiotic strains of *Bacillus* sp. The results of the study indicate a negative impact of excessive concentrations of metals on competitiveness indicators, characterized by a decrease in inhibitory characteristics in relation to test organisms. Fe has a positive effect on *E. coli*, which can hypothetically be characterized by the formation of ultradispersed metal complexes that increase the penetration of biologically active growth inhibitors through the protective mechanisms of bacterial cells.

KEYWORDS: iron, zinc, cobalt, copper, *Bacillus*, antibiotic productivity, *E. coli*, *S. aureus*.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-15

ОЦЕНКА ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА И ЖЕЛЕЗА

А.А. Иванова, Е.Н. Петрова

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, просп. Победы, д.13.

РЕЗЮМЕ. Исследовано действие ультрадисперсных частиц серебра и железа на патогенную почвенную биоту. Серебро обладает антимикробным и противогрибковым действием, которое обусловлено его способностью взаимодействовать с клетками патогенных микроорганизмов и нарушать их метаболизм. Выявлено, что ионы серебра, поглощаемые корнями растений, могут повышать активность ферментов и ускорять биохимические процессы, что приводит к улучшению обмена веществ и повышению устойчивости растений к различным неблагоприятным факторам.

Исследования серии разведений ультрадисперсных частиц серебра и оксида железа показали, что обработка семян пшеницы значительно снижает обсемененность посевного материала фитопатогенами. А наибольший фунгицидный эффект проявили ультрадисперсные частицы оксида железа в концентрации 10^{-4} мг/л.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фитопатогены, Ag, Fe₃O₄, *Triticum aestivum* L.

Для цитирования: Иванова А.А., Петрова Е.Н. Оценка фунгицидной активности ультрадисперсных частиц серебра и железа. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):36–37. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-15.

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство играет большую роль в жизни людей. Однако оно сталкивается с многочисленными серьезными проблемами глобального уровня. Например, болезни, вызываемые нематодами, бактериями, грибами, присутствующими в окружающей среде, приводят к значительным потерям урожая.

Одним из путей решения данной проблемы является применение ультрадисперсных частиц (УДЧ), в масштабе которых отношение площади поверхности к объему увеличивается, что делает реакции с внешними объектами более эффективными и способными оказывать на них угнетающее воздействие (Gordillo-Delgado et al., 2020).

Ионы серебра предотвращают репликацию бактериальной ДНК, связывая и вызывая денатурацию ДНК, что включает взаимодействие ионов серебра с тиоловыми белками, дальнейшую конденсацию ДНК и апоптоз. Исследователями показано, что УДЧ серебра обладают широким спектром противогрибковых свойств, в том числе против агрессивных грибковых инфекций, таких как *Candida albicans*, *C. tropicis*, *C. parapsilosis*, *C. glabrata*, *Trichophyton rubrum*, *Trichosporon sahii*., *A. niger*, *Rhizoctonia solani*, *Curvularia lunata*, *Colletotrichum* sp. и *Fusarium* sp. Они полимеризуют ДНК и ухудшает способность фитопатогена к размножению (Tariq et al., 2022). Кроме того, при применении УДЧ серебра повышается концентрация хлорофилла и биомасса проростков. Также происходит повышение устойчивости растений к жаре и солености (Santás-Miguel et al., 2023).

Синтезированные УДЧ оксида железа также оценивали на способность подавлять развитие фитопатогенов в отношении *Cladosporium herbarum*, *Trichothecium roseum*, *Penicillium chrysogenum*, *Alternaria alternata* и *Aspergillus niger*, вызывающих гнили фруктов и овощей. Установлено, что ультрадисперсные частицы подавляют рост грибов (Parveen et al., 2018). Также УДЧ оксида железа способствуют росту, регулируют содержание фитогормонов и активность антиоксидантных ферментов в растениях, что способствует улучшению доступности железа в почве и его накопление в клетках растений (Kaningini, 2021).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Оренбургском государственном университете проводили исследования по влиянию УДЧ серебра и оксида железа на зараженность семян пшеницы (*Triticum aestivum* L.) грибковыми заболеваниями, такими как фузариоз, корневая гниль, альтернариоз. Лиосоли УДЧ серебра и оксида железа

произведены компанией «Plasmotherm» (Москва, Россия). Навеску УДЧ вносили в объем деионизированной воды с последующей ультразвуковой обработкой в течение 35 мин, в дальнейшем из данного раствора готовили серию разведений с концентрацией УДЧ от 10^{-2} до 10^{-9} мг/л. Партии семян яровой пшеницы мягкой обрабатывали растворами УДЧ полным погружением в течение 15 мин с дальнейшим высушиванием зерновок, которые уже анализировали зараженность согласно ГОСТ 12044-93. Методы определения зараженности болезнями.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования показали, что использование УДЧ серебра и оксида железа для предпосевной обработки семян во всем диапазоне концентраций снижало обсемененность семян фитопатогенами. Наиболее выраженный фунгицидный эффект наблюдался при использовании УДЧ серебра и оксида железа в концентрации 10^{-4} мг/л. В этом варианте опыта снижение обсемененности зерновок составило 43% при использовании лиосолой оксида железа и 35% – серебра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов определения зараженности болезнями семян яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*), можно сделать вывод о том, что обработка семян пшеницы значительно снижает обсемененность посевного материала фитопатогенами. А наибольший фунгицидный эффект проявили ультрадисперсные частицы оксида железа в концентрации 10^{-4} мг/л.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Gordillo-Delgado F., Zuluaga-Acosta J., Restrepo-Guerrero G. Effect of the suspension of Ag-incorporated TiO₂ nanoparticles (Ag-TiO₂ NPs) on certain growth, physiology and phytotoxicity parameters in spinach seedlings. *PloS one*. 2020; 15(12): e0244511.

Santás-Miguel V., Arias-Estévez M., Rodríguez-Seijo A., Arenas-Lago D. Use of metal nanoparticles in agriculture. A review on the effects on plant germination. *Environmental pollution*. 2023; 334: 122222.

Tariq M., Mohammad K.N., Ahmed B., et al. Biological Synthesis of Silver Nanoparticles and Prospects in Plant Disease Management. *Molecules*. 2022; 27(15): 4754. DOI:10.3390/molecules27154754.

Parveen S., Wani A.H., Shah M.A., et al. Preparation, characterization and antifungal activity of iron oxide nanoparticles. *Microbial pathogenesis*. 2018; 115: 287–292. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.12.068.

Kaningini G.A., Azizi S., Nyoni H., et al. Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using bush tea (*Athrixia phylicoides* DC) natural extract: assessment of the synthesis process. *F1000Res*. 2021; 10: 1077. DOI:10.12688/f1000research.73272.4.

ГОСТ 12044-93. Методы определения зараженности болезнями [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294838/4294838870.htm> (дата обращения 12.04.2024). [GOST 12044-93. Methods for determining disease infection [Electronic resource]. Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294838/4294838870.htm> (accessed 12.04.2024). (In Russ.)].

ASSESSMENT OF FUNGICIDAL ACTIVITY OF ULTRA-DISPERSE PARTICLES OF SILVER AND IRON

A.A. Ivanova, E.N. Petrova

Orenburg State University,
Pobedy Ave. 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. The study analyzed the results of studies on the effect of ultrafine particles of silver and iron on pathogenic soil biota. Thus, Ag has an antimicrobial and antifungal effect, which is due to its ability to interact with the cells of pathogenic microorganisms and disrupt their metabolism. And the positive effect is that silver ions absorbed by plant roots can increase enzyme activity and accelerate biochemical processes. This leads to improved metabolism and increased plant resistance to various unfavorable factors.

Studies of a series of dilutions of ultrafine particles of silver and iron oxide showed that the treatment of wheat seeds significantly reduces the contamination of seed with phytopathogens. And the greatest fungicidal effect was shown by ultrafine particles of iron oxide at a concentration of 10^{-4} mg/l.

KEYWORDS: phytopathogens, Ag, Fe₃O₄, *Triticum aestivum L.*

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-16

ОЦЕНКА ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОУРОВНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАРГАНЦА НА ТЕЧЕНИЕ И ИСХОДЫ БЕРЕМЕННОСТИ

С.В. Нотова, Т.В. Казакова, О.В. Маршинская

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН,
Российская Федерация, 460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29

РЕЗЮМЕ. В ходе исследования оценивалось влияние хронического низкоуровневого воздействия марганца на течение и исходы беременности самок крыс Wistar. Для достижения поставленной цели самки крыс в пре- и гестационный период получали основной рацион с добавлением сульфата марганца в дозе 1433 мг/кг. Установлено, что у самок крыс опытной группы на фоне воздействия марганца отмечался более низкий индекс плодовитости (на 20%) и индекс беременности (ниже 11,5%) по сравнению с контролем. Сроки родов в опыте регистрировались раньше на 1,6 дня ($p \leq 0,05$) относительно контроля; масса тела новорожденных и их размер был достоверно меньше контрольных значений на 20% ($p \leq 0,05$); отмечалась отставание в физическом развитии потомства – на 2,5 суток позже происходило открытие глаз ($p \leq 0,05$), масса тела крыс на 1, 2, 4, 5, 7 и 8-ю недели постнатального развития достоверно была ниже контрольных значений на 19, 24, 37, 29, 35 и 39% соответственно. Таким образом, в ходе экспериментальной работы установлено, что воздействие марганца в пре- и гестационный периоды оказывает негативные последствия на показатели генеративной функции животных и отрицательно сказывается на физическом развитии потомства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: марганец, физиологическая беременность, физическое развитие, микроэлементы.

Для цитирования: Нотова С.В., Казакова Т.В., Маршинская О.В. Оценка хронического низкоуровневого воздействия марганца на течение и исходы беременности. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):38–39. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-16.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что марганец является эссенциальным микроэлементом, необходимым для нормального функционирования различных физиологических процессов, включая метаболизм аминокислот, липидов, белков и углеводов. Однако наравне с этим избыточное экзогенное воздействие данного химического элемента может привести к развитию системных нарушений в организме человека и животных.

Необходимо подчеркнуть, что особо опасно воздействие данного химического элемента в раннем онтогенезе – в период пренатального и раннего постнатального развития. Как известно, пренатальный период играет ключевую роль в развитии организма. На данном этапе плод наиболее уязвим и чувствителен к воздействию любых неблагоприятных факторов, включая избыточное поступление в материнский организм марганца.

Ц е л ь и с л е д о в а н и я – оценить эффекты хронического низкоуровневого воздействия марганца на течение и исходы беременности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили крысы Wistar. Самки крыс в возрасте 12 недель были разделены на контрольную ($n=20$) и опытную ($n=20$) группы. Животные опытной группы в течение 28 дней (прегестационный период) получали основной рацион (ОР) с добавлением сульфата марганца в дозе 1433 мг/кг. Животные контрольной группы находились на ОР. Далее с целью получения потомства интактных самцов подсаживали к самкам. Предполагаемых беременных самок крыс продолжали подвергать воздействию номинальных доз сульфата марганца в течение всего периода гестации. В течение пре- и гестационного периодов проводили оценку состояния репродуктивной системы животных, течение и исходы беременности.

С целью оценки способности к оплодотворению и зачатию были рассчитаны индексы плодовитости и беременности (Рыбалкин и др., 2013). С целью оценки влияния марганца на исход беременности оценивали массу тела самок крыс за время беременности, срок беременности, количество плодов в помете, вес новорожденных, размер плода, гибель новорожденных (Бережнова и др., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ

У самок крыс опытной группы на фоне субхронического перорального воздействия марганца в предгестационный период отмечался более низкий индекс плодовитости и индекс беременности (ниже на 20 и 11,5% соответственно) по сравнению с контролем.

При оценке воздействия марганца на течение и результаты беременности установлено, что беременность у животных протекала нормально, у потомства не обнаружено признаков физических аномалий при рождении, не зарегистрировано случаев мертворождения. Однако сроки родов в опыте регистрировались раньше на 1,6 дня ($p \leq 0,05$) относительно контроля; масса тела новорожденных и их размер был достоверно меньше контрольных значений на 20% ($p \leq 0,05$). Полученные результаты согласуются с работами ряда авторов, в которых продемонстрировано, что длительное воздействие марганца способно приводить к снижению фертильности животных (Souza et al., 2019). У потомства опытной группы на 2,5 суток позже происходило открытие глаз ($p \leq 0,05$), отмечалась тенденция к более позднему появлению шерстяного покрова и прорезыванию резцов при сравнении с контролем. Масса тела крыс на 1, 2, 4, 5, 7 и 8-ю недели постнатального развития достоверно оставалась ниже контрольных значений на 19, 24, 37, 29, 35 и 39% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе экспериментальной работы установлено, что воздействие марганца в пре- и гестационный периоды оказывает негативные последствия на показатели генеративной функции животных, что характеризуется снижением индекса плодовитости и беременности, а также отрицательно сказывается на физическом развитии потомства, что выражается ухудшением показателей массы тела и роста животных.

Исследования выполнены в соответствии с планом научно-исследовательских работ ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2022-0011).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Бережнова Т.А., Преображенская Н.С., Брездынюк А.Д. и др. Влияние сквалена на некоторые параметры состояния репродуктивной системы самок крыс в эксперименте. Вестник новых медицинских технологий. 2016; 23(4): 149–154. [Berezhnova T.A., Preobrazhenskaya N.S., Brezdynyuk A.D., et al. The influence of squalene on some parameters of the reproductive system of female rats in an experiment. Bulletin of new medical technologies. 2016; 23(4): 149–154. (In Russ.)].

Рыбалкин С.П., Ковалева Е.В., Гуськова Т.А. и др. Экспериментальная оценка влияния препарата Кагоцел на генеративную функцию животных. Токсикологический вестник. 2013; 119(2): 33–38. [Rybalkin S.P., Kovaleva E.V., Guskova T.A., et al. Experimental assessment of the effect of the drug Kagocel on the generative function of animals. Toxicological Bulletin. 2013; 119(2): 33–383. (In Russ.)].

Souza T.L., Batschauer A.R., Brito P.M., et al. Multigenerational analysis of the functional status of male reproductive system in mice after exposure to realistic doses of manganese. Food Chem Toxicol. 2019; 133: 110763.

ASSESSMENT OF CHRONIC LOW-LEVEL EXPOSURE TO MANGANESE ON THE COURSE AND OUTCOMES OF PREGNANCY

S.V. Notova, T.V. Kazakova, O.V. Marshinskaia

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS,
January 9, 29, Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. The study assessed the effect of chronic low-level exposure to manganese on the course and outcomes of pregnancy. To achieve this goal, female rats in the pre- and gestational period received a basic diet with the addition of manganese sulfate at a dose of 1433 mg/kg. It was found that female rats of the experimental group had a lower fertility index (by 20%) and pregnancy index (below 11.5%) compared to the control group against the background of manganese exposure. The delivery dates in the experiment were recorded earlier by 1.6 days ($p \leq 0.05$) relative to the control; the body weight of newborns and their size were significantly less than the control values by 20% ($p < 0.05$); there was a lag in the physical development of the offspring – 2.5 days later, eye opening occurred ($p < 0.05$), the weight of rats at the 1st, 2nd, 4th, 5th, 7th and 8th weeks of postnatal development was significantly below the control values on 19%, 24%, 37%, 29%, 35% and 39%, respectively. Thus, in the course of experimental work, it was found that exposure to manganese in the pre- and gestational periods has negative effects on the indicators of generative function of animals and negatively affects the physical development of offspring.

KEYWORDS: manganese, physiological pregnancy, physical development, trace elements.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-17

ВЛИЯНИЕ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ НА ГОМЕОСТАЗ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У КРЫС В 92-ДНЕВНОМ ПОДОСТРОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

**А.И. Колобанов, А.А. Шумакова, И.Е. Соколов,
В.А. Шипелин, И.В. Гмошинский, С.А. Хотимченко**

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи,
Российская Федерация, 109240, г. Москва, Устьинский проезд 2/14.

РЕЗЮМЕ. Бентонитовые глины (БГ), содержащиеся в диете и присутствующие в лекарственных препаратах, могут влиять на биодоступность макро- и микроэлементов. Методом ICP-MS исследовано содержание 30 химических элементов в печени и почках крыс, получавших БГ с рационом в дозе 1–100 мг/кг массы тела. Выявлено достоверное влияние БГ на бионакопление эссенциальных элементов Ca, P, K, Fe, Se и Zn, а также снижение содержания токсичного As в почках животных. Полученные данные целесообразно использовать при гигиеническом нормировании содержания наноглин в пищевой продукции, а также при разработке протоколов использования препаратов БГ в качестве энтеросорбентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глины, бентонит, пищевая продукция, микроэлементы, биодоступность, крысы.

Для цитирования: Колобанов А.И., Шумакова А.А., Соколов И.Е., Шипелин В.А., Гмошинский И.В., Хотимченко С.А. Влияние бентонитовой глины на гомеостаз микроэлементов у крыс в 92-дневном подостром эксперименте. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):40–42. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-17.

ВВЕДЕНИЕ

Бентонитовая глина (БГ), в том числе в наноформе, применяется во многих областях промышленности, в частности в пищевых производствах (Abdel-Wahhab et al., 2015; Anwerye et al., 2023), где она используется в качестве пищевой добавки E558 и компонента упаковочных материалов. Кроме того, БГ входят в состав адсорбентов (для очистки масел и напитков), носителей лекарств и витаминов (Rodrigues et al., 2013). Благодаря выраженным адсорбционным и ионообменным свойствам, БГ могут влиять на всасывание в кишечнике пищевых веществ и токсикантов (Damato et al., 2022). Вместе с тем вопрос о влиянии БГ на всасывание, биодоступность и бионакопление эссенциальных и токсичных макро- и микроэлементов изучен недостаточно. Цель работы – изучение влияния вводимой с рационом БГ на накопление элементов во внутренних органах крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали бентонитовую глину "Монамет 1Н1®" (производства АО "МЕТАКЛАЙ", Россия). Эксперимент проведен на 40 крысах-самцах Вистар (4 группы по 10 животных в каждой). В ходе работы соблюдали принципы биомедицинской этики (Директива 2010/63/EU, 2012). В течение 92 сут животные групп с 1-й по 4-ю получали полусинтетический сбалансированный рацион с добавлением БГ в дозах 0 (контроль); 1; 10 и 100 мг на 1 кг массы тела соответственно. Крыс выводили из эксперимента путем обескровливания из нижней полой вены под глубокой эфирной анестезией. Содержание 30 химических элементов (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Gd, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, V, Zn) в печени и почках крыс определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с использованием прибора серии 7700х (Agilent Technologies, Япония). Методика анализа подробно представлена ранее (Shumakova et al., 2020). Предел количественного определения (LOQ) для всех элементов составил 0,005 мг/кг влажной массы ткани. Статистическую обработку проводили с определением выборочного среднего, стандартной ошибки. Достоверность различий устанавливали согласно *t*-критерию Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$. Исключение выпадающих значений выполняли согласно критерию Граббса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание в органах крыс Ag, Be, Cd, La, Ce, Gd, Cs и Tl во всех случаях было ниже LOQ. В печени крыс, получавших БГ, наблюдалось статистически значимое дозозависимое снижение содер-

жания В, Са и Se по сравнению с контрольной группой (рисунок, а). Одновременно повышалось содержание Zn, Cr и Ni. В группе 2 (1 мг/кг) снижалось также содержание К, Mn и Rb, но эти эффекты не были дозозависимыми. В почках изменения минерального состава были более значительными и охватывали 13 элементов (рисунок, б). Так, отмечалось дозозависимое снижение под влиянием БГ содержания As, Са, Cr, Cu, Fe, К, Mg, Mn, Ni, Р, Se и Zn, а также В (данные не показаны).

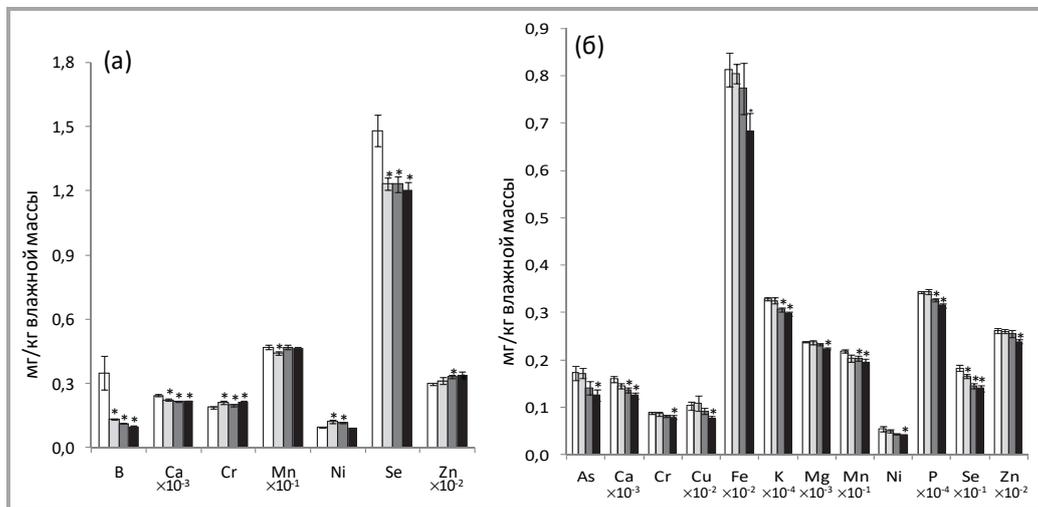


Рисунок. Содержание минеральных веществ в ткани печени и почек крыс по данным ICP-MS. Ось ординат – содержание, мг/кг массы тела, М±m. Ось абсцисс – элемент, масштаб (множитель) представляемых данных. * – различие с группой 1 достоверно, $p < 0,05$

Полученные данные свидетельствуют о выраженном влиянии потребления с рационом БГ на минеральный гомеостаз у экспериментальных животных. В ряде случаев (содержание К, Са, Р и Mg) эти изменения были небольшими по амплитуде, но, по-видимому, биологически значимыми, так как уровень этих эссенциальных макроэлементов в тканях жестко гомеостазуруется. В случае Se, Са и элемента с недостаточно установленной функцией – бора (В) их содержание согласованно снижалось в обоих органах, что может указывать на ухудшение биодоступности этих элементов, связанное с сорбционными свойствами БГ. Для таких переходных металлов, как Zn, Ni и Cr, изменения были неоднозначными, а именно: возрастание накопления в печени и снижение в почках, что может указывать на нарушение межорганного транспорта этих элементов вследствие изменений в экспрессии транспортных белков. Последнее обстоятельство, однако, требует отдельного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы показали, что при наибольшей дозе БГ, 100 мг/кг массы тела, наблюдаются наиболее существенные изменения в микроэлементном гомеостазе, включая снижение бионакопления таких эссенциальных элементов, как Са, Р, К, Fe, Se и Zn. В качестве положительного эффекта следует указать на снижение бионакопления в почках токсичного и канцерогенного элемента мышьяка (As). Полученные данные целесообразно использовать при гигиеническом нормировании остатков наноглин в пищевой продукции, а также в протоколах использования препаратов БГ в качестве энтеросорбентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных исследований в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (Тема № 0529-2019-0057 «Разработка системы качества и безопасности пищевой продукции, в том числе пищевых добавок и спиртосодержащих напитков, полученных биотехнологическими методами»); регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119032590091-4).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Директива 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. Санкт-Петербург: RusLASA. 2012; 50 с. [Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. (In Russ.)].

Abdel-Wahhab M.A., El-Nekeety A.A., Hathout A.S., et al. Preparation and characterization of organo-modified nano montmorillonite and evaluation of its ability to adsorb aflatoxins, fumonisins and zearalenone from aqueous solution. Nano Sci. Tech. Open Lib. 2015; 1(1): 27–34.

Anwer A.H., Ahtesham A., Shoeb M., et al. State-of-the-art advances in nanocomposite and bio-nanocomposite polymeric materials: A comprehensive review. Adv Colloid Interface Sci. 2023; 318: 102955.

Damato A., Vianello F., Novelli E., et al. Comprehensive review on the interactions of clay minerals with animal physiology and production. Front Vet Sci. 2022; 9: 889612.

Rodrigues L.A., Figueiras A., Veiga F., et al. The systems containing clays and clay minerals from modified drug release: A review. Colloids Surf. B Biointerfaces. 2013; 103: 642–651.

Shumakova A.A., Shipelin V.A., Trusov N.V., Gmshinski I.V. Content of essential and toxic trace elements in organs of obese Wistar and Zucker leprfa rats receiving quercetin. J. Trace Elem.Med. Biol. 2020; 64: 126687.

INFLUENCE OF BENTONITE CLAY ON HOMEOSTASIS OF MICROELEMENTS IN RATS IN A 92-DAY SUBACUTUS EXPERIMENT

*A.I. Kolobanov, A.A. Shumakova, I.E. Sokolov,
V.A. Shipelin, I.V. Gmshinski, S.A. Khotimchenko*

Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
Ust'insky proezd 2/14, Moscow, 109240, Russian Federation

ABSTRACT. Bentonite clays (BC) presented in food products and used in pharmaceuticals, can affect the bioavailability of essential and toxic elements contained in the diet. The content of 30 chemical elements in the liver and kidneys of rats that received BC with a diet at a dose of 1-100 mg/kg body weight for 92 days was studied using ICP-MS. A significant effect of BC on the bioaccumulation of essential elements such as Ca, P, K, Fe, Se and Zn, as well as a decrease in the content of toxic As in the kidneys of animals, was revealed. It is advisable to use the obtained data for hygienic regulation of the content of nanoclays in food products, as well as for the development of protocols for the use of BC preparations as enterosorbents.

KEYWORDS: clays, bentonite, food products, trace elements, bioavailability, rats.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-18

СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧНЫХ И НЕЗАМЕНИМЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПШЕНИЧНЫХ ОТРУБЯХ И МУКЕ

Е.С. Лукьянова, В.А. Федотов

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13

РЕЗЮМЕ. Цель исследования – изучение особенностей накопления химических элементов (Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu, Fe и Mn) в пшеничной муке и отрубях. На образцах зерна пшеницы Оренбургской области показаны особенности накопления токсичных и незаменимых микроэлементов в определенных частях зерна. Содержание кадмия в муке варьирует от 0,093 до 0,114 мг/кг, в отрубях – от 0,108 до 0,137 мг/кг. Содержание свинца в муке изменялось от 0,075 до 0,121 мг/кг, в отрубях – от 0,21 до 0,88 мг/кг. Концентрация железа в отрубях выше (от 12,43 до 240,46 мг/кг), чем в муке (от 6,74 до 20,07 мг/кг) в 2–10 раз. Концентрация цинка в муке ($6,154 \pm 0,313$ мг/кг) в среднем в 11 раз ниже, чем в отрубях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, зерновые, зерно, отруби, пшеница.

Для цитирования: Лукьянова Е.С., Федотов В.А. Содержание токсичных и незаменимых микроэлементов в пшеничных отрубях и муке. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):42–44. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-18.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница является одной из важнейших сельскохозяйственных культур в мире, поскольку выращивается в различных климатических условиях. Помол пшеничного зерна позволяет получить разные виды и сорта муки, а также побочные продукты переработки (отруби, зародыши и пр.). Зерно пшеницы

содержит макро- и микроэлементы, жизненно важные для человека в небольших количествах, но токсичные при определенных высоких дозировках (Kuramshina et al., 2018). Пищевая ценность и токсичность пищевых продуктов определяется содержанием в них химических элементов. Сельскохозяйственные удобрения, гербициды и пестициды, применяемые при возделывании зерновых культур, могут быть загрязнены токсичными элементами. Из-за медленного выведения из организма человека Pb, Cd, As и Hg вызывают канцерогенные и мутагенные эффекты, объясняемые острой интоксикацией, а также хронической токсичностью, обусловленной значительными дозами химических элементов, поступающих в организм в течение длительного периода времени (Singh et al., 2007).

Поскольку продукция из пшеницы составляет существенную часть ежедневного рациона населения (хлебобулочные, макаронные, мучные кондитерские изделия и пр.), присутствие в зерне пшеницы токсичных элементов может наносить вред здоровью человека. Безопасная концентрация в муке Pb, Cd, Hg и As составляет 0,4, 0,1, 0,05 и 1 мг/кг сухого вещества соответственно (Hea et al., 2005).

Цель исследования – изучение особенностей накопления в пшеничной муке и отрубях вредных (Pb, Cd, As и Hg) и незаменимых (Zn, Cu, Fe и Mn) элементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы пшеницы были собраны в десяти местах по всей территории Оренбургской области. С каждого участка отбирали по 30 отдельных проб, они были смешаны для получения репрезентативного образца. Отруби и муку 60% выхода получили на лабораторной мельнице Quadrumat Senior. Образцы анализировали в зависимости от типа элементов и их концентрации с помощью масс-спектрометрии Nexion 300 ICP-MS.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание Cd в анализируемых образцах муки изменялось от 0,093 до 0,114 мг/кг. Концентрация Cd, обнаруженная в отрубях (от 0,107 до 0,137 мг/кг), оказалась выше предельно допустимой концентрации (0,05 мг/кг) из-за фосфорных удобрений, используемых в сельскохозяйственном производстве. Содержание Pb в муке изменялось от 0,075 до 0,121 мг/кг (средние значения $0,107 \pm 0,025$ мг/кг). Концентрация Pb в отрубях составляла от 0,21 до 0,88 мг/кг. Средний диапазон содержания Pb, As и Hg в образцах отрубей и муки находился в пределах допустимых значений, установленных нормативными актами. Принимая во внимание токсическое и кумулятивное воздействие, которое эти элементы могут оказывать на организм человека, необходимо постоянно контролировать и определять их содержание. Результаты показывают, что концентрация Zn в муке в 11 раз ниже, чем в отрубях. Концентрация Zn уравнивается между концентрациями, выявленными в тестируемых образцах муки, и концентрациями, обнаруженными в ранее проведенных тестах, где среднее содержание Zn в пшеничной муке составляло $6,154 \pm 0,313$ мг/кг. Согласно полученным результатам, содержание Fe в отрубях варьировалось от 12,43 до 240,46 мг/кг, в то время как в пшеничной муке оно составляло от 6,74 до 20,07 мг/кг. Результаты показывают, что концентрация Fe в отрубях выше, чем в муке. Исследовали реакции разных генотипов (сортов) пшеницы на применение различных видов удобрений и пришли к выводу, что минеральное питание значительно повлияло на рост пшеницы, концентрацию Fe в зерне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание кадмия в муке варьирует от 0,093 до 0,114 мг/кг, в отрубях – от 0,108 до 0,137 мг/кг, свинца в муке – от 0,075 до 0,121 мг/кг, в отрубях – от 0,21 до 0,88 мг/кг. Концентрация железа в отрубях выше (от 12,43 до 240,46 мг/кг), чем в муке (от 6,74 до 20,07 мг/кг) в 2–10 раз. Концентрация цинка в муке ($6,154 \pm 0,313$ мг/кг) в среднем в 11 раз ниже, чем в отрубях. Полученные результаты позволяют судить о степени накопления токсичных и незаменимых микроэлементов в зерне, что дает возможность вырабатывать экологически чистую продукцию, предотвращая внедрение токсикантов в пищевые цепочки. Минеральное питание значительно влияет на рост пшеницы, концентрацию токсичных и незаменимых микроэлементов в пшеничных отрубях и муке.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Kuramshina Z.M., Smirnova Yu.V., Khairullin R.M. Cadmium and nickel toxicity for *Sinapis alba* plants inoculated with endophytic strains of *Bacillus subtilis*. Russian Journal of Plant Physiology. 2018; 65(2): 269–277.

Singh D., Nath K., Sharma Y.K. Response of wheat seed germination and seedling growth under copper stress. J. Environ. Biol. 2007; 28: 409–414.

Hea Z.L., Yanga X.E., Stoffellab P.J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2005; 19: 125–140.

THE CONTENT OF TOXIC AND ESSENTIAL TRACE ELEMENTS IN WHEAT BRAN AND FLOUR

E.S. Lukyanova, V.A. Fedotov

Orenburg State University,
Pobedy Ave 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. The aim of the study was to study the content of toxic elements (Pb, Cd, As and Hg) and essential elements (Zn, Cu, Fe and Mn) in wheat flour and bran. Wheat grain samples from the Orenburg region show the features of accumulation of toxic and essential trace elements in certain parts of the grain. The cadmium content in flour varies from 0.093 to 0.114 mg/kg, in bran – from 0.108 to 0.137 mg/kg. The lead content in flour varied from 0.075 to 0.121 mg/kg, in bran – from 0.21 to 0.88 mg/kg. The concentration of iron in bran is higher (from 12.43 to 240.46 mg / kg) than in flour (from 6.74 to 20.07 mg / kg) by 2-10 times. The zinc concentration in flour ($6,154 \pm 0.313$ mg/kg) is on average 11 times lower than in bran.

KEYWORDS: heavy metals, cereals, grains, bran, wheat.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-19

СНИЖЕНИЕ ОПАСНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ

Е.С. Лукьянова, В.А. Федотов

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13

РЕЗЮМЕ. Растения со значительной способностью к накоплению тяжелых металлов могут быть использованы для биологической очистки почв и уменьшения их накопления в зерновых культурах. Результаты исследований показывают, что уменьшение содержания токсикантов в зерне пшеницы может быть достигнуто за счет оптимизации экологии почв в результате выращивания на них бобовых многолетних трав. В частности, наименьшая концентрация соединений свинца в зерне озимой пшеницы наблюдалась после выращивания предшественника эспарцета песчаного – 1,59 мг/кг, кадмия – после козлятника восточного – 0,14 мг/кг, меди и цинка – после клевера лугового – 3,89 и 21,65 мг/кг соответственно.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, зерновые, зерно, пшеница.

Для цитирования: Лукьянова Е.С., Федотов В.А. Снижение опасности накопления тяжелых металлов в зерне пшеницы. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):44–46. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-19.

ВВЕДЕНИЕ

В мониторинге токсикантов биосферы следует особое внимание уделять химическим соединениям тяжелых металлов, которые при поступлении в почву встраиваются в биогеохимические процессы метаболизма растений. Разные растения в различной степени проявляют аккумуляционную способность к тяжелым металлам. Например, поглощение зеленой массой растений свинца даже при большом содержании его в почве не происходит, поскольку чаще всего свинец находится в формах, плохо растворимых в воде, накопление его растениями затруднено. Цинк гораздо лучше аккумулируется растениями, а медь и кадмий, плохо накапливаясь в растениях, надолго задерживаются, аккумулируясь в организмах животных. Свинец и кадмий являются довольно токсичными веществами, обладая тератогенной и мутагенной активностью. Поступление в окружающую среду этих металлов в отдельных регионах может достигать критического уровня, встраиваясь в пищевые цепочки, затрагивая всю биосферу, что оказывает негативное влияние и на здоровье людей (Singh et al., 2007).

Растения, способные в значительной степени к аккумуляции тяжелых металлов, могут быть использованы для очистки почвы и снижения накопления зерновыми культурами токсикантов. Перспективным направлением является фиторемедиация, основанная на использовании растений для очистки территорий от тяжелых металлов, радионуклидов, пестицидов и других веществ (Abbas et al., 2017). Основной задачей фиторемедиации является отбор растений – гипераккумуляторов тяжелых металлов. Учитывая положительное влияние выращивания многолетних трав на плодородие почв, можно предположить уменьшение содержания тяжелых металлов в растениях последующих культур в севообороте после выращивания трав из-за повышенного накопления в тканях трав тяжелых металлов (Chandra et al., 2009).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в течение 2015–2023 гг. в Оренбургской области. Оценивали воздействие на ассимиляцию озимой пшеницей токсикантов (тяжелых металлов) различных многолетних трав, выращиваемых на пахотных почвах годом ранее. Изучали следующие предшественники озимой пшеницы: люцерну посевную, клевер луговой, эспарцет песчаный, донник белый, лядвенец рогатый, козлятник восточный, а также контрольные сорта кукурузы на содержание в зерне пшеницы свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu) и цинка (Zn). Определение содержания тяжелых металлов в зерне выполняли атомно-абсорбционным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интенсивное использование химикатов в сельском хозяйстве на исследуемых почвах в предыдущие годы приводило к аккумуляции озимой пшеницей тяжелых металлов и в большой степени зависело от предшественника.

В частности, содержание свинца в озимой пшенице, выращенной после кукурузы, составило 3,90 мг/кг. Выращивание озимой пшеницы после лотоса рогового способствовало снижению содержания свинца на 42,9%, донника обыкновенного – на 46,8%, клевера лугового – на 57,6%, эспарцета песчаного – на 59,4% меньше, чем после кукурузы. Самое низкое содержание свинца в зерне озимой пшеницы наблюдалось после предшественника эспарцета песчаного – 1,59 мг/кг, после клевера лугового – на 5,5% больше, козлятника восточного – на 13,8% больше, люцерны посевной – на 15,2% больше, донника обыкновенного – на 23,8% больше и лотоса рогатого – на 29,3% больше.

Содержание кадмия в озимой пшенице, выращенной после кукурузы, составило 0,34 мг/кг. Возделывание озимой пшеницы после предшественника козлятника восточного позволило снизить содержание кадмия на 61,7%, после люцерны посевной и клевера лугового – на 53,1%, после эспарцета песчаного и донника белого – на 50,1%, а после лядвенца рогатого – на 41,3% меньше, чем у озимой пшеницы, выращиваемой после кукурузы. Наименьшее содержание кадмия в зерне озимой пшеницы было после предшественника козлятника восточного – 0,14 мг/кг, после предшественника люцерны посевной и клевера лугового – на 18,7% больше, после эспарцета песчаного и донника обыкновенного – на 23,4% и после лядвенца рогатого – на 35,1% больше, чем после козлятника восточного.

Выращивание озимой пшеницы после кукурузы обеспечивает содержание меди в зерне на уровне 9,91 мг/кг. При выращивании пшеницы после предшественника клевера лугового содержание меди в зерне снижается на 60,8% после эспарцета песчаного – на 60,8%, козлятника восточного – на 59,2%, люцерны посевной – на 57,9%, донника белого – на 56,7% и лядвенца рогатого – на 53,6% меньше, чем после кукурузы.

Выращивание озимой пшеницы после кукурузы позволяет получить зерно с содержанием цинка 39,95 мг/кг. Самое низкое содержание цинка в зернах озимой пшеницы обнаружено после предшественника клевера лугового – 21,65 мг/кг, после эспарцета песчаного – на 2,5% больше, лядвенца рогатого – на 4,3%, донника белого – на 10,6%, люцерны посевной – на 13,1% и после козлятника восточного – на 14,3% больше, чем после клевера лугового.

Таким образом, выращивание пшеницы после люцерны посевной позволяет обеспечить наименьшее накопление свинца, кадмия, меди и цинка; выращивание пшеницы после лядвенца рогатого обеспечивает наибольшее накопление пшеницей свинца, кадмия, меди и цинка; выращивание пшеницы после эспарцета песчаного обеспечивает наивысшее накопление цинка; выращивание пше-

ницы после традиционного предшественника кукурузы обеспечивает более высокую скорость накопления всех исследованных тяжелых металлов, чем ее выращивание после зернобобовых многолетних трав в 1,1–2,9 раза. Свинец и кадмий поглощаются из почвы в небольших количествах, в то время как поглощение меди и цинка является значительным, что определяет важность этих элементов для роста и развития растений озимой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной задачей фиторемедиации является отбор растений-гипераккумуляторов тяжелых металлов с целью удаления их с загрязненных территорий. Результаты исследований показывают, что снижение интенсивности накопления тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы обусловлено оптимизацией агроэкологического состояния почвы после выращивания бобовых многолетних трав, что способствовало значительному снижению содержания тяжелых металлов в зерне. Так, самое низкое содержание свинца в зернах озимой пшеницы наблюдалось после предшественника эспарцета песчаного – 1,59 мг/кг, кадмия после козлятника восточного – 0,14 мг/кг, меди и цинка – после клевера лугового – 3,89 и 21,65 мг/кг соответственно. Это определяется более низким содержанием подвижных форм тяжелых металлов в почве, коэффициентом их накопления, более высоким содержанием гумуса, подвижного фосфора, оптимальной реакцией почвенного раствора pH после этих трав.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Singh D., Nath K., Sharma Y.K. Response of wheat seed germination and seedling growth under copper stress. J. Environ. Biol. 2007; 28: 409–414.

Abbas Q., Yousaf B., Liu G., et al. Evaluating the health risks of potentially toxic elements through wheat consumption in multi-industrial metropolis of Faisalabad, Pakistan. Environ Sci Pollut Res. 2017; 24: 26646–26657.

Chandra R., Bharagava R.N., Yadav S., Mohan D. Accumulation and distribution of toxic metals in wheat (*Triticum aestivum* L.) and Indian mustard (*Brassica campestris* L.) irrigated with distillery and tannery effluents. J Hazard Mater. 2009; 162: 1514–1521.

REDUCING THE RISK OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN WHEAT GRAIN

E.S. Lukyanova, V.A. Fedotov

Orenburg State University,
13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Plants capable of accumulating heavy metals in large quantities can be used for biological soil purification and to reduce their accumulation in grain crops. The research results show that the decrease in the intensity of accumulation of heavy metals in winter wheat grain is due to the optimization of the agroecological state of the soil after growing legumes of perennial grasses, which contributed to a significant decrease in the content of heavy metals in grain. In particular, the lowest lead content in winter wheat grains was observed after the precursor of sandy esparcet – 1.59 mg/kg, cadmium after eastern goat – 0.14 mg/kg, copper and zinc after meadow clover – 3.89 and 21.65 mg/kg, respectively.

KEYWORDS: heavy metals, cereals, grains, wheat.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-20

БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПШЕНИЦЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ МЕДИ И ЦИНКА

Е.С. Лукьянова, В.А. Федотов

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. В настоящее время концентрация тяжелых металлов, таких как цинк и медь, в окружающей среде увеличивается, главным образом из-за деятельности человека. Цинк и медь являются важными элементами для ряда биохимических процессов в растениях. Биохимические параметры исследованы у 30-дневной пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в ответ на стресс от воздействия меди и цинка в высоких концентрациях. У растения наблюдалось замедление роста, снижение содержания хлорофилла, углеводов, белка. При высоких концентрациях меди и

цинка содержание углеводов в листьях значительно снижалось (контроль – 2,56 мг/г, 1 г меди – 2,32 мг/г, 2 г меди – 1,52 мг/г, 5 г меди – 1,02 мг/г, 1 г цинка – 2,45 мг/г, 2 г цинка – 1,87 мг/г, 5 г цинка – 1,15 мг/г).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, зерновые, зерно, пшеница.

Для цитирования: Лукьянова Е.С., Федотов В.А. Биохимические изменения в пшенице под действием различных доз меди и цинка. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):46–48. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-20.

ВВЕДЕНИЕ

Такие металлы, как кобальт, железо, марганец, медь и цинк, необходимы для жизнедеятельности растений, но требуются в очень малых или в следовых количествах и становятся токсичными при более высоких концентрациях. Тяжелые металлы, накапливаемые в избытке в тканях растений, могут вызывать изменения в физиологических процессах, таких как фотосинтез и биосинтез хлорофилла, а также целостность клеточных мембран (Asgharipour et al., 2011). Накопление металлов и их токсическое воздействие на пищевые цепочки может привести к серьезным экологическим проблемам.

Цинк является значимым элементом для многих биохимических процессов, таких как выработка хлорофилла, активация ферментов, а также важным фактором, ограничивающим устойчивое производство сельскохозяйственных культур на дефицитных почвах (Bouazizi et al., 2010). Токсичность цинка вызывает хлороз листьев, возможно, это связано с дефицитом железа или магния, поскольку эти три металла имеют одинаковые ионные радиусы. Медь также является одним из важнейших микроэлементов для роста растений (Dhankhar et al., 2011). Избыток меди может вызывать угнетение роста корней и нарушение проницаемости плазматической мембраны, что приводит к утечке ионов.

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – определение влияния меди и цинка на пшеницу в различных концентрациях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на сорте пшеницы Оренбургская 13. Изучали устойчивость пшеницы к меди и цинку при обработке почвы: при низких (1 г, то есть 150 ppm, 2 г, то есть 300 ppm) и при высоких (5 г, то есть 600 ppm) концентрациях в 8 кг почвы. В качестве контроля взята необработанная почва. Через 30 дней отбирали образцы для биохимических исследований. Анализы на тяжелые металлы проводили с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра. Содержание хлорофилла измеряли спектрофотометрическим методом при длинах волн 663, 646 и 470 нм. Общее количество белков определяли по методу Брэдфорда, используя бычий сывороточный альбумин в качестве стандарта. Светопоглощение регистрировали при 595 нм. Содержание углеводов в образцах устанавливали фенол-серно кислотным анализом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучено воздействие тяжелых металлов (медь и цинк) на различные параметры пшеницы: высоту растений, содержание хлорофилла А и В, каротиноидов, белка, углеводов. Растения пшеницы поглощали меньше цинка по сравнению с медью. Концентрации цинка и меди составили 80 и 21 ppm соответственно в 5 г обработанной почвы. После 30 дней роста пшеницы скорость накопления ею цинка и меди была выше при более высоких концентрациях металлов.

С увеличением концентрации цинка в почве длина побегов увеличивалась более значительно, чем с повышением содержания меди (длина побега, контроль – 25,2 мм, 1 г меди – 26,2 мм, 2 г меди – 24,2 мм, 5 г меди – 22,7 мм, 1 г цинка – 27,6 мм, 2 г цинка – 25,8 мм, 5 г цинка – 24,9 мм). При увеличении концентрации цинка наблюдалось значительное увеличение длины побегов и корней. Но при более высокой концентрации не происходило существенного изменения длины побегов пшеницы из-за токсичности цинка и меди. Цинк способствовал увеличению высоты растений за счет увеличения расстояния между междоузлиями. Высота растений, количество листьев, число удлиненных междоузлий не изменялись при содержании меди в почве ниже 200 мг/кг, но значительно снижались при содержании этого элемента выше 400 мг/кг

Различные абиотические стрессы снижают содержание хлорофилла в растениях. Растения пшеницы, обработанные медью и цинком, проявляли ингибирующий эффект в отношении содержания хлорофилла А и В, каротиноидов при высоких концентрациях этих элементов по сравнению с кон-

тролем. Медь более токсична, чем цинк, с точки зрения ингибирования хлорофилла (в среднем в 1,5-2 раза). Следовательно, снижение содержания хлорофилла может привести к нарушению процессов фотосинтеза. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях проростков пшеницы увеличивалось до 1 г цинка. Дальнейшее повышение уровня цинка снижало содержание хлорофилла и каротиноидов. Повышенное содержание хлорофилла и каротиноидов, очевидно, связано с тем, что цинк в низких концентрациях действует как структурный и каталитический компонент белков, ферментов для нормального развития биосинтеза пигментов.

Тяжелые металлы также влияли на накопление углеводов в листьях пшеницы. При высоких концентрациях меди и цинка содержание углеводов значительно снижалось (контроль – 2,56 мг/г, 1 г меди – 2,32 мг/г, 2 г меди – 1,52 мг/г, 5 г меди – 1,02 мг/г, 1 г цинка – 2,45 мг/г, 2 г цинка – 1,87 мг/г, 5 г цинка – 1,15 мг/г). Общее содержание растворимых сахаров в растениях, обработанных медью, ниже, чем в растениях, обработанных цинком. Наблюдаемое снижение общего содержания сахара при высоком содержании цинка может быть связано с его влиянием на ферментативные реакции, связанные с циклами катаболизма углеводов.

Результаты анализов показывают, что содержание белка снижается с увеличением концентрации меди и цинка (контроль – 25,8 мг/г, 1 г меди – 24,2 мг/г, 2 г меди – 16,4 мг/г, 5 г меди – 9,2 мг/г, 1 г цинка – 24,9 мг/г, 2 г цинка – 18,2 мг/г, 5 г цинка – 10,4 мг/г). Содержание белка в растениях, обработанных медью, ниже, чем в растениях, обработанных цинком, и в контрольных растениях. Содержание аминокислот и белка отмечалось высоким при более низких концентрациях цинка (10 и 25 мг/л), далее значения снижались с увеличением уровня цинка. Ингибирование избытка цинка в аминокислотах и белках может быть связано со связыванием металлов с сульфгидрильной группой белка и вызывать вредный эффект в обычной белковой форме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Присутствие меди и цинка в низких концентрациях (до 300 ppm) благоприятно для роста растений, но высокая концентрация меди и цинка в почве токсична, что приводит к торможению роста, повреждению структуры растений, снижению физиологических и биохимических показателей жизнедеятельности пшеницы. Результаты опытов убедительно показали, что при высоких концентрациях меди и цинка рост пшеницы снижался, содержание хлорофилла, белка, углеводов уменьшалось.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Asgharipour M.R., Khatamipour M., Razavi-Omrani M. Phytotoxicity of Cadmium on Seed Germination, Early Growth, Proline and Carbohydrate Content in Two Wheat Varieties. *Advances in Environmental Biology*. 2011; 5(4): 559–565.
- Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A. and Ferjani, E.E.I. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. *Ecotox. Environ. Saf.* 2010; 73: 1304–1308.
- Dhankhar R. and Solanki R. (2011) Effect of copper and zinc toxicity on physiological and biochemical parameters in *Vigna mungo* (L.) Hepper. *International Journal of Pharma and Bio Sciences.*, 2(2), 553–565.

BIOCHEMICAL CHANGES IN WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF DIFFERENT DOSES OF COPPER AND ZINC

E.S. Lukyanova, V.A. Fedotov

Orenburg State University,
13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Currently, the concentration of heavy metals such as zinc and copper in the environment is increasing, mainly due to human activity. Zinc and copper are important elements for a number of biochemical processes in plants. Biochemical parameters were studied in 30-day wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to Cu and Zn stress. The plant had a decrease in growth, the content of chlorophyll, carbohydrates, and protein. At high concentrations of Cu and Zn, the carbohydrate content in the leaves decreased significantly (control – 2.56 mg/g, 1 g of copper – 2.32 mg/g, 2 g of copper – 1.52 mg/g, 5 g of copper – 1.02 mg/g, 1 g of zinc – 2.45 mg/g, 2 g of zinc – 1.87 mg/g, 5 g of zinc – 1.15 mg/g). At high concentrations of Cu and Zn, the carbohydrate content in the leaves decreased significantly (control – 2.56 mg/g, 1 g of copper – 2.32 mg/g, 2 g of copper – 1.52 mg/g, 5 g of copper – 1.02 mg/g, 1 g of zinc – 2.45 mg/g, 2 g of zinc – 1.87 mg/g, 5 g of zinc – 1.15 mg/g).

KEYWORDS: heavy metals, cereals, grains, wheat.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-21

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКИХ ФОРМ МЕДИ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС ЛИНИИ SHR ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОЙ ДИЕТЫ

М.К. Молчанов¹, С.В. Нотова², О.В. Маршинская², Т.В. Казакова²

¹ Стоматологическая клиника ООО «Максидент»,
Российская Федерация, 460000, г. Оренбург,

² ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13

РЕЗЮМЕ. До недавнего времени элементный гомеостаз оценивали по общему содержанию химических элементов в различных биосубстратах, однако исследования последних лет показали, что изменения уровня микроэлементов даже в диапазоне нормальных значений сопровождается их перераспределением по различным белковым фракциям. В связи с этим целью данного исследования явилось изучение влияния высококалорийной диеты на особенности обмена меди в сыворотке крови. Животные были разделены на две группы: I группа (контрольная) получала общий рацион, II группа (опытная) получала высококалорийную диету. Общий рацион имел калорийность 270 ккал/100 г. Высококалорийная диета основана на добавлении к общему рациону свиного сала, кокосового и подсолнечного масел, в воду добавлялась фруктоза. На протяжении 12 недель калорийность ступенчато увеличивалась на 30, 60 и 90% от калорийности общего рациона. Анализ форм меди выполнен посредством разделения сыворотки крови на фракции с последующим определением содержания металла в каждой фракции методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Разделение проводили с помощью системы для высокоэффективной жидкостной хроматографии. В опытной группе выявлено увеличение уровня транскупруинового фракции меди с 8 до 24%, низкомолекулярных форм меди с 5 до 15% на фоне снижения церулоплазминовой фракции меди с 65 до 43% и альбуминовой фракции меди с 22 до 18%. Оценка медных фракций в сыворотке крови позволила выявить наличие нарушений метаболизма данного металла при высококалорийной диете на этапе, предшествующем достоверным изменениям общей концентрации элемента в сыворотке крови.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроэлементы, высококалорийная диета, крысы, медь.

Для цитирования: Молчанов М.К., Нотова С.В., Маршинская О.В., Казакова Т.В. Оценка химических форм меди в сыворотке крови крыс линии SHR при воздействии высококалорийной диеты. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):49–51. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-21.

ВВЕДЕНИЕ

Основной путь поступления химических элементов в организм – алиментарный, поэтому полноценное и сбалансированное питание является главным фактором адекватной обеспеченности организма макро- и микроэлементами (Драпкина и др., 2021). Однако питание современного человека характеризуется беспрецедентно избыточным уровнем потребления высококалорийной пищи (Батурин и др., 2020). До недавнего времени элементный гомеостаз оценивали по общему содержанию химических элементов в различных биосубстратах, однако исследования последних лет показали, что изменения уровня микроэлементов даже в диапазоне нормальных значений сопровождается их перераспределением по различным белковым фракциям (Maass et al., 2020). Анализ химических форм элементов является современным подходом в изучении элементного статуса организма. Данный вид анализа обеспечивает информацию, необходимую для описания эффектов химических форм элементов, которая недоступна при определении валового содержания элементов.

Ц е л ь и с л е д о в а н и я – изучение влияния высококалорийной диеты на особенности обмена меди в сыворотке крови.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на крысах-самцах линии SHR ($n=30$) с исходной массой тела 160–180 г. Животные были разделены на две группы: I группа (контрольная) получала общий рацион, II группа (опытная) получала высококалорийную диету. Общий рацион имел калорийность 270 ккал/100 г. Высококалорийная диета основана на добавлении к общему рациону свиного сала, кокосового и подсолнечного масел, в воду добавлялась фруктоза. На протяжении 12 недель калорийность ступенчато уве-

личивалась на 30, 60 и 90% от калорийности общего рациона. Определение содержания индивидуальных соединений меди с высоко- и низкомолекулярными биологическими лигандами проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на комбинации хроматографа PerkinElmer S200 (США) и масс-спектрометра NexION 300D (PerkinElmer, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований показали, что при ступенчатом увеличении калорийности рациона увеличивалась масса тела лабораторных животных опытной группы относительно контрольной группы. В среднем к 12-й недели превышение идеальной массы тела (контрольной) у животных опытной группы составляло около 60%, что указывает на развитие ожирения. Общая концентрация меди в сыворотке крови у животных опытной группы не претерпела значительных изменений относительно контрольной группы. Однако произошло изменение соотношения медных фракций на фоне высококалорийной диеты. В сыворотке крови выявлено четыре медьсодержащих фракций: транскупреин, церулоплазмин, альбумин и низкомолекулярные формы меди.

В опытной группе SHR наблюдалось увеличение уровня транскупреиновой фракции меди с 8 до 24%, низкомолекулярных форм меди с 5 до 15% на фоне снижения церулоплазминовой фракции меди с 65 до 43% и альбуминовой фракции меди с 22 до 18%. Снижение церулоплазминовой фракции меди может свидетельствовать о повышении пула свободной каталитически активной меди, обладающей выраженными прооксидантными и провоспалительными свойствами. Оценка медных фракций в сыворотке крови позволила выявить наличие нарушений метаболизма данного металла при высококалорийной диете на этапе, предшествующем достоверным изменениям общей концентрации в сыворотке крови.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные в ходе исследования изменения металло-лигандных фракций меди свидетельствует о высоком потенциале оценки форм химических элементов в сыворотке крови, что позволит прогнозировать и проводить коррекцию обмена химических элементов значительно раньше изменения их валовой сывороточной концентрации и развития клинических проявлений дисэлементозов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Драпкина О. М., Карамнова Н. С., Концевая А. В. и др. Алиментарно-зависимые факторы риска хронических неинфекционных заболеваний и привычки питания: диетологическая коррекция в рамках профилактического консультирования. Методические рекомендации. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021; 20(5): 2952. [Drapkina O. M., Karamnova N. S., Kontseva A.V. I dr. Alimentary-dependent risk factors for chronic non-communicable diseases and eating habits: dietary correction within the framework of preventive counseling. Methodological recommendations. Cardiovascular therapy and prevention. 2021; 20(5): 2952. (In Russ.)].

Батурин А.К., Мартинчик А.Н., Камбаров А.О. Структура питания населения России на рубеже XX и XXI столетий. Вопросы питания. 2020; 89(4): 60–70. [Baturin A.K., Martinchik A.N., Kambarov A.O. The structure of nutrition of the Russian population at the turn of the XX and XXI centuries. Nutrition issues. 2020; 89(4): 60–70. (In Russ.)].

Maass F., Michalke B., Willkommen D., et al. Selenium speciation analysis in the cerebrospinal fluid of patients with Parkinson's disease. J Trace Elem Med Biol. 2020; 57: 126412.

EVALUATION OF THE CHEMICAL FORMS OF COPPER IN THE BLOOD SERUM OF SHR RATS EXPOSED TO A HIGH-CALORIE DIET

M.K. Molchanov¹, S.V. Notova², O.V. Marshinskaia², T.V. Kazakova²

¹ Dental clinic «Maxident»,
Orenburg, 460000, Russian Federation

² Orenburg State University,
13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Until recently, elemental homeostasis was assessed by the total content of chemical elements in various bi-substrates, however, recent studies have shown that changes in the level of trace elements, even in the range of normal values, are accompanied by their redistribution to various protein fractions. In this regard, the purpose of this study was to study the effect of a high-calorie diet on the metabolism of trace elements, taking into account the study of chemical forms of copper in blood serum. The animals were divided into two groups: group I (control) received a general diet, group II (experimental)

received a high-calorie diet. The total diet had a calorie content of 270 kcal/ 100 g. A high-calorie diet is based on the addition of lard, coconut and sunflower oils to the general diet, fructose was added to the water. Over the course of 12 weeks, the caloric content increased stepwise by 30%, 60% and 90% of the caloric content of the total diet. The analysis of copper forms was performed by dividing blood serum into fractions, followed by determination of the metal content in each fraction by inductively coupled plasma mass spectrometry. The separation was carried out using a system for high-performance liquid chromatography. In the experimental group, an increase in the level of the transcuprein fraction of copper from 8% to 24%, low molecular forms of copper from 5% to 15% was revealed against the background of a decrease in the ceruloplasmin fraction of copper from 65% to 43% and the albumin fraction of copper from 22% to 18%. Evaluation of copper fractions in blood serum revealed the presence of metabolic disorders of this metal with a high-calorie diet at the stage preceding significant changes in the total concentration in blood serum.

KEYWORDS: trace elements, high-calorie diet, rats, copper.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-2-22

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЫВОРОТКИ КРОВИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА РАЗНЫХ ПОРОД

С.В. Нотова, О.В. Маршинская, Т.В. Казакова

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29

РЕЗЮМЕ. Проблема содержания химических элементов в организме сельскохозяйственных животных и в животноводческой продукции является крайне актуальной. Выполнен анализ элементного состава сыворотки крови молочных коров ($n=90$). Исследованы три различные породы коров (чёрно-пестрая, красная степная и айширская), каждая из указанных пород представлена различными хозяйствами Оренбургской области. Оценка элементного статуса осуществлялась посредством изучения химического состава сыворотки крови методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Выявлено, что у коров айширской породы фиксировалось значительно большее содержание кальция в сыворотке крови относительно коров чёрно-пестрой и красной степной пород на 62,8 и 55,7%, калия на 50 и 31%, магния на 63 и 30%, фосфора на 85 и 5%, меди на 62 и 20,6%, железа на 118 и 5%, йода на 199 и 50%, цинка на 110 и 6% соответственно. Таким образом, для айширской породы характерны более высокие значения ряда важных макро- и микроэлементов. Полученные данные демонстрируют особенности элементного статуса сыворотки крови крупного рогатого скота у трёх разных пород молочного направления продуктивности, которые могут быть использованы для расширенной оценки элементного статуса животных с целью дальнейшего установления значения нормы для каждой определенной породы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: крупный рогатый скот, молочные коровы, микроэлементы.

Для цитирования: Нотова С.В., Маршинская О.В., Казакова Т.В. Сравнительный анализ элементного состава сыворотки крови крупного рогатого скота разных пород. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):51–52. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-22.

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство молока невозможно без постоянного мониторинга состояния здоровья молочных коров (Pavlenko et al., 2023), включая показатели минерального обмена (Wang et al., 2021). Как правило, необходимость оценки минерального обмена обоснована высокой интенсивностью метаболизма жизненно важных элементов у лактирующих животных, ролью этих элементов в работе ферментов, гормонов, функционировании иммунной системы и т.д. Существует ряд работ, показывающих информативность изучения валового содержания химических элементов в различных биосубстратах в качестве маркеров метаболических процессов у сельскохозяйственных животных (Miroshnikov et al., 2019).

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучить элементный состав сыворотки крови трёх различных пород коров (чёрно-пестрая, красная степная и айширская), представленных различными хозяйствами Оренбургской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В зависимости от породы были сформированы следующие группы по 30 коров в каждой: 1 группа – чёрно-пестрая; 2 группа – красная степная; 3 группа – айширская. Для исследований отбирались клинически здоровые коровы второго месяца лактации. Живая масса животных в период отбора био-

субстратов составляла 610–640 кг, возраст – 4–6 лет. В период исследований все животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. В качестве биосубстратов для изучения элементного статуса использовали образцы сыворотки крови. Оценку элементного статуса осуществляли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Обработку полученных данных выполняли при помощи методов вариационной статистики с использованием статистического пакета «StatSoft STATISTICA 10». Применяли непараметрические процедуры обработки статистических совокупностей (U-критерий Манна–Уитни).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрации макроэлементов и жизненно важных микроэлементов в сыворотке крови находились в пределах физиологических значений для крупного рогатого скота. Однако при анализе уровней макроэлементов было установлено, что айширская порода характеризовалась значительно большим содержанием ряда химических элементов. У коров айширской породы фиксировалось значительно большее содержание кальция в сыворотке крови относительно коров чёрно-пестрой и красной степной пород на 62,8 и 55,7%, калия на 50 и 31%, магния на 63 и 30%, фосфора на 85 и 5%, меди на 62 и 20,6%, железа на 118 и 5%, йода на 199 и 50%, цинка на 110 и 6% соответственно. Таким образом, проведя исследование среди трёх пород можно заключить, что для айширской породы характерны более высокие значения ряда важных макро- и микроэлементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные демонстрируют особенности элементного статуса сыворотки крови крупного рогатого скота у трёх разных пород молочного направления продуктивности, которые могут быть использованы для расширенной оценки элементного статуса животных с целью дальнейшего установления значений нормы для каждой определенной породы.

Исследования выполнены в соответствии с планом научно-исследовательских работ ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2022-0011).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Pavlenko A., Kaart T., Lidfors L., et al. Changes in dairy cows' behaviour, health, and production after transition from tied to loose housing. *Acta Vet Scand.* 2023; 65(1): 29.

Wang D., Jia D., He R., et al. Association Between Serum Selenium Level and Subclinical Mastitis in Dairy Cattle. *Biol Trace Elem Res.* 2021; 199(4): 1389–1396.

Miroshnikov S., Zavyalov O., Frolov A., et al. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019; 26(18): 18554–18564.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF BLOOD SERUM OF CATTLE OF DIFFERENT BREEDS

S.V. Notova, O.V. Marshinskaia, T.V. Kazakova

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. The problem of the content of chemical elements in the body of farm animals and in livestock products is extremely relevant. The analyzed parameters are the elemental composition of the blood serum of dairy cows ($n=90$). Three different breeds of cows were studied (black-mottled, red steppe and Ayshir breeds), each of these breeds is represented by different farms of the Orenburg region. The elemental status was assessed by studying the chemical composition of blood serum by inductively coupled plasma mass spectrometry. Cows of the Ayshir breed had significantly higher serum calcium content relative to cows of black-mottled and red steppe breeds by 62.8% and 55.7%, potassium by 50% and 31%, magnesium by 63% and 30%, phosphorus by 85% and 5%, copper by 62% and 20.6%, iron by 118% and 5%, iodine by 199% and 50%, zinc by 110% and 6%, respectively. Thus, after conducting a study among the three breeds, it can be concluded that the Ayshire breed is characterized by higher values of a number of important macro- and microelements. The data obtained by us demonstrate the features of the elemental status of bovine blood serum in three different breeds of dairy productivity, which can be used for an extended assessment of the elemental status of animals in order to further establish the norm values for each specific breed.

KEYWORDS: cattle, dairy cows, trace elements.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-23

РОЛЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ

Г.Д. Морозова^{1,2}

¹ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

РЕЗЮМЕ. Неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) – наиболее распространённое заболевание печени в мире, при котором происходит чрезмерное накопление жира в печени в отсутствие значительного употребления алкоголя. Эссенциальные микроэлементы являются структурными компонентами многих биологически активных веществ в организме и влияют на протекание метаболических процессов. В работе проанализированы результаты исследований роли эссенциальных микроэлементов в патогенезе НАЖБП. Цинк, медь, марганец, селен участвуют в антиоксидантной защите организма, воздействуют на углеводный и жировой обмен. Влияние обмена железа на метаболизм глюкозы и липидов характеризуется сложной и динамичной двусторонней связью. Нарушение распределения железа способствует развитию метаболических патологий, включая жировой гепатоз. Согласно данным литературы, с НАЖБП ассоциированы дефицит цинка, избыток селена, нарушения обмена меди, марганца и железа как в сторону дефицита, так и в сторону избытка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: НАЖБП, воспаление, цинк, медь, микроэлементы.

Для цитирования: Морозова Г.Д. Роль эссенциальных микроэлементов в патогенезе неалкогольной жировой болезни печени. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):53–55. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-23.

ВВЕДЕНИЕ

Неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) – патологическое состояние, при котором происходит чрезмерное накопление жира в печени в отсутствие значительного употребления алкоголя. НАЖБП – наиболее распространённое заболевание печени в мире, по разным данным встречается у 17–46% людей. НАЖБП является печёночным проявлением метаболического синдрома. Основные патогенетические факторы развития НАЖБП – инсулинорезистентность, нарушение бета-окисления жирных кислот в митохондриях, окислительный стресс, активация воспалительного процесса, что приводит к повреждению гепатоцитов и стимуляции фиброгенеза (Clinical Practice Guidelines..., 2016). Функционирование метаболических путей в организме зависит от содержания и соотношения микронутриентов, в том числе микроэлементов. В литературе имеется множество данных о роли эссенциальных элементов в патогенезе нарушений обмена веществ, в том числе при развитии НАЖБП (Chen et al., 2016; Olechnowicz et al., 2018; Tinkov et al., 2024).

РОЛЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ

Цинк. Дефицит цинка в печени воздействует на энергетический обмен и приводит к нарушению её функционирования, способствуя накоплению липидов в печени и развитию НАЖБП (Kang et al., 2009). Цинк снижает липогенез и стимулирует липолиз посредством липофагии (Wei et al., 2018). Цинк способствует нормальному функционированию ЭПР и препятствует синтезу дефектных провоспалительных белков (Prasad, 2009). Кроме того, дефицит цинка приводит к нарушению синтеза и передачи сигналов инсулина, к инсулинорезистентности, следовательно, потенцирует развитие НАЖБП (Barbara et al., 2021).

Медь. Дефицит меди приводит к окислительному стрессу, так как медь является кофактором антиоксидантных ферментов; а также к повышению синтеза триацилглицеридов и усилению липотоксичности. Низкий уровень меди в печени и сыворотке крови ассоциирован с дислипидемией, повышением риска развития жирового гепатоза, метаболического синдрома (Pickett-Blakely et al., 2018). Однако в то же время избыток меди запускает фентоноподобные реакции, усиливает липогенез и активирует воспалительные пути, что подтверждается данными исследователей о связи более высоких

концентраций меди в сыворотке крови с повышением заболеваемости НАЖБП и прогрессированием фиброза печени (Li et al., 2016).

Железо. Существует сложная и динамичная двунаправленная связь между обменом железа и метаболизмом липидов и глюкозы (Hilton et al., 2023). Нарушение распределения железа способствует развитию метаболических патологий, включая жировой гепатоз. По данным исследований, к механизмам участия железа в патогенезе НАЖБП относятся: индукция окислительного стресса, активация макрофагов и звёздчатых клеток, стресс ЭПР, повышение синтеза холестерина, снижение уровня адипонектина (Britton et al., 2016).

Марганец. Марганец является компонентом антиоксидантных ферментов; играет важную роль в процессах синтеза и секреции инсулина, поддерживает углеводный и липидный обмен, тем самым снижает риск развития метаболического синдрома. Однако перегрузка марганцем вызывает митохондриальную дисфункцию, нарушение синтеза АТФ. Как дефицит, так и избыток марганца могут увеличить продукцию АФК (Li et al., 2018). Согласно исследованиям, более высокий уровень марганца в крови положительно коррелирует с наличием стеатоза печени и компонентов метаболического синдрома у обследуемых (Puas et al., 2016; Spaur et al., 2022; Liu et al., 2023).

Селен. Известно, что селенопротеин Р защищает клетки от АФК (Yu et al., 2022), однако повышенный уровень селена может привести к увеличению концентрации селенометионина, метаболиты которого, селеногомоцистеин и селеноцистеин, способствуют развитию окислительного стресса (Wang et al., 2021). Исследования подтверждают, что высокий уровень селена в крови ассоциирован с повышенным риском НАЖБП (Wu et al., 2020; Urbano et al., 2021; Liu et al., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушения элементного гомеостаза, приводящие к дефицитам и избыткам эссенциальных микроэлементов, являются одним из факторов риска развития и прогрессирования неалкогольной жировой болезни печени.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- EASL-EASD-EASO Clinical Practice Guidelines for the management of non-alcoholic fatty liver disease. *J Hepatol.* 2016; 64: 1388–1402.
- Chen G., Ni Y., Nagata N., et al. Micronutrient Antioxidants and Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *International Journal of Molecular Sciences.* 2016; 17(9): 1379; <https://doi.org/10.3390/ijms17091379>.
- Olechnowicz J., Tinkov A., Skalny A., Suliburska J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. *J. Physiol. Sci.* 2018; 68: 19–31.
- Tinkov A.A., Korobeinikova T.V., Morozova G.D., et al. Association between serum trace element, mineral, and amino acid levels with non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in adult women. *J Trace Elem Med Biol.* 2024; 83: 127397. DOI: 10.1016/j.jtemb.2024.127397.
- Kang X., Zhong W., Liu J. Zinc supplementation reverses alcohol-induced steatosis in mice through reactivating hepatocyte nuclear factor-4alpha and peroxisome proliferator-activated receptor-alpha. *Hepatology.* 2009; 50(4): 1241–1250. DOI:10.1002/hep.23090.
- Wei C.C., Luo Z., Hogstrand C., et al. Zinc reduces hepatic lipid deposition and activates lipophagy via Zn⁽²⁺⁾/MTF-1/PPARα and Ca⁽²⁺⁾/CaMKKβ/AMPK pathways. *FASEB J.* 2018; fj201800463.
- Prasad A.S. Zinc: role in immunity, oxidative stress and chronic inflammation. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care.* 2009; 12(6): 646–652.
- Barbara M., Mindikoglu A.L. The role of zinc in the prevention and treatment of nonalcoholic fatty liver disease. *Metabol Open.* 2021; 11: 100105. DOI: 10.1016/j.metop.2021.100105.
- Pickett-Blakely O., Young K., Carr R.M. Micronutrients in Nonalcoholic Fatty Liver Disease Pathogenesis. *Cell Mol Gastroenterol Hepatol.* 2018; 6(4): 451–462. DOI: 10.1016/j.jcmgh.2018.07.004.
- Li L., Yi Y., Shu X., et al. The Correlation Between Serum Copper and Non-alcoholic Fatty Liver Disease in American Adults: an Analysis Based on NHANES 2011 to 2016. *Biol Trace Elem Res.* 2024. DOI: 10.1007/s12011-023-04029-9.
- Hilton C., Sabaratnam R., Drakesmith H., Karpe F. Iron, glucose and fat metabolism and obesity: an intertwined relationship. *Int J Obes (Lond).* 2023; (7): 554–563. DOI: 10.1038/s41366-023-01299-0.
- Britton L.J., Subramaniam V.N., Crawford D.H. Iron and non-alcoholic fatty liver disease. *World J Gastroenterol.* 2016; 22(36): 8112–8122. DOI: 10.3748/wjg.v22.i36.8112.
- Li L., Yang X. The Essential Element Manganese, Oxidative Stress, and Metabolic Diseases: Links and Interactions. *Oxid Med Cell Longev.* 2018; 2018: 7580707. DOI: 10.1155/2018/7580707.
- Liu J., Tan L., Liu Z., Shi R. Blood and urine manganese exposure in non-alcoholic fatty liver disease and advanced liver fibrosis: an observational study. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023; 30(9): 22222–22231. DOI: 10.1007/s11356-022-23630-4.

Spaur M., Nigra A.E., Sanchez T.R., et al. Association of blood manganese, selenium with steatosis, fibrosis in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2017-18. *Environ Res.* 2022; 213: 113647. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113647.

Ilyas A., Shah M.H. Multivariate statistical evaluation of trace metal levels in the blood of atherosclerosis patients in comparison with healthy subjects. *Heliyon.* 2016; 2(1).

Liu J., Tan L., Liu Z., Shi R. The association between non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) and advanced fibrosis with blood selenium level based on the NHANES 2017-2018. *Ann Med.* 2022; 54(1): 2259–2268. DOI: 10.1080/07853890.2022.2110277.

Wang X., Seo Y.A., Park S.K. Serum selenium and non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in U.S. adults: National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). 2011–2016. *Environ Res.* 2021; 197: 111190. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111190.

Wu J., Zeng C., Yang Z., et al. Association Between Dietary Selenium Intake and the Prevalence of Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A Cross-Sectional Study. *J Am Coll Nutr.* 2020; 39(2): 103–111. DOI: 10.1080/07315724.2019.1613271.

Urbano T., Filippini T., Lasagni D., et al. Association of Urinary and Dietary Selenium and of Serum Selenium Species with Serum Alanine Aminotransferase in a Healthy Italian Population. *Antioxidants (Basel).* 2021; 10(10): 1516. DOI: 10.3390/antiox10101516.

Yu R., Wang Z., Ma M., et al. Associations between Circulating SELENOP Level and Disorders of Glucose and Lipid Metabolism: A Meta-Analysis. *Antioxidants (Basel).* 2022; 11(7): 1263. DOI: 10.3390/antiox11071263.

THE ROLE OF ESSENTIAL TRACE ELEMENTS IN THE PATHOGENESIS OF NON-ALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE

G.D. Morozova^{1,2}

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University),
Trubetskaya str., 8/2, Moscow, 119991, Russian Federation

²Peoples Friendship University of Russia,
Mikluho-Maklaya str., 6, Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT. Non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) is the most common liver disease in the world, in which there is excessive accumulation of fat in the liver in the absence of significant alcohol consumption. Essential trace elements are structural components of many biologically active substances in the body and influence the metabolic processes. In this work, we analyzed the results of studies on the role of essential trace elements in the pathogenesis of NAFLD. Zinc, copper, manganese, selenium participate in antioxidant defense of the organism; they influence carbohydrate and fat metabolism. The influence of iron metabolism on glucose and lipid metabolism is characterized by a complex and dynamic bidirectional relationship. Disruption of iron distribution contributes to the development of metabolic pathologies including fatty hepatosis. According to the literature, zinc deficiency, selenium excess, copper, manganese and iron metabolism disorders, both in the deficiency and excess sides, are associated with NAFLD.

KEYWORDS: NAFLD, inflammation, zinc, copper, trace elements.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-24

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЛОДОВ *SORBUS AUCUPARIA*

Р.Х. Нигматуллин¹, Л.А. Хасанова²,

Г.Ш. Казыханова³, Л.С. Тувалева⁴, З.М. Хасанова²

¹ Медико-санитарная часть МВД России по Республике Башкортостан,
Российская Федерация, 450015, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 59

² Академия наук Республики Башкортостан,
Российская Федерация, 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Кирова, 15

³ Центр агрохимической службы «Башкирский»,
Российская Федерация, Республика Башкортостан, 450059, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, 19/1

⁴ Башкирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Российская Федерация, 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Ленина, 3

РЕЗЮМЕ. Проведен сравнительный анализ микроэлементного состава плодов рябины обыкновенной разных сортов, культивируемых в Республике Башкортостан. Анализ микроэлементного состава плодов рябины обыкновенной сортов «Красная», «Титан» и «Гранат» показал значительное содержание Cu, Zn, Fe, Mn в плодах рябины обыкновенной сорта «Красная» по сравнению с плодами рябины обыкновенной сорта «Титан» и «Гранат». Максимальное содержание Cu, Zn, Fe, Mn, обнаруженное в ходе исследования в плодах *Sorbus*

аусипария сорта «Красная», позволяет рекомендовать плоды этого сорта в качестве эффективного растительного сырья при производстве фармацевтических и пищевых продуктов с высоким микроэлементным составом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Sorbus aucuparia*, рябина красная (обыкновенная), микроэлементный состав.

Для цитирования: Нигматуллин Р.Х., Хасанова Л.А., Казыханова Г.Ш., Тувалева Л.С., Хасанова З.М. Сравнительный анализ микроэлементного состава плодов *Sorbus aucuparia*. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):55–57. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-24.

ВВЕДЕНИЕ

Sorbus aucuparia – рябина красная (обыкновенная), традиционная для Российской Федерации плодово-ягодная культура, широко распространена на территории Южного Урала. В Республике Башкортостан её возделыванию уделяется большое внимание, поскольку данная культура является эффективным резервом увеличения производства продукции пищевой и фармацевтической индустрии своеобразного химического состава с высоким содержанием микроэлементов и биологически активных веществ (Хасанова и др., 2018; Давлетшина и др., 2019; Хасанова и др., 2019).

В связи с этим представляло интерес сравнительное изучение микроэлементного состава плодов рябины красной сортов «Красная», «Титан» и «Гранатная», культивируемых в Кушнаренковском селекционном центре Башкирского НИИСХ, с целью выявления наиболее оптимального сорта по содержанию микроэлементов для последующего его использования в промышленном производстве, в частности, продуктов функционального назначения, фитосборов, чаёв и бионапитков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В процессе исследования атомно-абсорбционным методом микроэлементного состава плодов рябины красной сортов «Красная», «Титан» и «Гранатная» Кушнаренковского селекционного центра Башкирского НИИСХ получены следующие результаты: содержание Cu – 0,83, 0,44 и 0,43 мг/кг; Zn – 1,26, 0,57 и 0,45 мг/кг; Fe – 16,12, 5,48 и 7,95 мг/кг; Mn – 0,72, 0,65 и 0,46 мг/кг; Co – 0,70, 0,73 и 0,78 мг/кг в плодах рябины красной сортов «Красная», «Титан» и «Гранатная» соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ микроэлементного состава плодов рябины красной сортов «Красная», «Титан» и «Гранатная» показал значительное содержание Cu, Zn, Fe, Mn в плодах рябины красной сорта «Красная» по сравнению с плодами рябины красной сортов «Титан» и «Гранатная». Содержание Co в плодах данного сорта было минимальным по сравнению с таковыми сортов «Титан» и «Гранатная».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальное содержание Cu, Zn, Fe, Mn, обнаруженное в процессе исследования в плодах рябины красной сорта «Красная», позволяет рекомендовать плоды данного сорта в качестве эффективного растительного сырья в производстве фармацевтической и пищевой продукции с высоким микроэлементным составом.

ЛИТЕРАТУРА

Давлетшина А.М., Такиуллина И.В., Рахимова Г.Р. и др. Напитки на основе натурального пищевого и лекарственного сырья. Сборник материалов VII Международной молодежной конференции «Современные аспекты изучения экологии растений». Уфа: ООО «Первая типография». 2019; 33–35.

Хасанова Л.А., Казыханова Г.Ш., Такиуллина И.В. и др. Сопоставительный анализ плодов *Смородины черной* различных сортов для производства функциональных продуктов питания с высокой антиоксидантной активностью. Актуальная биотехнология. 2019; №3(30): 230.

Хасанова Л.А., Хасанова З.М., Галикеева И.З. и др. Напитки функционального назначения на основе пищевого и лекарственного растительного сырья. Актуальная биотехнология. 2018; 3(26): 531–532.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRACE ELEMENT COMPOSITION OF THE FRUITS OF *SORBUS AUCUPARIA*

R.H. Nigmatullin¹, L.A. Khassanova², G.S. Kazykhanova³,
L.S. Tuvaleva⁴, Z.M. Khassanova²

¹ Medical Unit MIA of Russia for the Republic of Bashkortostan, Karl Marx str. 59, Ufa, 450015, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

² Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Kirova str., 15, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450008, Russian Federation

³ FBGU Center of Agrochemical service "Bashkirsky", str. Richard Sorge 19/1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450059, Russian Federation

⁴ Bashkir State Medical University, Lenin str. 3, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450008, Russian Federation

ABSTRACT. A comparative analysis of the trace element composition of the fruits of *Sorbus aucuparia* of different varieties cultivated in the Republic of Bashkortostan was studied. The analysis of the trace element composition of the fruits of *Sorbus aucuparia* of different varieties "Krasnaya", "Titan" and "Garnet" showed a significant content of Cu, Zn, Fe, Mn in the fruits of *Sorbus aucuparia* of variety "Krasnaya" compared with the fruits of *Sorbus aucuparia* of varieties "Titan" and "Garnet". The maximum content of Cu, Zn, Fe, Mn, found during the study in the fruits of *Sorbus aucuparia* of variety "Krasnaya", allows us to recommend the fruits of this variety as an effective plant raw material in the production of pharmaceutical and food products with a high trace element composition.

KEYWORDS: *Sorbus aucuparia*, Red mountain ash (common), trace element composition.

REFERENCES

Davletshina A.M., Takiullina I.V., Rakhimova G.R., Nazarova Z. Z. i dr. Napitki na osnove naturalnogo pischevogo i lekarstvennogo sariya. Sbornik materialov VII Mejdunarodnoy molodejnoj konferencii "Sovremennye aspekty izucheniya ekologii rasteniy". Ufa: OOO "Pervaya tipografiya". 2019; 33–35. (In Russ.).

Khassanova L.A., Kazykhanova G.Sh., Takiullina I.V. i dr. Sopostavitelnyy analiz plodov Smorodini chernoy pazlichnih sortov dlya proizvodstva funktsionalnykh produktov pitaniya s visokoy antioksidantnoy aktivnosntiu. Aktualnaya Biotehnologiya. 2019; 3(30): 230. (In Russ.).

Khassanova L.A., Khassanova Z.M., Galikeeva I.Z. I dr. Napitki funktsionalnogo naznacheniya na osnove pischevogo i lekarstvennogo rastitel'nogo sariya. Aktualnaya Biotehnologiya. 2018; 3(26): 531–532. (In Russ.).

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-25

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ТИТАНА И МОЛИБДЕНА С ГУМИНОВЫМИ КИСЛОТАМИ НА ВИТАЛЬНЫЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ

Е.Н. Петрова, А.А. Иванова, Л.В. Галактионова

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Повышение качества и количества урожая культурных растений определяется целым комплексом почвенных и климатических факторов, а также комплексом агрономических мероприятий. Рассмотрена перспективность совместного использования растворов гуминовых кислот и ультрадисперсных частиц титана и молибдена для предпосевной обработки семян. В ходе проведенных исследований выявлено, что наибольшее стимулирующее влияние на процессы прорастания семян яровой пшеницы мягкой сорта «Учитель» оказали растворы гуминовых кислот с ультрадисперсными частицами молибдена концентрацией 10^{-7} мг/л.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пшеница мягкая, гуминовые кислоты, ультрадисперсные частицы, витальные параметры.

Для цитирования: Петрова Е.Н., Иванова А.А., Галактионова Л.В. Оценка влияния ультрадисперсных частиц титана и молибдена с гуминовыми кислотами на витальные и морфометрические параметры семян яровой пшеницы мягкой. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):57–59. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-25.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница (*Triticum aestivum L.*) является основной культурой. Мировая пшеничная промышленность сталкивается с такими проблемами, как биотический и абиотический стресс, бедность почв и увеличение потребления. Ультрадисперсные частицы (УДЧ) широко используются во многих отраслях сельского хозяйства благодаря их свойствам, таким как небольшой размер, большая площадь поверхности, теплопроводность и химическая стабильность. Также УДЧ могут значительно быстрее повышать устойчивость растений к абиотическому стрессу за счет улучшения морфологических признаков посредством физиологических и биохимических процессов, увеличения экспрессии генов (Rizwan et al., 2021; Mustapha et al., 2022). А современные методы сельского хозяйства все чаще обращаются к вопросам использования УДЧ в комплексе с гуминовыми кислотами для повышения качества урожая и устойчивости растений к факторам стресса (Cieschi et al., 2019).

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучение влияния предпосевной обработки семян растворами гуминовых кислот с УДЧ титана и молибдена на витальные и морфометрические показатели растений яровой пшеницы мягкой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum L.*) сорта «Учитель». В рамках исследования использовали растворы УДЧ молибдена (Mo) и титана (Ti), произведенные компанией «Plasmotherm». Образец гуминовых кислот готовили путем разбавления коммерческого препарата биогумуса AgroVerm (ООО «Биоэра», Москва, Россия) согласно инструкции, с последующим добавлением навесок металлов в концентрациях от 10^{-4} до 10^{-7} мг/л. Влияние УДЧ с гуминовыми кислотами (ГК) на витальные параметры растений исследовали методами определения всхожести семян по ГОСТ 12038-84 с дальнейшей оценкой всхожести, морфометрических параметров и индекса толерантности (ИТ).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведенных исследований выявлено общее повышение всхожести зерновок пшеницы при использовании растворов УДЧ с ГК для предпосевной обработки. Наибольшим стимулирующим влиянием на процессы прорастания семян оказывал раствор УДЧ титана концентрацией 10^{-7} мг/л, при использовании которого всхожесть семян увеличилась более чем на 24,6%. Более выраженное повышение показателя (на 37%) отмечено для варианта опыта с использованием раствора ГК с УДЧ молибдена в концентрации 10^{-7} мг/л.

Дальнейший рост растений позволил оценить морфометрические показатели растений в ходе эксперимента. Развитие корневой системы растений шло равномерно для опытных вариантов опыта независимо от элементной принадлежности УДЧ. Отмечено и повышение массы растений в опытных вариантах. Увеличение проростков растений в варианте использования раствора УДЧ молибдена с ГК концентрацией 10^{-7} мг/л способствовало увеличению индекса толерантности и массы растений более чем на 25 и 21% соответственно. Для варианта опыта с использованием УДЧ титана отмечены более низкие показатели, которые составили 15 и 11% соответственно от показателей контрольного варианта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении влияния предпосевной обработки растворами гуминовых кислот с ультрадисперсными частицами выявлено, что наибольший стимулирующий эффект на основные показатели семян яровой пшеницы мягкой оказывает раствор ультрадисперсных частиц молибдена, что может быть связано с ролью молибдена как важного микроэлемента в жизни растений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10079, <https://rscf.ru/project/23-26-10079/>.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Cieschi M.T., Polyakov A.Y., Lebedev V.A., et al. Eco-friendly iron-humic nanofertilizers synthesis for the prevention of iron chlorosis in soybean (glycine max) grown in calcareous soil. *Front Plant Sci.* 2019; 10: 413. DOI: 10.3389/fpls.2019.00413.

Mustapha T., Misni N., Ithnin N.R., et al. A Review on Plants and Microorganisms Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles, Role of Plants Metabolites and Applications. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022; 19: 674.

Rizwan M., Ali S., Rehman M.Z.U., et al. Effects of nanoparticles on trace element uptake and toxicity in plants: A review. *Ecotoxicology and environmental safety.* 2021; 221: 112437.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ULTRADISPENSIVE PARTICLES OF TITANIUM AND MO-LYBDENUM WITH HUMIC ACIDS ON THE VITAL AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF SEEDS OF SPRING SOFT WHEAT

E.N. Petrova, A.A. Ivanova, L.V. Galaktionova

Orenburg State University,
Pobedy ave., 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. Increasing the quality and quantity of the yield of cultivated plants is determined by a whole complex of soil and climatic factors, as well as a complex of agronomic measures. The work examines the prospects of joint use of solutions of humic acids and ultrafine particles of titanium and molybdenum for pre-sowing seed treatment. In the course of the studies, it was revealed that solutions of humic acids with a molybdenum concentration of 10^{-7} mg/l had the greatest stimulating effect on the germination processes of seeds of the spring soft wheat variety "Uchite".

KEYWORDS: soft wheat, humic acids, ultra-dispersed particles, vital parameters.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-26

МЕХАНИЗМЫ ИНГИБИРОВАНИЯ МЕТАЛЛО- β -ЛАКТАМАЗ

A.O. Корзун, Ю.А. Плотникова, Е.С. Барышева, О.В. Баранова

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13

РЕЗЮМЕ. Применение ингибиторов β -лактамаз в комплексе с β -лактамными антибактериальными препаратами является перспективной стратегией в преодолении антибиотикорезистентности. Комбинированные препараты с clavulanовой кислотой, сульбактамом, тазобактамом широко используются в клинической практике. Однако, на сегодняшний день существует большое количество микроорганизмов, продуцирующих β -лактамазы, резистентные к таким ингибиторам, в частности микроорганизмы, продуцирующие металло- β -лактамазы (М β Л). Поэтому при разработке новых ингибиторов М β Л следует учесть не только необходимость эффективного воздействия на широкий спектр ферментов, представителей М β Л, но и снижение уровня токсичности потенциальных ингибиторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: β -лактамные антибиотики, металло- β -лактамазы, гидролиз, катионы Zn^{2+} , эбселен.

Для цитирования: Корзун А.О., Плотникова Ю.А., Барышева Е.С., Баранова О.В. Механизмы ингибирования металло- β -лактамаз. *Микроэлементы в медицине.* 2024;25(3):59–61. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-26.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день β -лактамы являются высокоперспективными антибактериальными препаратами, а β -лактамазы представляют собой эффективный способ резистентности к ним за счет катализации гидролиза β -лактамного кольца с образованием неактивных β -аминокислотных продуктов (Palzkill T et al., 2013).

МЕХАНИЗМЫ ИНГИБИРОВАНИЯ МЕТАЛЛО- β -ЛАКТАМАЗ

С точки зрения механизма действия, выделяют два класса β -лактамаз: использующих нуклеофильный сериновый остаток (сериновые β -лактамазы (SBL), классы Ambler A, C и D), использующие ионы металлов для гидролиза (металло- β -лактамазы (М β Л), класс Ambler B) (Ambler et.al., 2013). М β Л представляют серьезную угрозу для дальнейшего использования β -лактамных антибактериаль-

ных препаратов из-за их способности гидролизовать почти все известные типы, за исключением монобактамов.

По принципу воздействия, агенты, способные ингибировать МβЛ, можно отнести к нескольким группам: в основе первой лежит координация катионов цинка, второй – связывание аминокислотных остатков в активном центре фермента (Shi et al., 2019). Также можно выделить отдельную группу аллостерических ингибиторов МβЛ и ряд МβЛ с неопределенным механизмом действия (Ju et al., 2018).

Первую группу ингибиторов, в основе которой лежит координация катионов цинка, делят на два вида: по образованию комплексов в активном центре и по удалению катионов Zn^{2+} из активного центра. К ингибиторам первого вида относят производные дикарбоновых кислот, тиола и борсодержащих соединений (Reddy et al., 2020). Для комплексов таких соединений с МβЛ связывание в активном центре происходит за счет гидроксильных групп атома бора и атома кислорода 6-членного борсодержащего кольца (Brem et al., 2016).

Примером ингибиторов второй группы является этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) (Walsh, et al., 2005). Но ввиду высокой токсичности, на практике применяются структурно схожие соединения: ЭДТА-Са(II), аспергилломаразмин А (АМА); хелатирующие агенты металлов 1,4,7-триазациклонан-1,4,7-триуксусная кислота (НОТА) и 1,4,7,10-тетраазациклододекан-1,4,7,10-тетрауксусная кислота (ДОТА) и их производные (King et al., 2014). Атомно-эмиссионная спектроскопия индукционно-связанной плазмы показала, что два эквивалента АМА способствует удалению одного эквивалента Zn^{2+} в NDM-1 (МβЛ *E. coli*), VIM-2 (МβЛ *P. aeruginosa*) и др. при микромолярных концентрациях ферментов.

У ингибиторов, ковалентно связывающихся с аминокислотными остатками в активном центре МβЛ, выделяют ряд очевидных преимуществ: необратимость взаимодействия и его длительность.

Главной мишенью атаки необратимо связывающихся ингибиторов являются кислоты цистеин (Cys), который координирует Zn^{2+} , или лизин (Lys), присутствующий в активном центре. Агентами, ковалентно связывающимися с Cys, являются антибиотики цефалотин и моксалактам. Другим примером ингибитора, ковалентно модифицирующего (Cys), является эбселен, содержащий в основе Se^{4+} . Формирование связи Se–S подтверждено исследованием процесса ингибирования NDM-1 (МβЛ *E. coli*) методом масс-спектрометрии. Недостатком данных ингибиторов является чувствительность к различиям в координационных сферах катионов цинка и аминокислотных остатков в их активных центрах представителей различных подклассов МβЛ (Chiou et al., 2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание универсальных эффективных ингибиторов затрудняется вариативностью в строении активных центров представителей разных МβЛ. Так, для варианта необратимого связывания со значительной длительностью действия необходимо сохранение аминокислотного остатка в активном центре, который будет способствовать гидролизу. Ингибиторы, воздействующие на катионы Zn^{2+} и удаляющие их из активного центра, отличаются высокой токсичностью. Сложность представляет также способность некоторых МβЛ заново связываться с цинком, восстанавливая активность. Для агентов, координирующих катионы Zn^{2+} , важной проблемой является устойчивость образованных комплексов. Тем не менее существует ряд ингибиторов МβЛ, которые демонстрируют значительную активность в отношении наиболее клинически значимых ферментов, что позволяет рассматривать их в качестве потенциальных лекарственных средств.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Palzkill T. Metallo-β-lactamase structure and function. *Ann N Y Acad Sci.* 2013; 1277: 91–104. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2012.06796.x.
- Ambler R.P. The structure of beta-lactamases. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1980; 289(1036): 321–331. DOI: 10.1098/rstb.1980.0049.
- Shi C., Chen J., Kang X., et al. Approaches for the discovery of metallo-β-lactamase inhibitors: A review, *Chemical Biology & Drug Design.* 2019; 94: 1427–1440.
- Ju L.C., Cheng Z., Fast W., et al. The continuing challenge of metallo-β-lactamase inhibition: mechanism matters, *Trends in pharmacological sciences.* 2018; 39: 635–647.

Reddy N., Shungube M., Arvidsson P.I., et al. A 2018-2019 patent review of metallo-beta-lactamase inhibitors, *Expert Opinion on Therapeutic Patents*. 2020; 30: 541–555.

Brem J., Cain R., Cahill S., et al. Structural basis of metallo- β -lactamase, serine- β -lactamase and penicillin-binding protein inhibition by cyclic boronates, *Nature Communications*. 2016; 7: 12406.

Walsh T.R., Toleman M.A., Poirel L., Nordmann P. Metallo β -lactamases: the quiet before the storm, *Clinical Microbiology Reviews*. 2005; 18: 306–325.

King A.M., Reid-Yu S.A., Wang W., et al. AMA overcomes antibiotic resistance by NDM and VIM metallo- β -lactamases, *Nature*. 2014; 510: 503–506.

Chiou J., Wan S., Chan K.-F., et al. Ebselen as a potent covalent inhibitor of New Delhi metallo- β -lactamase (NDM-1), *Chemical Communications*. 2015; 51: 9543–9546.

MECHANISMS OF INHIBITION OF METALLO- β -LACTAMASES

A.O. Korzun, Yu.A. Plotnikova, E.S. Barysheva, O.V. Baranova

Orenburg State University,
Pobedy Ave., 13, Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT: The use of β -lactamase inhibitors in combination with β -lactam antibacterial drugs is a promising strategy in overcoming antibiotic resistance. Combination drugs with clavulanic acid, sulbactam, and tazobactam are widely used in clinical practice. However, today there are a large number of microorganisms producing β -lactamases resistant to such inhibitors, in particular microorganisms producing metallo- β -lactamases (MBL). Therefore, when developing new MBL inhibitors, it is necessary to take into account not only the need for effective action on a wide range of enzymes, representatives of MBL, but also a reduction in the toxicity of potential inhibitors.

KEYWORDS: β -lactam antibiotics, metallo- β -lactamases, hydrolysis, Zn^{2+} cations, ebselene.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-27

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ НОВОРОЖДЕННЫХ ТЕЛЯТ С ВНУТРИУТРОБНОЙ ЗАДЕРЖКОЙ РАЗВИТИЯ

В.А. Сафонов¹, Т.С. Ермилова¹, А.Е. Черницкий²

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, 19;

² Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН,
Российская Федерация, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а

РЕЗЮМЕ. Скрининг элементного состава волос у новорожденных телят является одним из неинвазивных методов оценки обеспеченности их микроэлементами в пренатальном онтогенезе. Цель работы – провести сравнительную оценку содержания микроэлементов в волосах кисти хвоста у телят с внутриутробной задержкой развития (ВЗР) и без патологии. В условиях региона Нижней Волги (Россия) обследовано 42 теленка симментальской породы в первые сутки после рождения: 18 – с ВЗР и 24 – без патологии. ВЗР диагностировали по результатам ультразвукового исследования (сканер Easi-Scan-3, BCF Technology Ltd., Великобритания) плода на сроках 38–45, 60–65 и 110–115 дней гестации по ранее установленному и опубликованному протоколу. Количественное содержание микроэлементов (As, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn) в образцах волос определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (Nexion 300D, Perkin Elmer, США). У телят с ВЗР обнаружено пониженное содержание в волосах Cu ($5,30 \pm 0,61$ против $7,09 \pm 0,41$, $p=0,018$), Se ($0,266 \pm 0,032$ против $0,373 \pm 0,026$, $p=0,007$) и Zn ($75,5 \pm 12,2$ против $104,8 \pm 6,8$, $p=0,045$) по сравнению с новорожденными без патологии. Содержание других микроэлементов в образцах волос достоверно не различалось между группами. Таким образом, микроэлементный состав волос кисти хвоста у телят с ВЗР имеет специфический профиль, отличающийся от такового у новорожденных без патологии. Полученные результаты указывают на возможную роль внутриутробного дефицита Cu, Se и Zn в генезе ВЗР плода у крупного рогатого скота.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроэлементы, крупный рогатый скот, внутриутробная задержка развития.

Для цитирования: Сафонов В.А., Ермилова Т.С., Черницкий А.Е. Анализ содержания микроэлементов в волосах новорожденных телят с внутриутробной задержкой развития. *Микроэлементы в медицине*. 2024;25(3):61–63. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-27.

ВВЕДЕНИЕ

Внутриутробная задержка развития (ВЗР), определяемая как несоответствие размеров развивающегося эмбриона и плода сроку гестации, наблюдается у 25,0–53,8% беременных коров и представляет собой серьезную проблему для молочного животноводства (Сафонов и др., 2018; Wu et al., 2006). Недавние исследования показали, что дефицит незаменимых микроэлементов может быть одной из причин ВЗР плода у молочных коров (Сафонов и др., 2018; Shabunin et al., 2017).

Ц е л ь р а б о т ы – провести сравнительную оценку содержания микроэлементов в волосах кисти хвоста у телят с ВЗР и без патологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Икрянинском районе (Астраханская область, Россия) обследовано 42 теленка симментальской породы в первые сутки после рождения: 18 – с ВЗР и 24 – без патологии. ВЗР диагностировали по результатам ультразвукового исследования (сканер Easi-Scan-3, BCF Technology Ltd., Великобритания) плода на сроках 38–45, 60–65 и 110–115 дней гестации по ранее установленному и опубликованному протоколу (Сафонов и др., 2018). Образцы непигментированных покровных волос отбирали из кисти хвоста новорожденных непосредственно перед первым кормлением молозивом. Пробоподготовку образцов и собственно анализ микроэлементов (мышьяка, кобальта, меди, железа, марганца, молибдена, никеля, свинца, селена и цинка) проводили, как описано ранее (Miroshnikov et al., 2017), методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (Nexion 300D, Perkin Elmer, США). Результаты представляли, как среднее значение \pm стандартная ошибка среднего, в мкг/г. Различия между группами выявляли с помощью U-критерия Манна–Уитни для независимых выборок в программе IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM Corp., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поскольку волосы кисти хвоста у плода крупного рогатого скота начинают расти с 7-го месяца гестации (Krog et al., 2018), анализ их элементного состава позволяет оценить микроэлементный статус плода в последние месяцы его внутриутробного развития (Сафонов и др., 2022). У телят без патологии развития содержание большинства исследованных микроэлементов находилось в физиологических пределах, описанных ранее для новорожденных телят симментальской породы (Сафонов и др., 2022), за исключением мышьяка ($0,161 \pm 0,026$ мкг/г), никеля ($1,40 \pm 0,25$ мкг/г) и свинца ($0,99 \pm 0,20$ мкг/г), которые были повышены. У животных с ВЗР наблюдали снижение уровня кобальта ($0,037 \pm 0,008$ мкг/г), меди ($5,30 \pm 0,61$ мкг/г) и цинка ($75,5 \pm 12,2$ мкг/г) в волосах по сравнению с физиологическим диапазоном (Сафонов и др., 2022), а также повышение уровня мышьяка ($0,116 \pm 0,031$ мкг/г), железа ($60,5 \pm 9,62$ мкг/г), марганца ($10,7 \pm 0,95$ мкг/г), никеля ($1,91 \pm 0,65$ мкг/г) и свинца ($2,06 \pm 0,60$ мкг/г). Содержание молибдена ($0,042 \pm 0,009$ мкг/г) и селена ($0,266 \pm 0,032$ мкг/г) в волосах находилось в пределах нормы (Сафонов и др., 2022).

Предыдущее исследование, проведенное на телятах красно-пестрой породы в Черноземном регионе (Воронежская область, Россия), эталонном по содержанию микроэлементов в почвах и пастбищных растениях, показало, что новорожденные с ВЗР отличаются от особей с физиологическим развитием более низким содержанием в волосах меди, цинка, марганца, селена и кобальта (Сафонов и др., 2018). В настоящей работе значимые различия между группами телят выявлены только по содержанию в волосах меди ($5,30 \pm 0,61$ против $7,09 \pm 0,41$ мкг/г, $p=0,018$), цинка ($75,5 \pm 12,2$ против $104,8 \pm 6,8$ мкг/г, $p=0,045$) и селена ($0,266 \pm 0,032$ против $0,373 \pm 0,026$ мкг/г, $p=0,007$), но не марганца ($10,7 \pm 0,95$ против $9,44 \pm 0,97$ мкг/г, $p=0,360$) и кобальта ($0,037 \pm 0,008$ против $0,053 \pm 0,007$ мкг/г, $p=0,252$). Это может быть связано как с биогеохимическими условиями региона Нижней Волги, так и с особенностями обмена микроэлементов в системе «мать-плацента-плод» у симментальского скота. Кроме того, в настоящем исследовании у новорожденных с ВЗР наблюдалась тенденция к повышенному накоплению железа, никеля и свинца в волосах. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о глубоких нарушениях микроэлементного обмена у телят с ВЗР в последние месяцы их внутриутробного развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что микроэлементный состав волос кисти хвоста у телят с ВЗР имеет специфический профиль, отличающийся от такового у новорожденных без патологии развития. Текущие результаты указывают на возможную роль внутриутробного дефицита меди, селена и цинка в генезе ВЗР плода у крупного рогатого скота.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант 23-26-00136.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Сафонов В.А., Михалев В.И., Черницкий А.Е. Антиоксидантный статус и функциональное состояние дыхательной системы у новорожденных телят с внутриутробной задержкой развития. *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(4): 831–841. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.4.831rus. [Safonov V.A., Mikhalev V.I., Chernitskiy A.E. Antioxidant status and functional condition of respiratory system of newborn calves with intrauterine growth retardation. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. 2018; 53(4): 831–841. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.4.831rus. (In Russ.)]

Сафонов В.А., Ермилова Т.С., Салимзаде Э.А.О., Черницкий А.Е. Скрининг элементного состава волос у новорожденных телят как способ диагностики внутриутробного дисэлементоза. *Ветеринария и кормление*. 2022; 5: 48–50. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-14. [Safonov V.A., Ermilova T.S., Salimzade E.A.O., Chernitskiy A.E. Screening of hair elemental composition in newborn calves as a way for diagnosis of intrauterine diselementosis. *Veterinaria i kormlenie*. 2022; 5: 48–50. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-14. (In Russ.)]

Krog C.H., Agerholm J.S., Nielsen S.S. Fetal age assessment for Holstein cattle. *PLoS One*. 2018; 13(11): e0207682. DOI: 10.1371/journal.pone.0207682.

Miroshnikov S.A., Zavyalov O.A., Frolov A.N., et al. The reference intervals of hair trace element content in Hereford cows and heifers (*Bos taurus*). *Biol Trace Elem Res*. 2017; 180(1): 56–62. DOI: 10.1007/s12011-017-0991-5.

Shabunin S., Nezhdanov A., Mikhalev V., et al. Diselementosis as a risk factor of embryo loss in lactating cows. *Turk J Vet Anim Sci*. 2017; 41(4): 453–459. DOI: 10.3906/vet-1609-76.

Wu G., Bazer F.W., Wallace J.M., Spencer T.E. Board-invited review: intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences. *J Anim Sci*. 2006; 84(9): 2316–2337. DOI: 10.2527/jas.2006-156.

ANALYSIS OF MICROELEMENT CONTENT IN THE HAIR OF NEWBORN CALVES WITH INTRAUTERINE GROWTH RETARDATION

V.A. Safonov¹, T.S. Ermilova¹, A.E. Chernitskiy²

¹ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Kosygina str., 19, Moscow, 119991, Russian Federation

² Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Belinskogo str., 112a, Yekaterinburg, 620142, Russian Federation

ABSTRACT. Screening the elemental composition of hair in newborn calves is one of the non-invasive methods for assessing their microelement status during prenatal ontogenesis. The aim of this study was to conduct a comparative assessment of the microelement content in the tail hair of calves with intrauterine growth retardation (IUGR) and without pathology. A total of 42 Simmental breed calves from the Lower Volga Region, Russia were examined within the first day after birth: 18 with IUGR and 24 without pathology. IUGR was diagnosed based on the results of ultrasound examination (using the Easi-Scan-3 scanner, BCF Technology Ltd., UK) of the fetus at gestational ages of 38–45, 60–65, and 110–115 days according to a previously established and published protocol. The quantitative content of microelements (As, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, and Zn) in hair samples was determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (Nexion 300D, Perkin Elmer, USA). The results were presented as the mean value \pm standard error of the mean, in $\mu\text{g/g}$. Differences between groups were analyzed using the Mann–Whitney U test for independent samples employing IBM SPSS Statistics 20.0 software (IBM Corp., USA). In calves with IUGR, decreased contents of Cu (5.30 ± 0.61 vs. 7.09 ± 0.41 , $p=0.018$), Se (0.266 ± 0.032 vs. 0.373 ± 0.026 , $p=0.007$), and Zn (75.5 ± 12.2 vs. 104.8 ± 6.8 , $p=0.045$) were found in the hair samples compared to newborns without pathology. The content of other microelements in the hair samples did not differ significantly between the groups. Thus, the microelement composition of tail hair in calves with IUGR has a specific profile distinct from that of newborns without pathology. The results suggest a possible role of intrauterine deficiency of Cu, Se, and Zn in the genesis of fetal IUGR in cattle.

KEYWORDS: microelements, cattle, intrauterine growth retardation.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-28

УРОВЕНЬ УСВОЕНИЯ И КУМУЛЯЦИИ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖМЫХОВ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Я.А. СизенцовФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН,
Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние жмыхов (конопляный, льняной и подсолнечный) в концентрациях 5 и 10% от общего рациона цыплят бройлеров на уровень усвоения и накопления токсичных элементов. Цель работы – анализ усвоения и кумуляции токсичных элементов из группы тяжелых металлов (Al, Cd, Pb). Результаты исследования свидетельствуют о значительном снижении исследуемых элементов в биологических образцах большинства исследуемых групп. Однако выраженного дозозависимого эффекта между дозой и типом жмыха и системном снижении всех анализируемых ксенобиотиков в исследовании не установлено.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жмых, токсичные элементы, цыплята бройлеры.

Для цитирования: Сизенцов Я.А. Уровень усвоения и кумуляции токсичных элементов при использовании различных жмыхов в кормлении цыплят-бройлеров. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):64–66. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-28.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность пищевых продуктов в настоящее время рассматривается как важная новая область в цепочке поставок продуктов питания. Куриное мясо и столовые яйца являются основными источниками белка в рационе человека (Hossain et al., 2023). Мышьак (As), свинец (Pb), кадмий (Cd) и ртуть (Hg) признаны наиболее токсичными тяжелыми металлами, постоянно выбрасываемыми в окружающую среду как из природных источников, так и в результате антропогенного производства удобрений, промышленной деятельности, и утилизация отходов. У домашней птицы биоаккумуляция As, Pb, Cd и Hg происходит во многих органах (главным образом в почках, печени, репродуктивных органах и легких) в результате постоянного воздействия тяжелых металлов на их организм (Aljohani, 2023).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, наряду с конопляным и льняным жмыхами, использовали традиционно применяемый подсолнечный жмых. Проводили комплексный анализ степени их влияния на организм цыплят бройлеров. Одним из параметров оценки перспективы использования жмыхов являлся системный анализ содержания микро- и макроэлементов в тушках экспериментальной птицы.

В условиях реализации эксперимента были сформированы группы аналогов из 7 дневных цыплят по 35 голов в каждой. Рацион интактной группы на 100% состоял из комбикорма ПК-5 и ПК-6 (Оренбургский комбикормовый завод). В опытных группах в структуру рациона вводили 5% конопляного (O₁), льняного (O₃) подсолнечного (O₅) и 10% (O₂, O₄ и O₆) от общего рациона соответственно. Для анализа уровня усвоения сравнивали показатели макроэлементов в составе кормов и помете, степень накопления элементов определяли в мышечной ткани (грудная и голень). Полученные результаты подвергали статистической обработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный сравнительный анализ содержания токсичных элементов в биологических образцах (мышечная ткань) экспериментальной птицы свидетельствует о выраженной положительной динамике снижения Al в опытных группах: на 52,69% (O₁), 25,94% (O₂), 66,71% (O₃), 74,77% (O₄), 74,87% (O₅) и 78,02% (O₆) опытных группах. Уровень содержания Cd увеличился: в группах с применением конопляного жмыха на 37,29% (O₁) и 25,42 % (O₂); 5% льняного жмыха на 15,25%; 10% подсолнечного жмыха на 37,29%. Снижение анализируемого элемента регистрируется в группах O₄ и O₅ на 20,34 и 3,39% соответственно.

Процент накопления свинца в исследуемых группах на фоне применения жмыхов снижался во всех опытных группах на 37,88% в первой, на 25,60% в третьей, на 31,06% в четвертой, на 43,00% в пятой и на 35,50% в шестой опытных группах, исключение составила вторая группа, где на фоне применения 10% добавления конопляного жмыха к основному рациону регистрируется достоверно значимое увеличение уровня содержания Pb в мышечной ткани на 70,64% ($p < 0,001$). Следует отметить отсутствие унифицированной картины эффективности применения жмыхов для снижения концентрации токсичных элементов, наиболее значимые результаты регистрируются на фоне применения подсолнечного жмыха в дозировке 5% от общего рациона. Вариабельность распределения всех исследуемых элементов в образцах других опытных групп не имеет общей закономерности.

Оценка уровня усвояемости исследуемых элементов из кормов в опытных группах по отношению к Al имела обратную к аккумуляции в мышечной ткани картину и превышала контрольный образец на 25,16% (O₁), 20,90% (O₂), 22,46% (O₃), 52,79% ($p < 0,001$) (O₄), 54,95% ($p < 0,001$) (O₅) и 18,02% (O₆). Анализ распределения кадмия имеет схожую с содержанием алюминия картину, характеризующуюся увеличением усвоения этого элемента в группах с O₂ по O₆ на 17,65%, 23,14% ($p < 0,05$), 76,47% ($p < 0,001$), 3,53% и 47,84% ($p < 0,001$) соответственно. Процент усвояемости Cd в первой опытной группе имел достоверно значимые показатели снижения по отношению к контролю на 29,02% ($p < 0,01$).

Отрицательные показатели усвоения свинца из корма регистрировались во всех экспериментальных группах, включая интактную. Максимальные достоверно значимые показатели усвоения регистрировались в первой, второй и четвертой опытных группах с превышением контрольного показателя на 49,88% ($p < 0,01$), 64,46% ($p < 0,001$) и 58,93% ($p < 0,001$) соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных данных по оценке степени влияния жмыхов в рационе птицы на уровень усвоения и накопления токсичных элементов (Al, Cd, Pb) показали отсутствие общей закономерности их балансового поступления и кумуляции в тканях в соотношении с изменением рациона кормления (введение различных концентраций исследуемых жмыхов). Так, уровень усвоения Al в тканях имеет обратную корреляционную зависимость с уровнем усвоения данного элемента из рациона. По отношению к кадмию для большинства экспериментальных групп прослеживается схожая картина. Исключение составляет уровень усвоения и накопления свинца, концентрация которого в мышечной ткани снижена практически во всех опытных группах, а уровень усвоения имеет отрицательные значения. Гипотетически данное явление можно обосновать высокими показателями сорбции данного элемента различными микроорганизмами, в том числе и формирующими микробиом желудочно-кишечного тракта (Sizentsov et al., 2020; Сизенцов и др, 2021).

Исследование выполнено в соответствии с планом НИР за 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Hossain E., Nisha M., Chowdhury M.A.Z., Rahman S.H. Human health risk assessment of edible body parts of chicken through heavy metals and trace elements quantitative analysis. PLoS One. 2023 Mar 10;18(3): e0279043. DOI: 10.1371/journal.pone.0279043.

Aljohani A.S.M. Heavy metal toxicity in poultry: a comprehensive review. Front Vet Sci. 2023 Jun 29;10: 1161354. DOI: 10.3389/fvets.2023.1161354.

Sizentsov A., Sal'nikova E., Barysheva E., et al. Biototoxicity of heavy metal salts to *Bacillus subtilis* and their sorption properties. E3S Web of Conferences 157, 02012 () Key Trends in Transportation Innovation (KTTI-2019)/ 2020; 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015702012>.

Сизенцов А.Н., Сальникова Е.В., Сизенцов Я.А., Климова Т.А. Изучение механизмов микробной биоремедиации тяжелых металлов на примере кобальта и меди. Материалы V Международной научно-практической конференции «Биоэлементы», Микроэлементы в медицине. 2021; 63–64. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-31. [Sizentsov A.N., Salnikova E.V., Sizentsov Ya.A., Klimova T.A. Study of the mechanisms of microbial bioremediation of heavy metals using the example of cobalt and copper. Materials of the V International Scientific and Practical Conference “Bioelements”, Microelements in Medicine 2021; 63–64. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-31. (In Russ.)].

LEVEL OF ABSORPTION AND CUMULATION OF TOXIC ELEMENTS WHEN USING VARIOUS CAKES IN FEEDING BROILER CHICKENS

Ya.A. Sizentsov

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences,
St. January 9, 29, Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. As part of an ongoing study to assess the effect of cakes (hemp, flax and sunflower) in concentrations of 5% and 10% of the total diet. We conducted a comprehensive analysis of the potential for their use in feeding broiler chickens. One of the stages of the project was to determine the level of absorption and accumulation of microelements in tissues depending on the diet. In this work, an analysis of the assimilation and accumulation of toxic elements from the group of heavy metals (Al, Cd, Pb) was carried out. The results of the study indicate a significant decrease in the studied elements in biological samples of most of the studied groups. However, a pronounced dose-dependent effect between the dose and type of cake and a systemic reduction in all analyzed xenobiotics was not established in the study.

KEYWORDS: cake, toxic elements, broiler chickens.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-29

РОЛЬ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАЗВИТИИ ОСТЕОПОРОЗА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

М.А. Алексанян, П.А. Нечаева, А.А. Скальный

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6

РЕЗЮМЕ. В обзоре литературы проанализирована роль макро- и микроэлементов в этиологии и патогенезе остеопороза. Дана краткая характеристика остеопороза как нозологии, отмечены группы риска по данному заболеванию, а также представлена связь отдельных макро- (кальций, фосфор и магний) и микроэлементов (цинка, меди, марганца, фтора, селена и бора, алюминия, кадмия) с метаболизмом костной ткани. Отражены взаимодействия между элементами и витаминами, описана роль тяжелых металлов в развитии остеопороза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остеопороз, макроэлементы, микроэлементы, костная ткань.

Для цитирования: Алексанян М.А., Нечаева П.А., Скальный А.А. Роль макро- и микроэлементов в развитии остеопороза: обзор литературы. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):66–68. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-29.

ВВЕДЕНИЕ

Остеопорозом страдают многие люди во всем мире. Известно, что ежегодно фиксируется большое количество тяжелых переломов костей вследствие остеопороза. Остеопороз — это хроническое заболевание костей скелета, которое связано с нарушением обмена веществ, проявляется прогрессирующим снижением плотности и нарушением структуры костной ткани (Bone, Kleerekoper, 1992).

Ключевую роль в развитии данного заболевания играют генетические факторы и дефицит эстрогенов у женщин, определяющие скорость костного обмена и снижения костной массы в период постменопаузы (Shea, et al., 2004), поведенческие факторы риска и пищевые привычки (Оглоблин и др., 2005). Также риск развития остеопороза связан с нарушением обмена микронутриентов, к которым относятся витамины и элементы. Недостаточность в организме таких витаминов, как D, B6, B12, C, K (Gillespie, et al., 2004); макроэлементов (кальция, фосфора и магния), а также микроэлементов (цинка, меди, марганца, фтора, селена и бора) оказывает влияние на нарушение метаболизма костной ткани и снижению костной массы (Скальный, Рудаков, 2004).

Важным условием успешного формирования, эффективного функционирования, жизнеспособности, своевременного самообновления и сохранности скелета является его постоянное обеспечение всеми незаменимыми пищевыми веществами в количествах, необходимых физиологическим потребностям. Дефицит любого из них, а тем более сочетанный недостаток витаминов и минеральных веществ, не может не сказаться на структуре и прочности скелета, равно как и на эффективности тех или иных мер, направленных на профилактику остеопороза (Dauson-Hughes, et al., 1990).

Кальций. Кальций является важным макроэлементом, который участвует в большинстве метаболических процессов, обеспечивает механическую жесткость костей и зубов. Он поступает извне,

причем его суточное потребление зависит от возраста человека. Из организма кальций выводится с мочой, и небольшие его потери являются естественными, однако при неправильном питании они могут быть более значительными, что приводит к нарушению равновесия кальция в организме и усиленному выходу его из костей. Потери кальция с мочой увеличиваются при избыточном потреблении поваренной соли, кофе, белка. Основным источником кальция являются молочные продукты — молоко и его производные (кефир, простокваша, ряженка, йогурт, творог, сыр). Однако у пожилых людей нередко снижена концентрация лактазы в желудочном соке, что приводит к непереносимости молочных продуктов и, следовательно, их низкому потреблению (Baksgaard et al., 1998).

Фосфор. Избыточное потребление фосфора является причиной затруднения всасывания кальция. Низкий уровень кальция в совокупности с высоким уровнем фосфора является причиной вторичного повышения уровня паратиреоидного гормона, что в свою очередь приводит к повышению резорбции костей (Погожева, 2017).

Магний. Так как основным депо магния в организме является костная ткань, можно сделать вывод, что дефицит магния связан с низкой костной массой и остеопорозом. Магний участвует в регуляции минерализации костной ткани, обеспечивает равномерный рост костей, гибкость и прочность, а также участвует в увеличении их репаративного потенциала (Погожева, 2017).

Цинк. До 60% цинка содержится в костной ткани и мышцах. Цинк – кофактор более чем 300 ферментов, которые являются участниками репликации ДНК и РНК, деления клеток. В комплексе с аминокислотой цистеином он принципиально важен для экспрессии генов (цинковые пальцы являются центральной структурой ДНК-связывающих доменов рецепторов гормональной формы витамина D, эстрогенов, прогестерона). При недостаточном поступлении цинка или нарушении его усвоения, что обычно отмечается у женщин постменопаузе, его запас быстро расходуется организмом непосредственно из костной ткани, что приводит к повышенной резорбции костей. Показано, что концентрация в сыворотке крови магния и цинка у пациенток с постменопаузальным остеопорозом и остеопенией значимо ниже, чем у здоровых женщин (O'Connor et al., 2020).

Медь. Медь является основным компонентом миелиновой оболочки. Этот элемент участвует в процессе минерализации скелета, а также в образовании коллагена за счёт того, что является кофактором лизилоксидазы, которая необходима для межмолекулярной связи коллагена и эластина. Дефицит меди является причиной угнетения роста кости, развития остеопороза, что особенно наблюдается при синдроме Менкеса (Скальный, Рудаков, 2004).

Марганец. Марганец напрямую связан с образованием костной ткани, так как входит в состав ферментов, включающихся в метаболизм аминокислот, катехоламинов, углеводов, без которых невозможен синтез холестерина и нуклеотидов. Замедление роста, повышенная хрупкость костей – это один из признаков недостатка марганца (Скальный, Рудаков, 2004).

Бор. Механизм влияния бора на метаболизм костной ткани аналогичен эффектам витамина D. Бор оказывает выраженное воздействие на процессы роста клеток костной ткани и хряща, повышение уровня белков остеогенеза – остеокальцина, коллагена 1-го типа, белков морфогенеза костей 4, 6 и 7, а также остеопонтина, сиалопротеина кости, белка Runx2. Недостаток бора приводит к снижению прочности костей за счёт сокращения популяции остеобластов относительно трабекулярного объема. Бор регулирует обмен кальция, магния и фосфора (Оберлис и др., 2008).

Фтор. В качестве профилактики остеопороза после потери костной массы трудно переоценить роль фтора. Как экспериментально, так и клинически продемонстрировано, что фтор непосредственно стимулирует костеобразование и увеличивает костную массу у пациентов, у которых уже есть остеопороз (Kleerekoper, 1998).

Кадмий. Наличие тяжёлых металлов в костной ткани, таких как кадмий, может играть основную роль в развитии остеопороза на клеточном/молекулярном и эпигенетическом уровнях. Было проведено исследование, в результате которого выяснили, что у пациентов с остеопорозом было обнаружено повышение в биопсии кадмия, свинца и хрома (Li et al., 2023).

Алюминий. Результатом избытка алюминия являются нарушение обмена таких элементов, как фосфор кальций, развитие остеопороза и многих других заболеваний опорно-двигательной системы (Song et al., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В образовании костной ткани и регуляции её правильного развития важную роль играют многие макро- и микроэлементы. Зачастую их важность заключается не просто в наличии или отсутствии определенного элемента, но и во взаимодействии между макро- и микроэлементами, как синергетическим, так и антагонистическим. Лишь при соблюдении баланса макро- и микроэлементов происходит нормальное с точки зрения физиологии образование костной ткани. При наличии дисбаланса одного определенного макро- или микроэлемента это может привести к функциональному смещению других элементов, вследствие чего возможно развитие остеопороза.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука. 2008; 145–418. [Oberlis D., Harland B., Skalny A. The biological role of macro- and microelements in humans and animals. St. Petersburg: Nauka. 2008; 145–418. (In Russ.)].
- Оглоблин Н.А., Спиричев В.Б., Батулин А.К. О потреблении населением России кальция с пищей. Вопросы питания. 2005; 5: 14–17. [Ogloblin N.A., Spirichev V.B., Baturin A.K. O potreblenii naseleniem Rossii kal'tsiia s pishchei. Voprosy pitaniia. 2005; 5: 14–17. (In Russ.)].
- Погожева А.В. Значение макро- и микроэлементов пищи в оптимизации минеральной плотности костной ткани. Consilium Medicum. 2015; 17 (2): 61–65. [Pogozheva A.V. The importance of macro- and microelements of food in optimizing bone mineral density. Medical consultation. 2015; 17 (2): 61–65. (In Russ.)].
- Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Оникс 21 век; Мир, 2004. [Skalny A.V., Rudakov I.A. Bioelements in medicine. M.: Onyx 21st century; Mir, 2004. (In Russ.)].
- Baksgaard L., Andersen K.P., Hyldstrup L. Calcium and vitamin D supplementation increases spinal BMD in healthy, postmenopausal women. *Osteoporosis Int.* 1998; 8: 225–260.
- Bone H.G., Kleerekoper M. Clinical review 39: Paget's disease of bone. *J Clin Endocrinol Metab.* 1992; 75: 1179.
- Dauson-Hughes B., Dallal G.E., Krall E.A. et al. A controlled trial of the effect of calcium supplementation on bone density in postmenopausal women. *N. Engl. J. Med.* 1990; 323(13): 878–883.
- Gillespie W.J., Avenell A., Henry D.A., et al. Vitamin D and vitamin D analogues for preventing fractures associated with involutional and postmenopausal osteoporosis (Cochrane Review). *The Cochrane Library.* 2004; Issue 1.
- Kleerekoper M. The role of fluoride in the prevention of osteoporosis. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 1998; 27(2): 441–52. DOI: 10.1016/s0889-8529(05)70015-3.
- Li R., Qu H., Xu J., et al. Association between dietary intake of α -tocopherol and cadmium related osteoporosis in population ≥ 50 years. *J Bone Miner Metab.* 2023; 41(4): 501–511. DOI: 10.1007/s00774-023-01418-x.
- O'Connor JP, Kanjilal D, Teitelbaum M, Lin SS, Cottrell JA. Zinc as a Therapeutic Agent in Bone Regeneration. *Materials (Basel).* 2020; 13(10): 2211. DOI: 10.3390/ma13102211.
- Shea B., Wells G. et al. Calcium supplementation on bone loss in postmenopausal women. (Cochrane review). *Cochrane Library.* 2004; 1.
- Song M., Jia F., Cao Z., et al. Ginsenoside Rg3 Attenuates Aluminum-Induced Osteoporosis Through Regulation of Oxidative Stress and Bone Metabolism in Rats. *Biol Trace Elem Res.* 2020; 198(2): 557–566. DOI: 10.1007/s12011-020-02089-9.

ROLE OF MACRO- AND TRACE ELEMENTS IN THE DEVELOPMENT OF OSTEOPOROSIS: A LITERATURE REVIEW

M.A. Aleksanyan, P.A. Nechaeva, A.A. Skalny

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT. The literature review analyzes the role of macro- and trace elements in the etiology and pathogenesis of osteoporosis. A brief description of osteoporosis as a nosology is given, risk groups for this disease are noted, and the relationship of individual macro- (calcium, phosphorus and magnesium) and trace (zinc, copper, manganese, fluorine, selenium and boron, aluminum, cadmium) with bone metabolism is presented. Interactions between elements and vitamins are reflected, and the role of heavy metals in the development of osteoporosis is described.

KEYWORDS: osteoporosis, macro elements, trace elements, bone tissue.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-30

КАРТОФЕЛЬНЫЙ СОК КАК ИСТОЧНИК ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

А.Е. Черницкий¹, Д.А. Оберюхтин¹, Е.П. Шанина¹, В.А. Сафонов²

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, Российская Федерация, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а

² Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, 19

РЕЗЮМЕ. Картофельный сок – новый продукт функционального питания, который благодаря отсутствию термической обработки позволяет использовать нутриенты картофеля в нативном виде и исходных концентрациях. В ходе эксперимента изучен минеральный состав соков, полученных из неочищенных клубней фиолетового (сорт Багира), розового (сорт Ли́ла) и желтого картофеля (сорт Аляска). Анализ проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Nexion 300D Perkin Elmer, США). Суточную потребность организма в минералах оценивали в соответствии с утвержденными методическими рекомендациями. Показано, что соки, полученные из картофеля трех испытываемых сортов, содержат высокие концентрации калия, фосфора и магния, покрывающие около четверти от суточной потребности организма в этих макроэлементах, но низкие – кальция и натрия. Продукт может рассматриваться в качестве источника железа, цинка, меди, марганца и кремния, однако содержание этих микроэлементов варьируется в зависимости от сорта картофеля. Концентрации других исследованных микроэлементов (йод, молибден, селен, хром, кобальт и ванадий) в соках из испытываемых сортов картофеля были низкими. Результаты исследования позволяют считать, что картофельный сок при регулярном потреблении может вносить существенный вклад в восполнение эссенциальных макро- (калий, фосфор, магний) и микроэлементов (железо, цинк, медь, марганец, кремний).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: картофель, картофельный сок, биохимия питания, макро- и микроэлементы.

Для цитирования: Черницкий А.Е., Оберюхтин Д.А., Шанина Е.П., Сафонов В.А. Картофельный сок как источник эссенциальных макро- и микроэлементов. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):69–71. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-30.

ВВЕДЕНИЕ

Картофельный сок – это новый продукт функционального питания (Шанина и др., 2024). Сок, полученный из сырых неочищенных клубней, сохраняет все нутриенты картофеля в их нативном виде и исходных концентрациях, в том числе и минералы, которые теряются при традиционных способах его кулинарной обработки (Шанина и др., 2024). Показано, что сырой картофель может быть хорошим источником калия, магния и железа (Beals, 2019; Navarre et al., 2019; Шанина и др., 2024), покрывая дефицит этих элементов в питании. В тоже время, исходя из общих тенденций мажорных и минорных компонентов картофеля, необходимо определить те сорта, которые можно рекомендовать как пищевое сырье для производства сока.

Ц е л ь р а б о т ы – провести анализ содержания эссенциальных макро- и микроэлементов в соках, полученных из неочищенных клубней картофеля трех сортов (Багира, Ли́ла, Аляска) относительно рекомендуемого уровня их суточного потребления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН по темам 0532-2021-0008 и 0532-2021-0009 Программы фундаментальных научных исследований в РФ на 2021-2030 годы. Анализу подвергался картофельный сок из неочищенных клубней трех сортов картофеля – Багира (с фиолетовой мякотью и кожурой), Ли́ла (с розовой мякотью и красной кожурой) и Аляска (с желтой мякотью и красной кожурой). Пробоподготовку свежевыжатого картофельного сока проводили в соответствии с МУК 4.1.1482-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, поливитаминных препаратах с микроэлементами, в биологически активных добавках к пище и в сырье для их изготовления методом атомной эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой». Количественное определение макро- (кальций, фосфор, магний, калий, натрий) и микроэлементов (железо, цинк, йод, медь, марганец, молибден, селен, хром, кобальт, фтор, кремний, ванадий) в образцах выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой

на приборе Nexion 300D (Perkin Elmer, США), двукратно, в условиях повторяемости, в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 5725-1; результаты выражали в мг%. Рекомендуемые уровни суточного потребления (РУСП) биоэлементов находили, руководствуясь Методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Дозу сока 250 г/сут определяли как эквивалентную норме потребления картофеля в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». Средние значения содержания минеральных веществ в картофеле получали из Информационно-аналитической системы базы данных «Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации» с сайта ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (режим доступа: <https://ion.ru/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ экспериментальных данных выявил как сходства, так и различия в минеральном составе соков, полученных из разных сортов картофеля. Содержание кальция во всех исследованных образцах было сопоставимо со средними значениями, описанными для сырого картофеля (10,0 мг%), и составило около 2,5% от РУСП. Концентрация калия (при установленных средних значениях в сыром картофеле 568,0 мг%) в соке из клубней сорта Аляска составила 403,7 мг% (28,8% от РУСП), Багира – 373,6 мг% (26,7% от РУСП), Лила – 271,6 мг% (19,4% от РУСП). В соках из картофеля с пигментированной мякотью содержание магния составило в среднем 18,7 мг% (11,1% от РУСП), фосфора 42,0 мг% (15,0% от РУСП), из клубней сорта Аляска – выше на 37,9 и 25,0% соответственно, однако уступало средним значениям в сыром картофеле. Содержание натрия во всех исследованных образцах сока было в среднем в 5,0 раз ниже значений, описанных для сырого картофеля, или менее 0,1% от РУСП. Содержание кремния в образцах было практически одинаковым для всех трех исследованных сортов и составило около 0,1 мг%, или 1,0% от РУСП. Концентрации марганца в соках из клубней картофеля с пигментированной мякотью (Багира и Лила) оказались близкими по значениям (0,08 и 0,07 мг%) и соответствовали в среднем 9,1% от РУСП. В соке из картофеля сорта Аляска марганца оказалось больше – 0,12 мг%, или 15,0% от РУСП. Сок из клубней картофеля сорта Лила показал наименьшее содержание меди – 0,04 мг% (10,0% от РУСП) против 0,09 мг% (22,5% от РУСП) и 0,11 мг% (27,5% от РУСП) в соках из картофеля сортов Багира и Аляска соответственно. По цинку, напротив, сок из картофеля сорта Лила покрывал 28,4% от РУСП, в то время как из клубней сортов Багира и Аляска – 19,5 и 17,7% от РУСП соответственно. Содержание железа в образцах можно представить убывающим рядом: Багира (1,1 мг%, или 27,4% от РУСП), Аляска (0,8 мг%, или 19,8% от РУСП), Лила (0,6 мг%, или 14,5% от РУСП). Концентрации других исследованных микроэлементов (йод, молибден, селен, хром, кобальт и ванадий) в соках из испытуемых сортов картофеля были низкими и вносили незначительный вклад в РУСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе дан анализ содержания эссенциальных макро- и микроэлементов в соках, полученных из неочищенных клубней картофеля трех сортов (Багира, Лила, Аляска) относительно рекомендуемого уровня их суточного потребления. Все исследованные соки характеризовались высоким содержанием калия, магния и фосфора и покрывали около четверти суточной потребности в этих минералах. Содержание кальция, натрия и кремния также было одинаковым во всех исследованных образцах. В тоже время сок из картофеля сорта Багира отличался высокими концентрациями железа, а из клубней сорта Лила – цинка. Самым сбалансированным содержанию эссенциальных микроэлементов оказался сок из клубней картофеля сорта Аляска: он характеризовался высоким содержанием меди и марганца при достаточном уровне железа и цинка. Результаты исследования позволяют считать, что картофельный сок при регулярном потреблении может вносить существенный вклад в восполнение эссенциальных макро- (калий, фосфор, магний) и микроэлементов (железо, цинк, медь, марганец, кремний).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Шанина Е. П., Оберюхтин Д.А., Черницкий А.Е. Картофель: новый взгляд на традиционный пищевой продукт и его употребление в виде сока (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2024; 59(1): 22–38. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.1.22rus. [Shanina E.P., Oberiukhtin D.A., Chernitskiy A.E. Potato juice vs. traditional potato use – a new insight (review). Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya. 2024; 59(1): 22–38. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.1.22rus. (In Russ.).]

Beals K.A. Potatoes, nutrition and health. Am. J. Potato Res. 2019; 96: 102–110. DOI: 10.1007/s12230-018-09705-4.

Navarre D.A., Brown C.R., Sathuvalli V.R. Potato vitamins, minerals and phytonutrients from a plant biology perspective. Am. J. Potato Res. 2019; 96: 111–126. DOI: 10.1007/s12230-018-09703-6.

POTATO JUICE AS A SOURCE OF ESSENTIAL MACRO- AND TRACE ELEMENTS

A.E. Chernitskiy¹, D.A. Oberiukhtin¹, E.P. Shanina¹, V.A. Safonov²

¹ Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Belinskogo str., 112a, Yekaterinburg, 620142, Russian Federation

² Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Kosygina str., 19, Moscow, 119991, Russian Federation

ABSTRACT. Potato juice is a new product of functional nutrition, which, due to the absence of heat treatment, allows the use of potato nutrients in their native form and initial concentrations. The mineral composition of juices obtained from raw tubers of purple (Bagheera variety), pink (Lila variety) and yellow potatoes (Alaska variety) was studied during the experiment. The analyses were performed by inductively coupled plasma mass spectrometry (Nexion 300D Perkin Elmer, USA). The daily requirement of the organism in minerals was estimated in accordance with the approved methodological recommendations. It is shown that juices obtained from potatoes of three tested varieties contain high concentrations of potassium, phosphorus and magnesium, covering about a quarter of the daily requirement of the organism in these macronutrients, but low concentrations of calcium and sodium. The product can be considered as a source of iron, zinc, copper, manganese and silicon, but the content of these trace elements varies depending on the potato variety. The concentrations of other trace elements studied (iodine, molybdenum, selenium, chromium, cobalt and vanadium) in juices from the tested potato varieties were low. The results of the study suggest that potato juice, when consumed regularly, can make a significant contribution to the replenishment of essential macro- (potassium, phosphorus, magnesium) and trace elements (iron, zinc, copper, manganese, silicon).

KEYWORDS: potato, potato juice, nutritional biochemistry, macro- and trace elements.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-31

ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ ЛЕБЯЖКА

И.В. Шаврина, О.В. Чекмарева

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр-т Победы, 13

РЕЗЮМЕ. В результате хозяйственной деятельности существует большое количество источников загрязнения природных вод: это воды с полей, огородов и улиц населенного пункта, несущие взвешенные вещества, органические соединения, а также разнообразные сточные воды от промышленных предприятий и транспортно-дорожного комплекса. Все это негативно сказывается на качестве природных вод и водной биоте. В работе освещаются результаты исследований биологического разнообразия р. Лебяжка, а также представлен химический анализ донных отложений. Доминирующим видом гидробионтов в данном биоценозе считаются личинки комаров. Они являются характерными обитателями загрязненных водоемов и водотоков. Причем численность гидробионтов в точке, где водный объект еще не испытывает сильное антропогенное воздействие, гораздо выше, чем в точке, находящейся на границе поселка Новосергиевка. Таким образом, сокращение численности и биологического разнообразия может быть вызвано поступлением загрязняющих веществ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экология, гидробионты, макрозообентос, малые реки, донные отложения, загрязняющие вещества.

Для цитирования: Шаврина И.В., Чекмарева О.В. Исследования макрозообентоса реки Лебяжка. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):71–75. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-31.

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенное воздействие на водную среду представляет опасность для населяющей ее биоты. Загрязнение водной среды обитания является одной из важнейших экологических проблем, представляющей интерес из-за его вредного воздействия на живые организмы, их биологическое разнообразие и качество воды.

Макрозообентос – неотъемлемая часть водных экосистем. Макрозообентосная фауна, включающая моллюсков, мелких ракообразных и личинок насекомых, составляет основную кормовую базу рыб и водоплавающих птиц. Благодаря высокой численности и большому видовому разнообразию, а также относительно короткому жизненному циклу гидробионты являются лучшими индикаторами изменения качества воды малых рек (Golovatyuk et al., 2023).

Стабильные пресноводные экосистемы характеризуются большим разнообразием видов, большинство из которых представлено относительно небольшим количеством особей. Однако при антропогенном воздействии на поверхностные водные объекты происходит изменение физических и химических показателей качества, которые отражаются на гидробионтах. В частности, в таких водотоках и водоемах встречается большое количество особей лишь нескольких видов (Charman, 1996).

Малые реки не только участвуют в формировании стока более крупных рек, но также очень сильно влияют на качество их воды. Кроме того, такие реки представляют собой наибольшую по численности категорию водотоков. Именно поэтому биоиндикация малых водотоков имеет большое значение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбрана р. Лебяжка – малый равнинный водоток, протекающий по территории Оренбургской области. Частично объект исследования находится в зоне воздействия предприятия нефтегазовой отрасли, что не может положительно сказываться на качестве его воды. Также р. Лебяжка протекает через поселок Новосергиевка, а, следовательно, принимает в себя загрязненные стоки с сельскохозяйственных участков и обочин автомобильных дорог.

Биоиндикацию р. Лебяжка проводили путем исследования макрозообентоса. Для исследования были определены две точки отбора проб: точка А – на начальной границе п. Новосергиевка, где водный объект начинает испытывать антропогенное воздействие; точка Б – на конечной границе населенного пункта, в месте впадения Лебяжки в реку Самару.

Исследования проводили в осенние сезоны 2020–2021 гг. В 2021 г. в точке А отбор донных отложений не производился в связи с усыханием русла реки.

Проб донных отложений отбирали с помощью гидробиологического скребка с шириной лезвия 16 см. Грунт промывали через ситовую ткань с размером ячеек 300 мкм. Донные беспозвоночные фиксировались 4%-ным раствором формальдегида для предотвращения их разложения. Бентос изучали в фиксированном состоянии с применением светового микроскопа марки МБС-2 (Шайхутдинова, 2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Количественные характеристики макрозообентоса, обитающего в реке Лебяжка, представлены в таблице и на рис 1.

Данные рис. 1 показывают, что численность гидробионтов в точке, где водный объект еще не испытывает сильного антропогенного воздействия, гораздо выше, чем в точке Б (находящейся на границе поселка Новосергиевка).

По результатам, приведенным в таблице, видно, что доминирующим видом гидробионтов в данном биоценозе являются личинки комаров (*Culex pipiens*). Личинки комаров, также, как и прудовики (*Lymnaeidae*), являются характерными обитателями загрязненных водоемов и водотоков, то есть организмами с низкой чувствительностью (Яичникова и др., 2019). В тоже время в верхнем створе (точка А) исследуемого водного объекта обитают поденки (*Ephemeroptera*), являющиеся обитателями чистых вод (Королева и др., 2020). Но их численность невелика и в течение года данный вид перестает обитать в р. Лебяжка. Следовательно, качество воды в реке Лебяжка снизилось.

Однако следует учесть, что в исследуемом поверхностном водном объекте обитают двухстворчатые моллюски – перловицы (*Unio pictorum*), которые высокочувствительны к загрязнению окружающей среды и обитают преимущественно в чистых водоемах. Кроме того, их численность в первом створе (точка А) в 2021 г. возросла в 4 раза по сравнению с 2020 г., а во втором створе (точке Б) возросла в три раза.

Результаты химического анализа донных отложений р. Лебязка представлены на рис. 2.

Таблица. **Динамика численности гидробионтов в донных отложениях, экз/м²**

Группа гидробионтов	Точка А		Точка Б	
	2020	2021	2020	2021
Гаммарусы (<i>Gammarus</i>)	50	–	–	–
Личинки комаров (<i>Culex pipiens</i>)	3550	4362	125	1387
Личинки мух (<i>Muscidae</i>)	12	25	–	37
Личинки стрекоз (<i>Odonata</i>)	–	–	–	62
Олигохеты (<i>Oligochaeta</i>)	325	–	25	–
Перловицы (<i>Unio pictorum</i>)	12	50	25	75
Пиявки (<i>Hirudinea</i>)	37	–	50	75
Поденки (<i>Ephemeroptera</i>)	37	–	–	–
Прудовики (<i>Lymnaeidae</i>)	12	212	50	162
Трубочники (<i>Tubifex tubifex</i>)	–	262	–	100

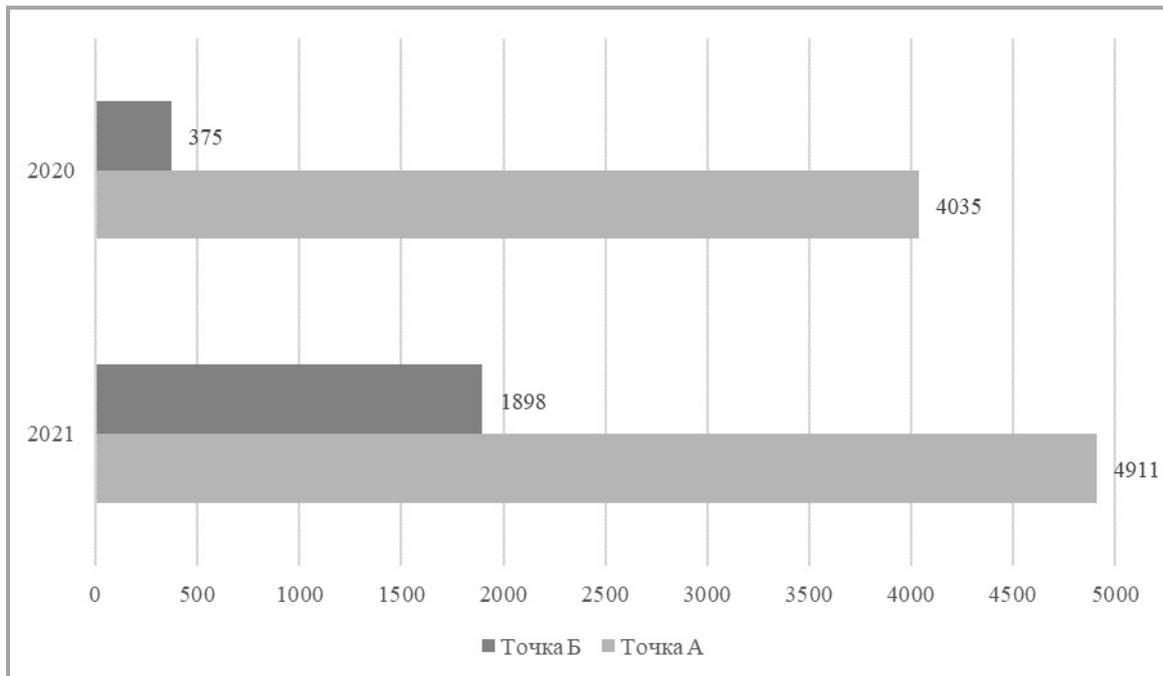


Рис. 1. Общая численность гидробионтов в донных отложениях р. Лебязка (экз/м²)

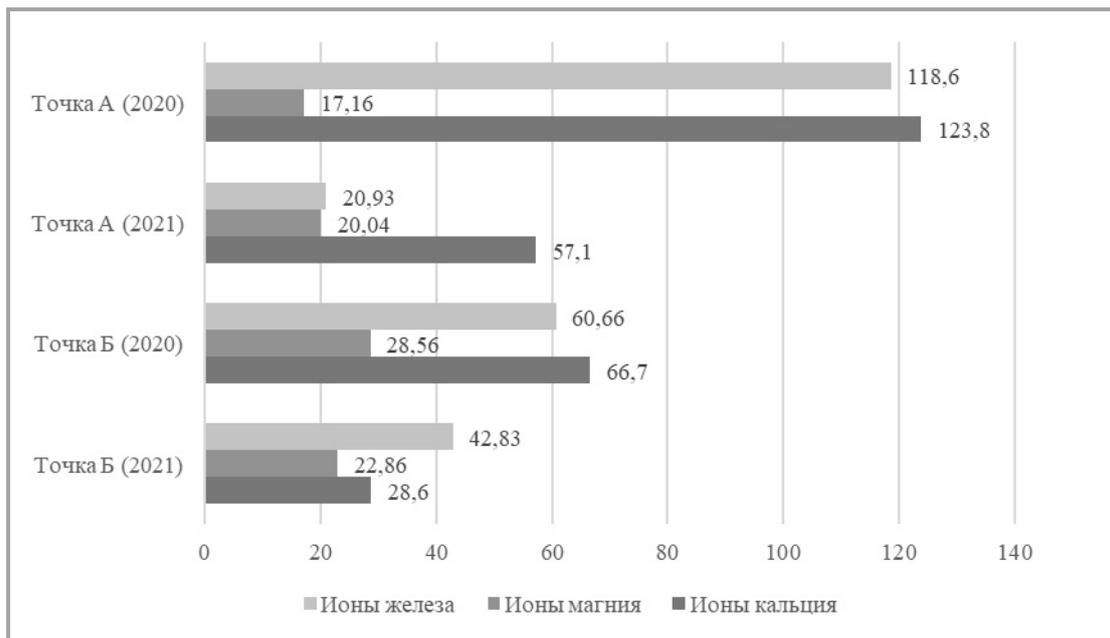


Рис. 2. Концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях р. Лебяжка (мг/кг)

Исходя из данных, представленных на рис. 2, можно сделать вывод, что наибольший вклад в загрязнение донного субстрата вносят ионы кальция, а наименьший – ионы магния. Магний и кальций являются одними из основных компонентов ионного состава природных вод. Вследствие слабой растворимости солей кальция они выпадают в осадок. Их осаждению способствует высокая температура воды (Ушакова, 2014).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучен видовой состав макрозообентоса, обитающего в донных отложениях малой реки Лебяжка. На основании того, что стабильные экосистемы характеризуются высоким разнообразием и малой численностью особей различных видов, можно сделать вывод о том, что данная водная экосистема не является достаточно устойчивой.

Сокращение биологического разнообразия может быть вызвано поступлением загрязненных сточных вод с полей, огородов и улиц населенного пункта в водоток. При этом увеличение количества питательных веществ и снижение конкуренции со стороны других видов позволяет нескольким видам развиваться до высокой плотности популяции.

ЛИТЕРАТУРА

Golovatyuk L.V., Nazarova L.B., Kalioujnaia I.J., Grekov I.M. Taxonomic Composition and Salinity Tolerance of Macrozoobenthos in Small Rivers of the Southern Arid Zone of the East European Plain. *Biology (Basel)*. 2023; 12(9): 1271. DOI:10.3390/biology12091271.

Chapman D. *Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. London, 1996; 609 с.

Шайхутдинова А.А. Экологические методы оценки качества водоемов с помощью гидробионтов: практикум для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 05.03. 06 Экология и природопользование и 20.03. 01 Техносферная безопасность. 2020.

Яичникова О.Н., Куприянова М.Ю. Беспозвоночные гидробионты как индикаторы качества воды. *Природные и социальные экосистемы*. 2019; 196–200.

Королева Е.С., Понамарев В.С., Кострова А.В. Оценка экологического состояния биоценоза р. Бердь в окрестностях села старососедово искитимского района новосибирской области. *Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии*. – 2020; 117–121.

Ушакова О.С., Третьякова А.Н. Исследование химического состава донных отложений Исетского водохранилища. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2014; 5: 61–71.

STUDIES OF THE MACROZOOBENTHOS OF THE LEBYAZHKA RIVER

I.V. Shavrina, O.V. Chekmareva

Orenburg State University,
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation

ABSTRACT. As a result of economic activity, there are a large number of sources of pollution of natural waters: these are waters from fields, gardens and streets of the settlement, carrying suspended solids, organic compounds, as well as a variety of wastewater from industrial enterprises and the transport and road complex. All this negatively affects the quality of natural waters and aquatic biota. This paper highlights the results of studies of samples of bottom sediments of the Lebyazhka river, as well as the chemical analysis of bottom sediments. The dominant species of hydrobionts in this biocenosis are mosquito larvae. They are characteristic inhabitants of polluted reservoirs and water-courses. Moreover, the number of aquatic organisms at the point where the water body is not yet experiencing strong anthropogenic impact is much higher than at the point located on the border of the village of Novosergievka. Thus, the decrease in abundance and biological diversity may be caused by the influx of pollutants.

KEYWORDS: ecology, hydrobionts, macrozoobenthos, small rivers, bottom sediments, pollutants.

REFERENCES

- Golovatyuk L.V., Nazarova L.B., Kalioujnaia I.J., Grekov I.M. Taxonomic Composition and Salinity Tolerance of Macrozoobenthos in Small Rivers of the Southern Arid Zone of the East European Plain. *Biology (Basel)*. 2023; 12(9): 1271. DOI:10.3390/biology12091271.
- Chapman D. *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. London. 1996; 609 p.
- Shaikhutdinova A.A. Ecological methods of assessing the quality of reservoirs with the help of hydrobionts: a workshop for students of educational programs of higher education in the areas of training 05.03.06 Ecology and nature management and 20.03.01 Technosphere safety. 2020. (In Russ.).
- Ovichnikova O.N., Kupriyanova M.Yu. Invertebrate hydrobionts as indicators of water quality. *Natural and social ecosystems*. 2019; 196–200. (In Russ.).
- Koroleva E.S., Ponamarev V.S., Kostrova A.V. Assessment of the ecological state of the biocenosis of the Berd river in the vicinity of the village of Starososedovo in the Iskitimsky district of the Novosibirsk region. *Global and regional aspects of sustainable development: modern realities*. 2020; 117–121. (In Russ.).
- Ushakova O.S., Tretyakova A.N. Investigation of the chemical composition of bottom sediments of the Iset reservoir. *Water management in Russia: problems, technologies, management*. 2014; 5: 61–71. (In Russ.).

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-32

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЕЧЕНИ И МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПАТТЕРНОМ ИХ КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА

Д.Г. Дерябин¹, К.С. Лазебник¹, Л.В. Власенко¹, И.Ф. Каримов^{2,1},
Д.Б. Косян¹, А.М. Затевалов^{3,1}, Ш.Г. Рахматуллин¹, Г.К. Дускаев¹

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, Оренбург, ул. 9 января, д. 29

² Оренбургский государственный медицинский университет Минздрава России, Российская Федерация, 460014, Оренбург, ул. Советская, д.6

³ Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского, Российская Федерация, 125212, Москва, ул. Адмирала Макарова, д. 10

РЕЗЮМЕ. Целью исследования явился анализ ассоциаций между составом микробиома кишечника и накоплением основных макро- и микроэлементов в печени и мышечной ткани цыплят-бройлеров. По результатам метагеномного анализа описаны два альтернативных паттерна микробиома слепого отдела кишечника птицы, первый из которых характеризовался доминированием типа *Bacteroidota*, а второй – значительной представленностью типа *Bacillota*, дополняемой присутствием типов *Actinomycetota*, *Cyanobacteriota* и *Thermodesulfobacteriota*. В биосубстратах цыплят-бройлеров, кишечная микробиота которых была отнесена к *Bacteroidota*-доминирующему или *Bacillota*-обогащенному паттернам, показаны выраженные различия в накоплении большинства анализируемых

химических элементов: Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr и Zn против Cr, Si и V соответственно. Полученные данные впервые демонстрируют комплексный характер взаимоотношений в системе «кишечный микробиом – элементный статус организма-хозяина», что необходимо учитывать при проведении соответствующих фундаментальных и прикладных медико-биологических исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: макро- и микроэлементы, кишечный микробиом, цыплята-бройлеры.

Для цитирования: Дерябин Д.Г., Лазебник К.С., Власенко Л.В., Каримов И.Ф., Косян Д.Б., Затевалов А.М., Рахматуллин Ш.Г., Дускаев Г.К. Микроэлементный состав печени и мышечной ткани цыплят-бройлеров определяется паттерном их кишечного микробиома. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):75–78. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-32.

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования свидетельствуют о важной роли микробиоты в определении элементного статуса организма-хозяина. Основой для этого является модификация физико-химических условий в просвете кишечника, определяющих биодоступность многих макро- и микроэлементов; их конкурентное поглощение бактериальными клетками; а также воздействие микробных метаболитов на системы активного транспорта (Грабеклис и др., 2023). Однако большинство подобных исследований связано с анализом эффектов избранных бактериальных таксонов на обмен ограниченного количества соединений (Мирошников и др., 2005; Кван и др., 2006), что не позволяет сформировать целостную картину взаимоотношений в системе «микробиота – микроэлементы». Отправной точкой для нового взгляда на обсуждаемую проблему являются представления о кишечной микробиоте как целостной функционально структурированной системе – микробиоме (Berg et al., 2020). При этом композиция кишечного микробиома является не случайной, а её вариации обычно стратифицированы, а не непрерывны, что реализуется в существовании нескольких дискретных состояний, обозначаемых терминами «энтеротипы» у человека (Arumugam et al., 2011) или «паттерны» у животных (Deryabin et al., 2024). Целью настоящего исследования явился поиск ассоциаций между отдельными паттернами микробиома слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров и накоплением в их печёночной и мышечной ткани основных биогенных и токсичных химических элементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены данные о 36 сериях цыплят-бройлеров, 7 из которых (контрольные) находились на базовом рационе кормления, а 29 (экспериментальные) получали добавки на основе антибиотиков, пробиотиков, малых молекул растительного происхождения или их сочетания. Состав микробиома слепого отдела кишечника изучали методами метагеномики на основе анализа вариабельности V3-V4 региона гена 16S рРНК. Подготовку ДНК-библиотек и их секвенирование выполняли с использованием реагентов и оборудования производства Illumina Inc. на платформе MiSeq. Таксономическую афилиацию полученных прочтений проводили в соответствии с интернет-браузером NCBI и базой данных GTDB. Паттерны кишечного микробиома определяли на основе многопараметрического учета ассоциаций, кластеризации и факторного анализа. Компонентный состав печени, грудных и бедренных мышц по 25 макро- и микроэлементам анализировали методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Agilent 7900 с системой ВЭЖХ 1260 Infinity II BIO-Inert. Различия в распределении химических элементов между группами цыплят-бройлеров, характеризующимися определенными паттернами микробиома слепого отдела кишечника, оценивали с использованием U-теста при уровне значимости $p < 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Метагеномный анализ показал присутствие в микробиоме слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров 11 крупных рангов – типов (филумов), подразделяемых на 18 классов, 28 отрядов, 64 семейства и на наиболее детализированном таксономическом уровне представленных 140 бактериальными родами. Анализ их распределения и совместного присутствия в микробиомах свидетельствовал об обьективном существовании двух альтернативных паттернов, первый из которых характеризовался выраженным доминированием типа *Bacteroidota*, а второй – значительной представленностью типа *Bacillota*, дополняемой присутствием типов *Actinomycetota*, *Cyanobacteriota* и *Thermodesulfobacteriota*, в связи с

чем был обозначен нами как *Bacillota*+АСТ паттерн. Принадлежность к *Bacteroidota*-доминирующему паттерну установлена для 15 анализируемых серий, а *Bacillota*+АСТ паттерн кишечного микробиома констатирован у цыплят-бройлеров из 21 серий. Анализ распределения химических элементов в группах цыплят-бройлеров с альтернативными паттернами микробиома слепого отдела кишечника показал множественные и выраженные ($p < 0,001$) различия их накопления в органах и тканях, используемых в качестве продуктов мясного птицеводства. При этом наиболее существенные отличия (по 19 из 25 определяемых элементов) зафиксированы в печени (П), в то время как в грудной (ГМ) и бедренной (БМ) мышцах они включали 12 и 13 элементов соответственно. Доминирование в кишечном микробиоме представителей типа *Bacteroidota* во всех исследуемых биологических субстратах приводило к повышенному накоплению биогенных элементов – К, Na, Mg, Ca и P, а также ряда микроэлементов – Cu, I и Mn, при избирательном увеличении определяемых концентраций Al, Co, Fe, Ni, Se, Zn в печени и В в бедренных мышцах. В этой же группе в некоторых биологических субстратах отмечено повышенное накопление ряда токсичных элементов: As (ГМ/БМ), Cd (ГМ), Pb (П), Sn (П), Sr (П). В свою очередь в группах цыплят-бройлеров, кишечный микробиом которых был отнесен к *Bacillota*+АСТ паттерну, на фоне сниженного присутствия вышеназванных макро- и микроэлементов элементов в ряде биологических субстратов отмечено существенное накопление Cr (ГМ/БМ), Si (П/ГМ/БМ) и V (П/БМ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует комплексный характер взаимоотношений в системе «микробиота кишечника – элементный статус макроорганизма», в рамках которого определенному паттерну кишечного микробиома соответствует многокомпонентный профиль химических элементов в органах и тканях организма-хозяина. На примере цыплят-бройлеров, характеризующихся *Bacteroidota*-доминирующим и *Bacillota*+АСТ паттернами микробиома впервые показан определяемый этими различиями альтернативный характер накопления большинства анализируемых макро- и микроэлементов: Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr и Zn против Cr, Si и V соответственно.

В метаанализ включены экспериментальные группы, получавшие химически синтезированные аналоги молекул растительного происхождения, которые были обработаны в соответствии с грантом РФ № 22-16-00036. Другие экспериментальные группы, которым добавляли экстракт коры дуба, пробиотические добавки или антибиотик хлортетрациклин, были сформированы на основе проекта FNWZ-2022-0010.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Грабеклис В.В., Делюкина О.В., Савко С.А. Взаимодействие эссенциальных элементов и кишечной микробиоты: обзор литературы. Микрорэлементы в медицине. 2023. 24(3): 12–21. [Grabeklis V.V., Delyukina O.V., Savko S.A. Interaction of essential elements and intestinal microbiota: review. Trace elements in medicine. 2023. 24(3): 12–21. (in Russ.)].

Кван О.В., Мирошников С.А., Дерябин Д.Г., Беседин В.Н. Неоднозначность влияния пробиотиков на обмен токсических элементов в организме кур-несушек. Вестник Оренбургского государственного университета. 2006; 2S(52): 28–30. [Kvan O.V., Miroshnikov S.A., Deryabin D.G., Besedin V.N. The ambiguity of the effect of probiotics on the metabolism of toxic elements in the body of laying hens. Bulletin of the Orenburg State University. 2006; 2S(52): 28–30. (in Russ.)].

Мирошников С.А., Кван О.В., Дерябин Д.Г., Нотова С.В. Влияние перорального приема препарата bifidobacterium longum на величину эндогенных потерь ионов тяжелых металлов. Вестник Оренбургского государственного университета. 2005; 2S-2(40): 44–46. [Miroshnikov S.A., Kvan O.V., Deryabin D.G., Notova S.V. The effect of oral administration of bifidobacterium longum on the amount of endogenous losses of heavy metal ions. Bulletin of the Orenburg State University. 2005; 2S-2(40): 44–46. (in Russ.)].

Arumugam M., Raes J., Pelletier E., et al. Enterotypes of the human gut microbiome. Nature. 2011; 12; 473(7346): 174–80. DOI: 10.1038/nature09944. Epub 2011 Apr 20. Erratum in: Nature. 2011 Jun 30; 474(7353): 666. Erratum in: Nature. 2014 Feb 27; 506(7489): 516.

Berg G., Rybakova D., Fischer D., et al. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. Microbiome. 2020; 30; 8(1): 103. DOI: 10.1186/s40168-020-00875-0. Erratum in: Microbiome. 2020, 20;8(1):119.

Deryabin D., Lazebnik C., Vlasenko L., Karimov I., Kosyan D., Zatevalov A., Duskaev G. Broiler Chicken Cecal Microbiome and Poultry Farming Productivity: A Meta-Analysis. Microorganisms. 2024; 12: 747; <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040747>.

TRACE ELEMENTS CONTENT IN THE LIVER AND MUSCLE OF BROILER CHICKENS DEPENDS ON THEIR GUT MICROBIOME PATTERN

D.G. Deryabin¹, Ch.S. Lazebnik¹, L.V. Vlasenko¹, I.F. Karimov^{2,1},
D.B. Kosyan¹, A.M. Zatevalov^{3,1}, S.G. Rakhmatullin¹, G.K. Duskaev¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences,
January 9 str., 29, 460000, Orenburg, Russian Federation

²Orenburg State Medical University of the Ministry of Health of Russian Federation,
Sovetskaya str., 6, 460014, Orenburg, Russia

³G.N. Gabrichevsky Research Institute for Epidemiology and Microbiology,
Admiral Makarov str., 10, 125212, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT. The study presents the associations between the gut microbiome composition and the essential macro- and trace elements accumulation in the liver and muscle tissue of broiler chickens. Metagenomic analysis of the chicken cecum revealed two alternative microbiome patterns, the first of which was characterized by the *Bacteroidota* phylum dominance, and the second was enriched in the *Bacillota* phylum, supplemented by the *Actinomycetota*, *Cyanobacteriota* and *Thermodesulfobacteriota* phyla members. Biosubstrates from broiler chickens belonging to the *Bacteroidota*-dominant or *Bacillota*-enriched microbiome patterns showed significantly different contents for most of the analyzed chemical elements: Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr and Zn versus to Cr, Si and V, respectively. These data demonstrate complex relationships in the “gut microbiome – host elemental status” system that need to be taken into account for relevant basic and applied biomedical research.

KEYWORDS: macro- and trace elements, gut microbiome, broiler chickens.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-33

ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ЙОДА НА ВЫРАЖЕННОСТЬ СИМПТОМОВ ПЕРИМЕНОПАУЗЫ

Е.А. Дубровина¹, С.К. Кшнясева^{1,2}, О.Д. Константинова¹,
Г.В. Дубровина², А.А. Федорова¹

¹Оренбургский государственный медицинский университет,
Российская Федерация, 460014, Оренбург, ул. Советская, д. 6

²Оренбургский клинический перинатальный центр,
Российская Федерация, 4600406, Оренбург, ул. Гагарина, д. 23

РЕЗЮМЕ. По статистике средняя продолжительность жизни женской популяции неуклонно растет и более 1/3 своей жизни женщина находится в периоде пери- и постменопаузы. Перименопауза включает период менопаузального перехода и 12 месяцев после последней самостоятельной менструации. У женщин в период перименопаузы и ранней постменопаузе увеличивается частота заболеваний щитовидной железы. Такая высокая распространенность данной патологии возникает вследствие природного дефицита йода практически на всей территории Российской Федерации. Учитывая неизбежность климактерического перехода и возможные негативные последствия, все более пристальное внимание уделяется глобальным факторам, определяющим здоровье, таким как питание с соответствующим потреблением необходимого количества макро- и микроэлементов, адекватная физическая активность, полноценный сон. Особенно акценты в питании делаются при наличии эндемического дефицита того или иного компонента или трудности его естественного восполнения. Поэтому взаимосвязь симптомов менопаузы и дефицита микроэлементов очень актуальна, а восполнение йододефицита оказывает благоприятное влияние на процессы формирования и развития организма. Представлены исследования, доказывающие влияние уровня йода на особенности течения перименопаузы и состояний, сопровождающих ее (нарушение когнитивных функций, изменение метаболизма костной ткани, частота аномальных маточных кровотечений, риск сердечно-сосудистых заболеваний).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ранняя постменопауза, перименопауза, климактерический синдром, гипотиреоз, гипертиреоз.

Для цитирования: Дубровина Е.А., Кшнясева С.К., Константинова О.Д., Дубровина Г.В., Федорова А.А. Влияние дефицита йода на выраженность симптомов перименопаузы. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):78–80. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-33.

ВВЕДЕНИЕ

Период менопаузального перехода – это важнейший этап в жизни любой женщины, сопровождающийся разнообразными биологическими и эндокринными изменениями (Цветкова, 2017). Доказано, что на всей территории Российской Федерации существует природный дефицит йода (Мельниченко, 2019). Оренбургская область относится к региону зобной эндемии, в которой существует дефицит йода в почве, воде и продуктах питания, это является одной из причин заболеваемости населения, связанной с болезнями эндокринной системы.

Ц е л ь р а б о т ы – анализ представленных в современной литературе данных о взаимосвязи уровня йода и особенности течения перименопаузы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обзор литературных источников, посвященных влиянию уровня йода на особенности течения перименопаузы и состояний, ее сопровождающих, основан на данных отечественных и зарубежных исследованиях, полученных в результате выборочного поиска в электронных базах PubMed, Medline и eLibrary с 2014 г. по 2023 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ретроспективное исследование (Goyal et al., 2020), в котором приняли участие 100 женщин в перименопаузе (40–55 лет), показало, что субклинический гипотиреоз присутствует у 18% женщин в перименопаузе, повышенный уровень ТТГ связан с артериальной гипертензией, гипертриглицеридемией и повышенным соотношением ХС/ЛПВП-С и нехолестеринемическими ЛПВП, ТТГ положительно коррелирует с общим уровнем холестерина. Поэтому следует своевременно выявлять субклинический гипотиреоз с целью снижения риска ускоренного развития атеросклероза и преждевременной ишемической болезни сердца.

В описательное поперечное исследование, проведенное в Индии в течение 16 мес, были включены 150 пациенток с аномальными маточными кровотечениями в перименопаузе и ранней постменопаузе. У 48% пациентов был нарушен профиль щитовидной железы, причем чаще встречался гипотиреоз (91,6%). Увеличение толщины эндометрия чаще наблюдалось у пациенток в постменопаузе (4,3%) по сравнению с пациентками в перименопаузе (0,7%). Таким образом, дисфункция щитовидной железы, особенно гипотиреоз, является существенным фактором, способствующим возникновению аномальных маточных кровотечений (Sahu et al., 2023).

Исследование Shaikh et al., 2017 показало, что гипотиреоз наблюдался у 12,2% женщин в возрасте 45–50 лет, у 11,1% в возрасте 51–55 и у 33,3% в возрасте 56–60 лет. Данные результаты говорят о высокой частоте гипотиреоза среди всех трех возрастных групп ($p = 0,050$).

В результате исследования Познанского медицинского университета выявлена отрицательная корреляция между свободным Т4 и временем с момента последней менструации ($r = -0,38$; $p = 0,02$), между концентрацией ТТГ в сыворотке крови и потоотделением ($r = -0,18$; $p = 0,03$), общей слабостью ($r = -0,17$; $p = 0,03$) и сердцебиением ($r = -0,18$; $p = 0,02$), а также положительная корреляция между FT4 и нервозностью ($r = 0,34$; $p = 0,007$) и учащенным сердцебиением ($r = 0,25$; $p = 0,04$). В подгруппе в перименопаузе наблюдалась положительная корреляция между свободным Т4 и общей слабостью ($r = 0,42$; $p = 0,03$), учащенным сердцебиением ($r = 0,50$; $p = 0,009$) и парестезиями ($r = 0,46$; $p = 0,01$). В подгруппе в постменопаузе наблюдалась отрицательная корреляция между уровнем ТТГ и потоотделением ($r = -0,21$; $p = 0,03$). Таким образом, симптомы менопаузы связаны со статусом щитовидной железы у женщин в перименопаузе и постменопаузе (Usha et al., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С возрастом распространенность заболеваний щитовидной железы увеличивается, особенно у женщин в пери- и постменопаузе. Проведенный анализ исследований показывает, что дефицит йода и связанная с ним дисфункция щитовидной железы играют большую роль в особенности течения перименопаузы, влияют на возникновение нарушений менструальной функции, способствуют повышению сердечно-сосудистого риска, ускоряя развитие атеросклероза и преждевременной ишемической болезни сердца, а также оказывают влияние на минеральную плотность костной ткани.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Платонова Н.М., Панфилова Е.А., и др. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат). *Consilium Medicum*. 2019; 21(4): 14–20. [Melnichenko GA, Troshina EA, Platonova NM, Panfilova EA, Rybakova AA, Abdulkhabirova FM, Bostanova FA. Iodine deficiency thyroid disease in the Russian Federation: the current state of the problem. Analytical review of publications and data of official state statistics (Rosstat). *Consilium Medicum*. 2019; 21(4):14–20. (In Russ.)].

Цветкова Т.П. Новые подходы к диагностике и лечению ранней симптоматики патологических проявлений климактерического синдрома. *Sciences of Europe*. 2017; 12-2(12). [Tsvetkova T.P. New approaches to the diagnosis and treatment of early symptoms of pathological manifestations of menopausal syndrome. *The sciences of Europe*. 2017; 12-2(12): 119–121. (In Russ.)].

Goyal G., Goyal L.D., Singla H., et al. Subclinical Hypothyroidism and Associated Cardiovascular Risk Factor in Perimenopausal Females. *Journal of mid-life health*. 2020;11(1):6–11. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.4103/jmh.JMH_38_19.

Sahu H.D., Varma A.V., Karmarkar S., et al. Endometrial Histopathology in Abnormal Uterine Bleeding and Its Relation With Thyroid Profile and Endometrial Thickness. *Cureus*. 2023; 15(4): e37931. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.37931>.

Shaikh S., Noor F., Ali S., Sajjad S. Hypothyroidism screening in menopausal women. *Pak J Med Health Sci*. 2017; 11: 14–7. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.4103/jmh.JMH_21_18.

Usha S.M.R., Bindu C.M., Chandrika N. Thyroid Dysfunction: An Alternate Plausibility in Perimenopausal Women! *Journal of mid-life health*. 2022;13(4):300–303. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.4103/jmh.jmh_67_22.

INFLUENCE OF IODINE DEFICIENCY ON THE SEVERITY OF PERIMENOPAUSE SYMPTOMS

*E.A. Dubrovina¹, S.K. Kshnyaseva^{1,2}, O.D. Konstantinova¹,
G.V. Dubrovina², A.A. Fedorova¹*

¹Orenburg State Medical University,
St. Sovetskaya, 6, Orenburg, 460014, Russian Federation

²Orenburg Medical Perinatal Center,
St. Gagarina, 23, Orenburg, 4600406, Russian Federation

ABSTRACT. According to statistics, the average life expectancy of the female population is steadily increasing and more than 1/3 of a woman's life is in the period of peri- and postmenopause. Perimenopause includes the period of menopausal transition and 12 months after the last independent menstruation. In women during perimenopause and early postmenopause, the incidence of thyroid diseases increases. Such a high prevalence of this pathology occurs due to natural iodine deficiency in almost the entire territory of the Russian Federation. Special emphasis is placed on nutrition in the presence of an endemic deficiency of a component or difficulty in its natural replenishment. Therefore, the relationship between the symptoms of menopause and micronutrient deficiency is very relevant, and the replenishment of iodine deficiency has a beneficial effect on the processes of formation and development of the body. The article talks about studies proving the effect of iodine levels on the features of the course of perimenopause and the conditions accompanying it (impaired cognitive function, changes in bone metabolism, the frequency of abnormal uterine bleeding, the risk of cardiovascular diseases).

KEYWORDS: perimenopause, early postmenopause, menopausal syndrome, hypothyroidism, hyperthyroidism.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-34

РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАЗВИТИИ ФЕНОТИПА БОЛЕЗНИ ВИЛЬСОНА У ГЕТЕРОЗИГОТНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ГЕНА *ATP7B*

Е.Ю. Ильичева, К. Аббас, М. Аль Фаррух, Д.Н. Магазенкова,
Н.В. Цымбаленко, Л.В. Пучкова

Университет ИТМО,
Российская Федерация, 197101, Санкт-Петербург, Кронверский проспект, 49

РЕЗЮМЕ. Болезнь Вильсона (БВ) – редкое наследственное моногенное аутосомно-рецессивное заболевание. Оно вызвано мутациями в гене *ATP7B*, кодирующем Cu-транспортную АТФазу, которые приводят к нарушению выведения Cu из организма и ее токсическому накоплению в клетках печени, мозга и других органов. Исследования БВ, в основном, проводят с участием гомозиготных носителей мутаций в гене *ATP7B* или на *Atp7b*^{-/-} мышцах. Однако число гетерозиготных носителей этого гена в некоторых регионах может достигать 3% от общего населения. Среди них часто выявляют индивидуумов, манифестирующих признаки БВ и/или болезни Паркинсона (БП), которые могут усиливаться в зависимости от различных экологических и генетических факторов. Изучено влияние высококалорийной диеты (ВКД) на развитие признаков, характерных для метаболического синдрома, ассоциированного с БВ, у *Atp7b*^{+/-} мышцей, так как пациенты с БВ склонны к его развитию. Показано, что ВКД у *Atp7b*^{+/-} мышцей не приводит к изменению показателей статуса Cu и липидного обмена. В печени *Atp7b*^{+/-} мышцей обнаруживаются структурные нарушения, характерные для БВ, переходящие в жировую дистрофию и фиброз на фоне ВКД. Масса тела *Atp7b*^{+/-} мышцей не отличается от контрольных показателей, однако, за счет гипертрофии жировых клеток, у них происходит значительное увеличение объема жировой ткани (ЖТ). Кроме того, у всех *Atp7b*^{+/-} мышцей, получавших ВКД, наблюдается активация ЖТ, сходной с бурой ЖТ и снижение уровня глюкозы в крови. Уровень мРНК Cu-ассоциированных генов снижается в печени *Atp7b*^{+/-} мышцей, получавших ВКД, и повышается в клетках подкожной ЖТ. Полученные данные свидетельствуют о необходимости врачебного контроля гетерозиготных носителей БВ для предотвращения патологий печени, метаболических нарушений, а также ранней диагностики БП, которая потенциально может развиваться у этих пациентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метаболизм меди, АТФаза Вильсона, *ATP7B*, Болезнь Вильсона, жировая ткань.

Для цитирования: Ильичева Е.Ю., Аббас К., М. Аль Фаррух, Магазенкова Д.Н., Цымбаленко Н.В., Пучкова Л.В. Роль экологических факторов в развитии фенотипа болезни Вильсона у гетерозиготных носителей гена *ATP7B*. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):81–83. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-34.

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Вильсона (БВ, гепатолентикулярная дегенерация) – наследственное моногенное аутосомно-рецессивное заболевание метаболизма меди, вызванное мутациями в гене медь-транспортной АТФазы *ATP7B*. В организме млекопитающих белок *ATP7B* локализован преимущественно в гепатоцитах и выполняет две основные функции: 1) встраивание атомов меди в апо-церулоплазмин (апо-ЦП) для формирования функционального секреторного холо-церулоплазмينا (ЦП), основного медь-транспортного белка сыворотки крови позвоночных; 2) выведение избытка меди в желчь (Shribman et al., 2021).

Дефицит или дисфункция *ATP7B* формируют четыре биохимических признака БВ: перманентно низкие концентрации ЦП и связанной с ним меди в сыворотке крови, появление в крови «свободной меди», не ассоциированной с ЦП, накопление меди в клетках печени, мозга и других органов, а также увеличение ее содержания в суточной моче (Reed et al., 2018).

Частота встречаемости БВ в популяции составляет в среднем 1-3 случая на 100 тыс. населения. Однако число гетерозиготных носителей гена БВ в некоторых регионах может достигать 2,5–7% от общего числа населения (Członkowska et al., 2018). Среди них, стандартно считающихся здоровыми, часто выявляют индивидуумов, манифестирующих один из четырех биохимических признаков БВ. Исследования, посвященные изучению роли внешних факторов на здоровье гетерозиготных носителей гена БВ, практически не проводятся. Эпидемиологический мониторинг в популяциях осложнен

генетической гетерогенностью гетерозиготных когорт, поэтому не позволяет сделать однозначные заключения.

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – оценить влияние высококалорийной диеты на развитие признаков, характерных для метаболического синдрома, ассоциированного с БВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на гетерозиготных 4-месячных самцах, полученных от мышей линии C57Bl/6 с нокаутом гена *ATP7B* (*Atp7b*^{-/-}), являющихся гено- и фенотипом БВ (*Atp7b*^{+/-} мыши). Показатели уровня ЦП, концентрации меди, содержания АЛТ и АСТ в крови и меди в печени соответствовали показателям у *Atp7b*^{+/+} мышей из этих же пометов.

Мыши были разделены на четыре группы: контрольные животные, содержавшиеся на стандартной диете (СД, 1-я группа); мыши, получавшие ВКД (2-я группа); мыши *Atp7b*^{+/-}, которые содержались на СД (3-я группа), мыши *Atp7b*^{+/-}, получавшие ВКД. Энергетическая ценность высококалорийного корма составляла 420 ккал/100 г, стандартного – 295 ккал/100 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За 18 недель эксперимента масса тела животных всех четырех групп увеличилась на приблизительно на 50% и практически не отличалась между группами. При этом у животных 2-й и 4-й групп, получавших ВКД, увеличился объем жировой ткани в 2–3 раза в областях, характерных для подкожной и висцеральной жировой клетчатки.

Концентрация меди, содержание ЦП и уровень его оксидантной активности, концентрации липидов (холестерола и триацилглицеридов) и их белковых переносчиков в сыворотке крови мышей всех групп не отличались друг от друга. У животных 2-й группы концентрация инсулина повышалась в 4 раза. При этом у гетерозиготных животных 4-й группы восстанавливалась чувствительность к инсулину и снижалась концентрация глюкозы в крови.

Гистологический анализ препаратов печени показал, что у животных дикого типа, находящихся на СД, печень сохраняла все характерные для нее структурные элементы. В печени мышей 2-й группы в гепатоцитах появлялись липидные капли разных размеров. У гетерозиготных животных 3-й группы наблюдались признаки структурных нарушений, характерные для БВ: липидные включения небольшого диаметра в цитоплазме гепатоцитов, расширенные синусоидные капилляры, заполненные эритроцитами, эозинофилы, а также зоны некроза в паренхиме печени. На фоне ВКД состояние печени у гетерозиготных животных 4-й группы еще больше ухудшалось. У них развивалась жировая дистрофия разной степени выраженности.

Анализ состояния соединительной ткани показал, что в печени гетерозиготных мышей коллагеновые волокна были не только в рыхлой соединительной ткани крупных сосудов, но и вблизи расширенных синусоидных капилляров. У этих животных наблюдались признаки некроза и жирового перерождения, что характерно для БВ. У гетерозиготных мышей 4-й группы, получавших ВКД, накопление меди в печени, характерное для БВ, сочеталось с проблемами жирового обмена, в результате чего гепатоциты группировались по несколько клеток, окруженных соединительной тканью, что свидетельствует о развитии фиброза.

Гистологический анализ препаратов подкожной жировой ткани (ЖТ) показал, что у мышей 2-й группы, получавших ВКД, средняя величина адипоцитов увеличивалась более чем в два раза. Число жировых клеток на единицу площади уменьшалось пропорционально. Это происходило за счет гипертрофии жировых клеток. Количественная оценка подкожной жировой ткани у гетерозиготных животных 3-й группы показала, что средний размер адипоцитов у мышей этой группы больше, чем у диких мышей в полтора раза. У гетерозиготных мышей, получавших ВКД, средняя площадь жировой клетки и количество клеток на 1 мм² достоверно не отличались от показателей в контрольной группе. Кроме того, у всех гетерозиготных животных, получавших ВКД, наблюдалась активация ЖТ, сходной по морфологическим критериям с бурой ЖТ, что дополнительно подтверждено с помощью ОТ-ПЦР анализа с помощью специфических праймеров к гену *ZIC1*, специфически экспрессирующемуся

в клетках бурой ЖТ. Известно, что клетки бурой ЖТ действуют в основном как источник энергии. Они не накапливают липиды, а активно их сжигают, превращая энергию в тепло. Кроме того, клетки бурой ЖТ способствуют всасыванию глюкозы из крови. Таким образом, с активацией бурой ЖТ сочетается тенденция к уменьшению средней площади адипоцитов в подкожной ЖТ у гетерозиготных мышей, получавших ВКД, и низкий уровень глюкозы в группе гетерозиготных животных, получавших ВКД, которые были описаны выше.

Анализ уровня экспрессии генов метаболической системы меди показал, что в печени мышей, содержащихся на ВКД, уровень мРНК медь-ассоциированных генов значительно снижался. У гетерозиготных мышей 4-й группы эти изменения более значительны. В клетках подкожной ЖТ у животных, получавших ВКД, уровень экспрессии генов, участвующих в металлизации ЦП, наоборот, повышался. В клетках висцеральной ЖТ ВКД не стимулировала активность генов, взятых в рассмотрение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о необходимости контроля статуса меди, режима питания и неврологических симптомов у гетерозиготных носителей мутации в гене БВ *ATP7B* для предотвращения патологий печени, метаболических нарушений, а также ранней диагностики и более эффективного лечения БВ и БП, которые потенциально могут развиваться у этих пациентов.

Работа поддержана грантом РФФИ 20-74-10087.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Czlonkowska A., Litwin T., Dusek P., Ferenci P., Lutsenko S., Medici V., Rybakowski J.K., Weiss K.H., Schilsky M.L. Wilson disease. *Nat Rev Dis Primers*. 2018; 4(1): 21.

Reed E., Lutsenko S., Bandmann O. Animal models of Wilson disease. *J Neurochem*. 2018; 146(4): 356–373.

Shribman S., Poujois A., Bandmann O., Czlonkowska A., Warner T.T. Wilson's disease: update on pathogenesis, biomarkers and treatments. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2021; 92(10): 1053–1061.

THE ROLE OF ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF THE WILSON'S DISEASE PHENOTYPE IN HETEROZYGOUS CARRIERS OF THE *ATP7B* GENE

*E.Y. Ilyechova, K. Abbass, M. Al Farruh, D.N. Magazenkova,
N.V. Tsymbalenko, L.V. Puchkova*

ITMO University,
Kronverksky Pr. 49, St. Petersburg, 197101, Russian Federation

ABSTRACT. Wilson's disease (WD) is a rare inherited monogenic autosomal recessive disease. It is caused by mutations in the *ATP7B* gene encoding Cu-transport ATPase, which lead to impaired excretion of Cu from the body and its toxic accumulation in the liver, brain and other tissues. WD studies are mainly carried out with the participation of homozygous carriers of mutations in the *ATP7B* gene or on *Atp7b*^{-/-} mice. However, the number of heterozygous carriers of this gene in some regions can reach 3% of the total population. Among them, individuals are often identified who manifest signs of WD and/or Parkinson's disease (PD), which can increase depending on various environmental and genetic factors. We studied the effect of a high-calorie diet (HCD) on the development of metabolic syndrome associated with WD in *Atp7b*^{+/-} mice. HCD in *Atp7b*^{+/-} mice does not lead to changes in Cu status indexes and lipid metabolism. In the liver of *Atp7b*^{+/-} mice, structural disorders characteristic of WD are found, turning into fatty degeneration and fibrosis on the background of HCD. All *Atp7b*^{+/-} mice treated with HCD showed activation of adipose tissue (AT) similar to brown AT and a decrease in blood glucose levels. The mRNA level of Cu-associated genes decreases in the liver of *Atp7b*^{+/-} mice treated with HCD and increases in subcutaneous fat cells. The data obtained indicate the need for medical control of heterozygous WD carriers to prevent liver pathologies, metabolic disorders, as well as early diagnosis of PD, which can potentially develop in these patients.

KEYWORDS: copper metabolism, Wilson's ATPase, *ATP7B*, Wilson's disease, adipose tissue.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-35

АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО ОБМЕНА ПЕРИТУМОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ГЛИАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЯХ АНАПЛАЗИИ

Л.М. Обухова¹, И.И. Евдокимов², И.А. Медяник¹¹ ФГБОУ ВО Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава РФ, Российская Федерация, 603950, Нижний Новгород, площадь Минина и Пожарского, д.10/1² ФГБУН Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, Российская Федерация, 603951, Нижний Новгород, Бокс-75, ул. Тропинина, д. 49

РЕЗЮМЕ. Цель работы – анализ уровня макро- и микроэлементов в отдельных зонах опухоли при различных степенях анаплазии глиальных опухолей.

Материалы и методы. Определены особенности элементного статуса отделов глиальных опухолей при различных степенях анаплазии. Для анализа использован метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты. Проведенный анализ свидетельствует о повышенной кумуляции макро- и микроэлементов в ткани глиом по сравнению с тканью головного мозга практически здоровых людей. Показано, что концентрация меди, железа, цинка в перитуморальной зоне глиом при высоких степенях анаплазии (при метастазировании) выше, чем при Grade I, II, а уровень микроэлементов, способных активировать апоптоз клеток и/или ингибировать сигнальные пути, регулирующие пролиферацию и ангиогенез при глиальных опухолях (литий, селен) в перитуморальной зоне, при высоких степенях анаплазии – ниже.

Заключение. Выявление групп микроэлементов, меняющих уровень в перитуморальной зоне глиом при метастазировании, может быть использовано для дифференциальной диагностики степени анаплазии этих опухолей, а также лечь в основу терапии злокачественных новообразований головного мозга.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: макро- и микроэлементы, перитуморальная зона, глиомы.

Для цитирования: Обухова Л.М., Евдокимов И.И., Медяник И.А. Анализ элементного обмена перитуморальной зоны глиальных опухолей при различных степенях анаплазии. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):84–86. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-35.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние минерального обмена на процессы пролиферации и апоптоза клеток и, соответственно, в патогенезе злокачественных новообразований по большей части заключается в их вовлечении в работу сигнальных путей (Plum et al., 2010) и/или в регуляцию свободнорадикальных процессов (Икреата et al., 2023). Вместе с тем известно, что перитуморальная зона глиом играет значительную роль в росте и опухоли, способствуя ее прогрессии (Altieri et al, 2021).

Ц е л ь и с л е д о в а н и я – анализ уровня макро- и микроэлементов в отдельных зонах опухоли при различных степенях анаплазии глиальных опухолей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучали послеоперационный материал 20 пациентов (39–61 лет) с глиомами разной степени анаплазии до проведения лечения. Гистологический диагноз установлен по классификации ВОЗ опухолей ЦНС (Louis, 2021). Контроль – ткань мозга лиц, погибших в результате травмы, 6 человек (31–56 лет). Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава РФ (№6 от 17.04.2019г.).

Анализ уровня макро- и микроэлементов проводили в гомогенатах ткани опухоли и мозга методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP6300Duo (Thermo Scientific, США). Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета StatPlus6.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ макроэлементов в различных областях глиом выявил значительное повышение их уровня, кроме уровня фосфора в перитуморальной зоне и калия там же при высоких степенях анаплазии (Grade III, IV). Показано, что для всех отделов опухоли, включая неповрежденную ткань, окружающую опухоль, нарушено соотношение Na/K. С большой долей вероятности данный факт может быть обусловлен снижением активности Na/K-АТФ при злокачественных новообразованиях (Zhang et al,

2017). Также было выявлено значимое увеличение содержания исследованных микроэлементов во всех зонах опухолевой ткани.

Такие результаты, вероятно, обусловлены известной способностью глиальных опухолей накапливать микроэлементы (Stojsavljević et al., 2020). Считается, что более высокое содержание микроэлементов (особенно Mn и Se) могут участвовать в механизмах канцерогенеза (Lankosz, et al., 2014).

Интересно, что значимых отличий по уровню в перитуморальной зоне от контроля не выявлено только для меди. При этом концентрация этого микроэлемента в перитуморальной зоне более значительна при высоких степенях анаплазии, что может быть связано с ролью меди при ангиогенезе (Jomova, Valko, 2011), поскольку при Grade III, IV наблюдаются процессы метастазирования. Содержание лития и селена в перитуморальной зоне при высоких степенях анаплазии оказалось значимо ниже, чем при Grade I, II. Литий запускает TRAIL-индуцированный апоптоз за счет повышенной экспрессии рецепторов клеточной смерти (Lan et al., 2013). Селен может вызывать ингибирование пути PI3K/AKT/mTOR (Sun et al., 2017), одного из основных сигнальных путей глиальных опухолей, регулирующих пролиферацию клеток и активацию ангиогенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ свидетельствует о повышенной кумуляции некоторых элементов (особенно меди, железа, цинка) в перитуморальной зоне глиом при высоких степенях анаплазии (Grade III, IV), когда активно протекает процесс метастазирования. Напротив, уровень микроэлементов, способных активировать апоптоз клеток и/или ингибировать сигнальные пути, регулирующие пролиферацию и ангиогенез при глиальных опухолях (литий, селен) в перитуморальной зоне при высоких степенях анаплазии ниже, чем при Grade I, II. Потенциально этот факт может быть использован не только для дифференциальной диагностики степени анаплазии глиом, но и лечь в основу терапии злокачественных новообразований головного мозга.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы развития ПИМУ «Приоритет 2030» № 204.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Altieri R., Barbagallo D., Certo F., et al. Peritumoral Microenvironment in High-Grade Gliomas: From FLAIRctomy to Microglia–Glioma Cross-Talk. *Brain Sci.* 2021; 11(2): 200–218.
- Икреама E.U., Орिश C.N., Езеjiоfor A.N., et al. Essential Trace Elements Prevent the Impairment in the Retention Memory, Cerebral Cortex, and Cerebellum Damage in Male Rats Exposed to Quaternary Metal Mixture by Up-regulation, of Heme Oxygenase-1 and Down-regulation of Nuclear Factor Erythroid 2-related Factor 2-NOs Signaling Pathways. *Neuroscience.* 2023; 21(512): 70–84.
- Jomova K., Valko M. Advances in Metal-induced Oxidative Stress and Human Disease. *Toxicology.* 2011; 283: 65–87.
- Lan Y., Liu X., Zhang R., et al. Lithium enhances TRAIL-induced apoptosis in human lung carcinoma A549 cells. *Biometals.* 2013; 26(2): 241–254.
- Lankosz M.W. et al. Application of the Total Reflection X-ray Fluorescence Method to the Elemental Analysis of Brain Tumors of Different Types and Grades of Malignancy. *Spectrochim. Acta B.* 2014; 101: 98–105.
- Louis D.N., Perry A., Wesseling P., et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: A Summary. *Neuro-Oncology.* 2021; 23: 1231–1251.
- Plum L.M., Rink L., Haase H. The essential toxin: impact of zinc 1095 on human health. *Int J Environ Res Public Health.* 2010; 7:1342–1365.
- Stojsavljević A., Vujotić L., Rovčanin B., et al. Assessment of trace metal alterations in the blood, cerebrospinal fluid and tissue samples of patients with malignant brain tumors. *Sci Rep.* 2020; 10(1): 3816–3826.
- Sun L., Zhang J., Yang Q., et al. Synergistic Effects of SAM and Selenium Compounds on Proliferation, Migration and Adhesion of HeLa Cells. *Anticancer Res.* 2017; 37(8): 4433–4441.
- Zhang D., Zhang P., Yang P. et al. Downregulation of ATP1A1 promotes cancer development in renal cell carcinoma. *Clin Proteom.* 2017; 14(1): 15–27.

ANALYSIS OF ELEMENTAL METABOLISM IN THE PERITUMORAL ZONE OF GLIAL TUMORS AT DIFFERENT DEGREES OF ANAPLASIA

L.M. Obukhova¹, I.I. Evdokimov², I.A. Medyanik¹

¹ Privolzhsky Research Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Minin and Pozharsky Square, 10/1, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

² Institute of Chemistry of High-Purity Substances named after. G. G. Devyatikh RAS, Box-75, st. Tropinina, 49, Nizhny Novgorod, 603951, Russian Federation

ABSTRACT. The purpose of this study was to analyze the level of macro- and microelements in individual areas of the tumor with various degrees of anaplasia of glial tumors.

Materials and methods. The features of the elemental status of sections of glial tumors at various degrees of anaplasia were determined. For the analysis, the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma was used.

Results. The analysis indicates an increased accumulation of macro- and microelements in glioma tissue compared to brain tissue of practically healthy people. The concentration of copper, iron, and zinc in the peritumoral zone of gliomas with high degrees of anaplasia (with metastasis) was higher than with Grade I, II. The level of trace elements capable of activating cell apoptosis and/or inhibiting signaling pathways regulating proliferation and angiogenesis in glial tumors (lithium, selenium) in the peritumoral zone at high degrees of anaplasia was lower.

Conclusions. Identification of groups of microelements that change the level in the peritumoral zone of gliomas during metastasis can be used for differential diagnosis of the degree of anaplasia of these tumors, but also form the basis for the treatment of malignant brain tumors.

KEYWORDS: macro- and microelements, peritumoral zone, gliomas.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-36

ХАРАКТЕР ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ Cs-137 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

А.Е. Побилат¹, Н.Н. Рахимова², Т.И. Бурцева², А.И. Байтелова²

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6

² ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Российская Федерация, 460000, Оренбург, пр-кт Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Рассмотрен характер вертикальной миграции цезия-137 в пяти типах почв степных экосистем Оренбургской области. С учетом полученных результатов разработана методика оценки и прогноза интенсивности миграции цезия-137, определены агрохимические свойства почв, оказывающие значимое влияние на динамику распределение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цезий-137, загрязнения радионуклидами, почва, растение, техногенные выбросы, миграция в почве, содержание в растениях.

Для цитирования: Побилат А.Е., Рахимова Н.Н., Бурцева Т.И., Байтелова А.И. Характер вертикальной миграции Cs-137 в зависимости от агрохимических свойств почв. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):86–89. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-36.

ВВЕДЕНИЕ

Радионуклиды выпадают на земную поверхность в результате ядерных взрывов, при работе и внештатных ситуациях на АЭС. Цезий-137 является высокорadioактивным элементом, представляющий серьезную угрозу жизни и здоровью человека. Попадая на земную поверхность, радионуклид включается в геохимические процессы миграции, через корневую систему попадает в растительность и по пищевых трофическим цепям в организм человека, представляя угрозу здоровью и жизни животных и человека. (Рахимова и др., 2015).

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучить вертикальное распределение цезия-137 в зависимости от агрохимических свойств почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование профильной миграции цезия-137 проводили на пяти типах почв со свойственным им агрохимическим составом. Исследование интенсивности вертикальной миграции цезия-137 осуществляли на глубину почвенного профиля 50 см, послойно, с шагом 10 см для целинных почв (Рахимова, 2014).

В табл. 1 представлены значения Cs-137 в различных типах целинных почв.

Таблица 1. Распределение Cs-137 по вертикальному профилю в почвах естественных экосистем, Бк/кг

Почвенный срез, см	Чернозем обыкновенный	Чернозем типичный	Чернозем неполноразвитый щебневатый	Темно-каштановая	Чернозем южный
0–5	18,3±2,3	19,6±3,62	33,9±5,78	15,8±2,37	18,1±2,87
5–10	13,4±2,01	15,1±2,41	14,3±2,14	12,8±1,8	9,4±1,45
10–20	9,2±1,2	11,3±1,36	11,4±1,82	14,6±2,19	12,4±1,61
20–30	9,8±1,37	11,1±1,65	11,4±1,71	13,3±1,12	11,3±2,14
30–40	12,4±1,51	11,0±0,98	11,5±1,49	10,2±1,22	9,8±1,76
40–50	9,1±1,09	9,6±1,44	9,9±1,58	10,3±1,54	10,5±1,57

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный регрессионный анализ позволил получить уравнения регрессии экспоненциально-го вида, характеризующие концентрационные изменения Cs-137 по профилю:

$C(x) = 14,57 \cdot \exp(-0,06 \cdot x)$ – для чернозема обыкновенного;

$C(x) = 16,95 \cdot \exp(-0,08 \cdot x)$ – для темно-каштановой почвы;

$C(x) = 19,77 \cdot \exp(-0,13 \cdot x)$ – для чернозема типичного;

$C(x) = 15,20 \cdot \exp(-0,08 \cdot x)$ – для чернозема южного;

$C(x) = 40,00 \cdot \exp(-0,28 \cdot x)$ – для чернозема южного неполноразвитого щебневатого.

Концентрация цезия-137 экспоненциально убывает с глубиной в черноземе типичном ($\lambda=0,13$) и в черноземе южном неполноразвитом щебневатом ($\lambda=0,28$). В остальных обследованных типах почв концентрации по почвенному профилю цезия-137 меняются незначительно.

Результаты, полученные при нахождении корреляционной связи между агрохимическими свойствами почв и содержанием радионуклидов цезия-137 по профилю, приведены в табл. 2–8.

Таблица 2. Корреляционная зависимость между содержанием Cs-137 и агрохимическими показателями чернозема обыкновенного ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cs-137	<u>0,99</u>	-0,56	-0,63	0,50	0,58	-0,58	0,02	0,55	<u>0,87</u>	0,05	0,50	<u>0,85</u>	<u>0,89</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Cs-137	<u>0,83</u>	<u>-0,72</u>	-0,30	<u>0,87</u>	-0,31	-0,35	<u>0,81</u>	-0,41	-0,38	<u>-0,77</u>	-0,66	0,32	0,38

Чернозем обыкновенный. На основании данных корреляционного анализа можно отметить, что к числу свойств почв, имеющих сильную положительную корреляционную связь с содержанием цезия-137 в почвенном профиле чернозема обыкновенного следует отнести содержание сульфатов ($r = 0,99$), валового K₂O ($r = 0,89$) и P₂O₅ ($r = 0,85$), обменного калия ($r = 0,87$), гумуса ($r = 0,83$), серы

($r = 0,87$), марганца ($r = 0,81$), стронция-90 ($r = 0,95$). Цезий-137 имеет сильную отрицательную корреляционную связь с медью ($r = -0,72$) и свинцом ($r = -0,77$).

Таблица 3. Корреляционная зависимость между содержанием Cs-137 и агрохимическими показателями чернозема типичного ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cs-137	<u>0,70</u>	0,37	0,41	0,73	0,78	-0,01	-0,04	<u>0,75</u>	0,00	-0,45	0,72	<u>0,88</u>	<u>0,70</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Cs-137	<u>0,98</u>	<u>0,85</u>	0,68	<u>0,97</u>	<u>0,97</u>	0,01	-0,27	<u>0,73</u>	-0,028	0,44	0,06	0,35	0,38

Чернозем типичный. Цезий-137 статистически значимо коррелирует с содержанием сульфатов ($r = 0,70$), катионов магния ($r = 0,75$), валового P₂O₅ ($r = 0,88$) и K₂O ($r = 0,98$), гумуса ($r = 0,85$), цинка и серы ($r = 0,97$), марганца ($r = 0,73$).

Темно-каштановая почва. Цезий-137 статистически значимо коррелирует с такими агрохимическими характеристиками почвы, как содержание сульфатов ($r = 0,71$), pH ($r = -0,89$), HCO₃ ($r = -0,83$), катионов калия ($r = 0,76$), валового P₂O₅ ($r = 0,80$) и K₂O ($r = 0,76$), гумуса ($r = 0,89$) и такими элементами, как медь ($r = -0,73$), марганец ($r = 0,77$), свинец ($r = -0,83$), ртуть ($r = 0,71$) и кадмий ($r = -0,76$).

Таблица 4. Корреляционная зависимость между содержанием Cs-137 и агрохимическими показателями темно-каштановой почвы ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cs-137	<u>0,71</u>	<u>-0,83</u>	0,08	-0,034	-0,25	<u>-0,89</u>	-0,55	-0,12	<u>0,76</u>	0,11	-0,40	<u>0,80</u>	<u>0,79</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Cs-137	<u>0,89</u>	<u>-0,73</u>	0,64		0,01	-0,47	-0,34	<u>0,77</u>	-0,27	-0,68	<u>-0,83</u>	<u>-0,76</u>	-0,02

Чернозем южный. Между содержанием цезия-137 и содержания валового P₂O₅ ($r = 0,85$) и обменного калия ($r = 0,91$) в почвенном профиле естественных экосистем чернозема южного наблюдается сильная положительная корреляционная связь.

Таблица 5. Корреляционная зависимость между содержанием Cs-137 и агрохимическими показателями чернозема южного ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cs-137	-0,55	-0,13	-0,17	-0,60	-0,55	0,21	0,15	-0,62	0,91	-0,67	-0,59	0,63	-0,55
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Cs-137	<u>0,85</u>	0,57	-0,19	-0,14	-0,43	-0,47	-0,07	-0,07	-0,35	-0,41	-0,32	-0,25	-0,12

Чернозем южный неполноразвитый щебневатый. К числу свойств почв, имеющих очень сильную положительную корреляционную связь с содержанием Cs-137 в почвенном профиле чернозема южного неполноразвитого щебневатого, следует отнести содержание сульфатов ($r = 0,93$), сумму анионов ($r = 0,79$) и катионов ($r = 0,79$), катионов калия ($r = 0,99$), валового K₂O ($r = 0,98$) и P₂O₅

($r = 0,89$) гумуса ($r = 0,80$), а также с содержанием элементов меди ($r = 0,73$), цинка ($r = 0,87$), кобальта ($r = 0,71$) и свинца ($r = 0,78$).

Таблица 6. Корреляционная зависимость между содержанием Cs-137 и агрохимическими показателями чернозема южного неполноразвитого щебневатого ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cs-137	<u>0,93</u>	-0,66	0,55	<u>0,79</u>	0,03	-0,42	0,23	0,58	<u>0,99</u>	-0,40	<u>0,79</u>	<u>0,89</u>	<u>0,93</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Cs-137	<u>0,98</u>	<u>0,80</u>	<u>0,73</u>	<u>0,87</u>	-0,24	-0,59	-0,31	0,49	0,71	0,58	<u>0,78</u>	0,06	-0,34

По результатам проведенных исследований разработана методика оценки и прогноза интенсивности миграции цезия-137 (Rahimova, et al., 2023).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам корреляционного анализа между агрохимическими свойствами почв и содержанием цезия-137 определены характеристики почв, оказывающие максимальное влияние на миграцию радионуклида по почвенному профилю.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Рахимова Н.Н., Ефремов И.В., Горшенина Е.Л. Миграционные способности радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в различных типах почв. Вестник Оренбургского государственного университета. 2015; 10: 412–415. [Rakhimova N.N., Efremov I.V., Gorshenina E.L. Migration abilities of CS-137 and SR-90 radionuclides in various types of soils. Bulletin of Orenburg State University. 2015; 10: 412–415. (In Russ.)].

Рахимова Н.Н. Изучение миграции радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в системе почва – растение. В сб.: Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Селезнева; И.А. Лушкина. 2014; 68–73. [Rakhimova N.N. The study of migration of Cs-137 radionuclides and Sr-90 in the soil–plant system in the collection: Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions. collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference. Under the general editorship of V.A. Seleznev; I.A. Pushkin. 2014; 68–73. (In Russ.)].

Rahimova N., Baitelova A., Solopova V., et al. Recultivation of soils contaminated with radionuclides by phytomelioration. E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering" (ERSME-2023), 31 March 2023. 2023; 376: 1–5.

THE NATURE OF VERTICAL MIGRATION OF Cs-137 DEPENDING ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS

A.E. Pobilat¹, N.N. Rakhimova², T.I. Burtseva², A.I. Baitelova²

¹ Peoples Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 6 Miklukho-Maklaya St. Moscow, 117198, Russian Federation

² Orenburg State University 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. The article examines the nature of vertical migration of caesium-137 in five types of soils of steppe ecosystems of the Orenburg region. The results obtained made it possible to develop a methodology for assessing and predicting the intensity of vertical migration of Cs-137 along the soil profile, and the physico-chemical characteristics of soils that have the greatest impact on the dynamics of distribution were determined.

KEYWORDS: cesium-137, radionuclide pollution, soil, plant, man-made emissions, migration in soil, content in plants.

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-37

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ SR-90 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

*Н.Н. Рахимова*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр-т Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Представлены результаты изучения характера вертикальной миграции стронция-90 в пяти типах почв степных экосистем Оренбургской области, которые позволили разработать методику оценки и прогноза интенсивности вертикальной миграции стронция-90 по почвенному профилю. По результатам исследования определены агрохимические свойства почв, оказывающие доминирующее влияние на миграционную способность стронция-90.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стронций-90, загрязнения радионуклидами, почва, растение, техногенные выбросы, миграция в почве, содержание в растениях, чернозем, радионуклиды.

Для цитирования: Рахимова Н.Н. Вертикальная миграция SR-90 в зависимости от агрохимических свойств почв. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):90–92. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-37.

ВВЕДЕНИЕ

Стронций-90 – радиоактивный элемент, который поступает в окружающую среду в большей степени за счет ядерных испытаний, отходов и внештатных, аварийных ситуаций АЭС. Попадая на земную поверхность, радионуклид включается в геохимические процессы миграции, через корневую систему попадает в растительность, по пищевым трофическим цепям создает угрозу для здоровья человека.

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучить вертикальное распределение стронция-90 в зависимости от агрохимических свойств почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование интенсивности вертикальной стронция-90 осуществляли на глубину почвенного профиля 50 см, послойно с шагом 10 см для целинных почв (Рахимова, 2014). В результате проведенного регрессионного анализа получены уравнения регрессии экспоненциального вида, позволяющее оценить динамику профильной миграции Sr-90:

$C(x) = 11,16 \cdot \exp(-0,03 \cdot x)$ – для чернозема обыкновенного;

$C(x) = 11,05 \cdot \exp(0,00 \cdot x)$ – для темно-каштановой почвы;

$C(x) = 15,25 \cdot \exp(-0,130 \cdot x)$ – для чернозема типичного;

$C(x) = 11,79 \cdot \exp(-0,04 \cdot x)$ – для чернозема южного;

$C(x) = 17,24 \cdot \exp(-0,12 \cdot x)$ – для чернозема южного неполноразвитого щебневатого.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Максимальные концентрации стронция-90 для естественных экосистем отмечаются в черноземе южном неполноразвитом щебневатом в слое 0–5 см (18,7 Бк/кг) (Ефремов и др., 2005). Изменения содержания стронция-90 по профилю в пробах темно-каштановой почвы ($\lambda=0$) не наблюдается. Концентрация стронция-90 по почвенному профилю экспоненциально убывает с глубиной в черноземе неполноразвитом щебневатом ($\lambda=0,12$) и черноземе типичном ($\lambda=0,10$). В остальных обследованных типах почв концентрация стронция-90 изменяется незначительно по почвенному профилю для чернозема южного ($\lambda=0,04$) и чернозема обыкновенного ($\lambda = 0,03$).

Корреляционные матрицы, характеризующие взаимосвязи свойств почв и содержания радионуклида стронция-90, приведены в табл. 1–5.

Между содержанием стронция-90 и агрохимическими показателями данного чернозема обыкновенного (табл. 1) существует сильная положительная корреляционная связь с содержанием сульфатов

($r = 0,87$), гумуса ($r = 0,77$), валового содержания калия ($r = 0,77$), серы ($r = 0,76$) и отрицательная корреляционная связь стронция-90 с хлором ($r = -0,77$).

Таблица 1. Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема обыкновенного ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	<u>0,87</u>	-0,58	<u>-0,77</u>	0,41	0,50	-0,49	0,00	0,44	0,67	0,19	0,41	0,66	<u>0,87</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	<u>0,76</u>	<u>0,77</u>	-0,52	-0,47	<u>0,76</u>	-0,34	-0,60	0,66	-0,21	-0,22	-0,59	-0,46	0,09

Между содержанием стронция-90 в черноземе типичном и ее агрохимическими показателями (табл. 2). наблюдается сильная положительная корреляционная связь с содержанием катионов магния ($r = 0,76$), валового P₂O₅ ($r = 0,89$) и K₂O ($r = 0,82$), гумуса ($r = 0,91$), цинка ($r = 0,85$), серы ($r = 0,91$), марганца ($r = 0,90$).

Таблица 2. Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема типичного ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	0,59	0,33	0,26	0,60	0,72	-0,18	-0,30	<u>0,76</u>	0,00	-0,41	0,59	<u>0,89</u>	0,59
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	<u>0,82</u>	<u>0,91</u>	0,36	<u>0,85</u>	<u>0,91</u>	-0,26	-0,01	<u>0,90</u>	-0,40	0,12	-0,12	0,10	0,64

Между содержанием стронция-90 и агрохимическими показателями темно-каштановой почвы (табл. 3) корреляционной связи не обнаружено, за исключением таких элементов, как сера ($r = 0,91$), фтор ($r = -0,71$), кобальт ($r = -0,71$), мышьяк ($r = -0,72$).

Таблица 3. Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями темно-каштановой почвы ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	-0,35	-0,68	0,40	-0,54	-0,40	-0,53	-0,37	-0,52	-0,26	0,51	-0,54	-0,37	-0,31
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	0,13	-0,47	-0,16	<u>0,91</u>	<u>-0,76</u>	0,09	-0,31	<u>-0,71</u>	-0,29	-0,36	0,26	<u>-0,73</u>	0,37

Анализ зависимости между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема южного показал (табл. 4), что стронций-90 статистически значимо коррелирует с катионами магния ($r = -0,75$), калия ($r = 0,76$) и суммой катионов S_{кат} ($r = -0,71$).

Таблица 4. Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема южного ($p < 0,05$)

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	-0,064	-0,34	0,16	-0,69	-0,59	0,17	0,29	<u>-0,75</u>	0,76	-0,61	<u>-0,71</u>	0,51	0,69
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	0,58	-0,44	-0,20	-0,48	-0,57	-0,21	-0,19	-0,052	-0,57	-0,51	-0,45	-0,19	0,39

Стронций-90 статистически значимо коррелирует с содержанием в почве чернозема южного неполнозрелого щебневатого (табл. 5): сульфатов ($r = 0,93$), карбонатов ($r = -0,73$), суммой анионов

($r = 0,75$) и катионов ($r = 0,75$), катионов калия ($r = 0,96$), валового K_2O ($r = 0,99$) и P_2O_5 ($r = 0,91$), гумуса ($r = 0,87$), а также с содержанием элементов меди ($r = 0,73$), цинка ($r = 0,92$), кобальта ($r = 0,73$) и свинца ($r = 0,84$). Необходимо отметить сходность корреляционных связей стронция-90 с агрохимическими показателями чернозема южного неполноразвитого щебневатого.

Таблица 5. **Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема южного неполноразвитого щебневатого ($p < 0,05$)**

Радионуклид	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	<u>0,93</u>	<u>-0,73</u>	0,49	<u>0,75</u>	<u>-0,07</u>	<u>-0,46</u>	0,25	0,58	<u>0,96</u>	<u>-0,47</u>	<u>0,75</u>	<u>0,91</u>	<u>0,99</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	<u>0,87</u>	<u>0,73</u>	<u>0,92</u>	<u>-0,32</u>	<u>-0,64</u>	<u>-0,42</u>	0,46	0,73	0,64	<u>0,84</u>	<u>-0,05</u>	<u>-0,48</u>	0,15

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика оценки интенсивности вертикальной миграции стронция-90 по почвенному профилю. Регрессионный анализ позволяет прогнозировать интенсивность миграции стронция-90 посредством заданной его концентрации в верхнем слое почвы. С помощью корреляционного анализа установлены закономерности между агрохимическими свойствами почв и содержанием стронция-90, оказывающие наибольшее влияние на распределение стронция-90 по вертикали. Проведенные комплексные исследования позволяют прогнозировать экологическую обстановку и возможно применять в сельскохозяйственном производстве на территориях, попадающих в категорию риска загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Рахимова Н.Н. Изучение миграции радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в системе почва – растение. В сб.: Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Селезнева; И.А. Лушкина. 2014; 68–73. [Rakhimova N.N. The study of migration of Cs-137 radionuclides and Sr-90 in the soil–plant system in the collection: Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions. collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference. Under the general editorship of V.A. Seleznev; I.A. Pushkin. 2014; 68–73. (In Russ.)].

Ефремов И.В., Рахимова Н.Н., Янчук Е.Л. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва-растение. Вестник Оренбургского государственного университета, 2005, №. 12: 42–46. [Efremov I.V., Rakhimova N.N., Yanchuk E.L. Migration features of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in the soil-plant system. Bulletin of Orenburg State University, 2005, No. 12: 42–46. (In Russ.)]

THE NATURE OF VERTICAL MIGRATION OF Sr-90 DEPENDING ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS

N.N. Rakhimova

Orenburg State University
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. The article examines the nature of vertical migration of strontium-90 in five types of soils of steppe ecosystems of the Orenburg region. The results obtained made it possible to develop a methodology for assessing and predicting the intensity of vertical migration of strontium-90 along the soil profile, and the physico-chemical characteristics of soils that have the greatest impact on the dynamics of distribution were determined.

KEYWORDS: strontium-90, radionuclide pollution, soil, plant, man-made emissions, migration in soil, content in plants.

СОДЕРЖАНИЕ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ – SHORT COMMUNICATION

<i>К.В. Рязанцева, К.С. Нечитайло, Е.А. Сизова</i> ВЛИЯНИЕ СОЕВОГО ЛЕЦИТИНА НА МИНЕРАЛЬНЫЙ СТАТУС ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ	3
<i>K.V. Ryazantseva, K.S. Nechitailo, E.A. Sizova</i> INFLUENCE OF SOY LECITHIN ON THE MINERAL STATUS OF BROILER CHICKENS	4
<i>Е.В. Сальникова, А.Н. Сизенцов</i> ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ КАДМИЯ НА ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ОСТРОЙ ИНТОКСИКАЦИИ	5
<i>E.V. Salnikova, A.N. Sizentsov</i> ASSESSMENT OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF CADMIUM ON THE BODY OF ANIMALS IN A MODEL EXPERIMENT OF ACUTE INTOXICATION.....	6
<i>А.И. Сарайкин</i> ВКЛАД АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ОБЩИЙ ИНДЕКС СБРОСА ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ, СБРАСЫВАЕМЫХ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ТЕРРИТОРИИ РФ ЗА 2018-2022 гг.....	7
<i>A.I. Saraykin</i> CONTRIBUTION OF NUCLEAR POWER PLANTS TO THE TOTAL INDEX OF CHEMICAL DISCHARGE IN WASTEWATER DISCHARGED INTO WATER BODIES IN THE TERRITORY OF THE RF FOR 2018-2022	9
<i>А.И. Сарайкин</i> ДИНАМИКА ВАЛОВОГО СБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, СБРАСЫВАЕМЫХ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ТЕРРИТОРИИ РФ	9
<i>A.I. Saraykin</i> DYNAMICS OF GROSS DISCHARGE OF POLLUTING CHEMICALS IN WASTEWATER FROM NUCLEAR POWER PLANTS DISCHARGED INTO WATER BODIES ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION	11
<i>Т.А. Семьнин, А.Н. Здоров, М.М. Маринчев</i> ОЦЕНКА АДДИТИВНОГО ЭФФЕКТА КОМБИНАЦИИ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТНОШЕНИИ <i>PSEUDOMONAS AERUGINOSA</i>	11
<i>T.A. Semynin, A.N. Zdorov, M.M. Marinchev</i> ASSESSMENT OF THE ADDITIVE EFFECT OF A COMBINATION OF ESSENTIAL ELEMENTS IN RELATION TO <i>PSEUDOMONAS AERUGINOSA</i>	13
<i>А.Н. Сизенцов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ <i>BACILLUS SP.</i> В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ ИНТОКСИКАЦИИ ЦИНКОМ И МЕДЬЮ	13
<i>A.N. Sizentsov</i> USE OF SORPTION POTENTIAL OF PROBIOTIC STRAINS <i>BACILLUS SP.</i> IN CONDITIONS OF ACUTE INTOXICATION WITH ZINC AND COPPER	15

Я.А. Сизенцов, О.В. Кван ВЛИЯНИЕ КОНОПЛЯНОГО И ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХОВ НА УСВОЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЦЫПЛЯТ БРОЙЛЕРОВ.....	15
Ya.A. Sizentsov, O.V. Kvan INFLUENCE OF HEMP AND SUNFLOWER CAKES ON THE ABSORPTION AND ACCUMULATION OF MACROELEMENTS IN THE BODY OF BROILER CHICKENS	17
Д.Е. Шошин., Е.В. Яушева, Т.Н. Холодилина, К.А. Казаев СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ КАЛЬЦИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОСТНОЙ ТКАНИ	17
D.E. Shoshin, E.V. Yausheva, T.N. Kholodilina, K.A. Kazaev COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFECT OF VARIOUS CALCIUM SOURCES ON THE ACCUMULATION OF TOXIC ELEMENTS IN BONE TISSUE	19
С.В. Яковенко, В.И. Корчин АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ (МЕДЬ, ЦИНК, СЕЛЕН) В ВОЛОСАХ У БЕРЕМЕННЫХ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА.....	19
S.V. Yakovenko, V.I. Korchin ANALYSIS OF ACTUAL NUTRITION AND CONTENT OF MICRONUTRIENTS (COPPER, ZINC, SELENIUM) IN HAIR OF OVERWEIGHT PREGNANT WOMEN.....	22
А.П. Баранова, Е.В. Сальникова, А.Е. Побилат, А.Н. Сизенцов ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МЕДИ И КОБАЛЬТА НА ФЛОРУ КИШЕЧНИКА В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ <i>IN VIVO</i> И <i>IN VITRO</i>	23
A.P. Baranova, E.V. Salnikova, A.E. Pobilat, A.N. Sizentsov ASSESSMENT OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF COPPER AND COBALT ON THE INTESTINAL FLORA IN MODEL EXPERIMENTS <i>IN VIVO</i> AND <i>IN VITRO</i>	25
А.Л. Горбачев ВОПРОСЫ ДЕПОПУЛЯЦИИ КОРЕННЫХ НАРОДОВ СЕВЕРА И ИХ ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНЫЕ КОРНИ.....	25
A.L. Gorbachev ISSUES OF DEPOPULATION OF THE INDIGENOUS PEOPLES OF THE NORTH AND THEIR NATURAL AND SOCIAL ROOTS	27
Е.А. Дроздова, Е.С. Алешина ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ВИТАМИНОВ И АНТИБИОТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ	28
E.A. Drozdova, E.S. Aleshina THE EFFECT OF THE METHOD OF EXTRACTING VEGETABLE RAW MATERIALS ON THE CONTENT OF TRACE ELEMENTS, VITAMINS AND ANTIBIOTIC SUBSTANCES IN EXTRACTS	30

А.А. Еркин, О.А. Науменко ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МЕТОДАХ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ.....	31
А.А. Yerkin, O.A. Naumenko USE OF TRACE ELEMENTS IN METHODS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE DETERMINATION OF FLAVONOIDS IN PLANT RAW MATERIALS	33
А.Н. Здоров, М.М. Маринчев, Т.А. Семьинин ВЛИЯНИЕ Fe, Zn, Co НА АНТАГОНИСТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ <i>BACILLUS SP.</i> В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ <i>IN VITRO</i>	33
А.N. Zdorov, M.M. Marinchev, T.A. Semynin INFLUENCE OF Fe, Zn, Co ON THE ANTAGONISTIC ACTIVITY OF PROBIOTIC STRAINS <i>BACILLUS SP.</i> IN A MODEL EXPERIMENT <i>IN VITRO</i>	35
А.А. Иванова, Е.Н. Петрова ОЦЕНКА ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА И ЖЕЛЕЗА.....	36
А.А. Ivanova, E.N. Petrova ASSESSMENT OF FUNGICIDAL ACTIVITY OF ULTRA-DISPERSE PARTICLES OF SILVER AND IRON.....	37
С.В. Нотова, Т.В. Казакова, О.В. Маршинская ОЦЕНКА ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОУРОВНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАРГАНЦА НА ТЕЧЕНИЕ И ИСХОДЫ БЕРЕМЕННОСТИ	38
S.V. Notova, T.V. Kazakova, O.V. Marshinskaia ASSESSMENT OF CHRONIC LOW-LEVEL EXPOSURE TO MANGANESE ON THE COURSE AND OUTCOMES OF PREGNANCY.....	39
А.И. Колобанов, А.А. Шумакова, И.Е. Соколов, В.А. Шипелин, И.В. Гмошинский, С.А. Хотимченко ВЛИЯНИЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ НА ГОМЕОСТАЗ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У КРЫС В 92-ДНЕВНОМ ПОДОСТРОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ	40
A.I Kolobanov, A.A. Shumakova, I.E. Sokolov, V.A. Shipelin, I.V. Gmoshinski, S.A. Khotimchenko INFLUENCE OF BENTONITE CLAY ON HOMEOSTASIS OF MICROELEMENTS IN RATS IN A 92-DAY SUBACUTUS EXPERIMENT	42
Е.С. Лукьянова, В.А. Федотов СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧНЫХ И НЕЗАМЕНИМЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПШЕНИЧНЫХ ОТРУБЯХ И МУКЕ.....	42
E.S. Lukyanova, V.A. Fedotov THE CONTENT OF TOXIC AND ESSENTIAL TRACE ELEMENTS IN WHEAT BRAN AND FLOUR	44
Е.С. Лукьянова, В.А. Федотов СНИЖЕНИЕ ОПАСНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ.....	44
E.S. Lukyanova, V.A. Fedotov REDUCING THE RISK OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN WHEAT GRAIN	46

<i>Е.С. Лукьянова, В.А. Федотов</i> БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПШЕНИЦЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ МЕДИ И ЦИНКА	46
<i>E.S. Lukyanova, V.A. Fedotov</i> BIOCHEMICAL CHANGES IN WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF DIFFERENT DOSES OF COPPER AND ZINC	48
<i>М.К. Молчанов, С.В. Нотова, О.В. Маршинская, Т.В. Казакова</i> ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКИХ ФОРМ МЕДИ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС ЛИНИИ SHR ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОЙ ДИЕТЫ	49
<i>M.K. Molchanov, S.V. Notova, O.V. Marshinskaja, T.V. Kazakova</i> EVALUATION OF THE CHEMICAL FORMS OF COPPER IN THE BLOOD SERUM OF SHR RATS EXPOSED TO A HIGH-CALORIE DIET	51
<i>С.В. Нотова, О.В. Маршинская, Т.В. Казакова</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЫВОРОТКИ КРОВИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА РАЗНЫХ ПОРОД	51
<i>S.V. Notova, O.V. Marshinskaja, T.V. Kazakova</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF BLOOD SERUM OF CATTLE OF DIFFERENT BREEDS	52
<i>Г.Д. Морозова</i> РОЛЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ	53
<i>G.D. Morozova</i> THE ROLE OF ESSENTIAL TRACE ELEMENTS IN THE PATHOGENESIS OF NON-ALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE	55
<i>Р.Х. Нигматуллин, Л.А. Хасанова, Г.Ш. Казыханова, Л.С. Тувалева, З.М.Хасанова</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЛОДОВ <i>SORBUS AUCUPARIA</i>	55
<i>R.H. Nigmatullin, L.A. Khassanova, G.S. Kazykhanova, L.S. Tuvaleva, Z.M. Khassanova</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRACE ELEMENT COMPOSITION OF THE FRUITS OF <i>SORBUS AUCUPARIA</i>	57
<i>Е.Н. Петрова, А.А. Иванова, Л.В. Галактионова</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ТИТАНА И МОЛИБДЕНА С ГУМИНОВЫМИ КИСЛОТАМИ НА ВИТАЛЬНЫЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ	57
<i>E.N. Petrova, A.A. Ivanova, L.V. Galaktionova</i> ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ULTRADISPENSIVE PARTICLES OF TITANIUM AND MO-LYBDENUM WITH HUMIC ACIDS ON THE VITAL AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF SEEDS OF SPRING SOFT WHEAT.....	59
<i>А.О. Корзун, Ю.А. Плотникова, Е.С. Барышева, О.В. Баранова</i> МЕХАНИЗМЫ ИНГИБИРОВАНИЯ МЕТАЛЛО- β -ЛАКТАМАЗ	59
<i>A.O. Korzun, Yu.A. Plotnikova, E.S. Barysheva, O.V. Baranova</i> MECHANISMS OF INHIBITION OF METALLO- β -LACTAMASES	61

<i>В.А. Сафонов, Т.С. Ермилова, А.Е. Черницкий</i> АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ НОВОРОЖДЕННЫХ ТЕЛЯТ С ВНУТРИУТРОБНОЙ ЗАДЕРЖКОЙ РАЗВИТИЯ	61
<i>V.A. Safonov, T.S. Ermilova, A.E. Chernitskiy</i> ANALYSIS OF MICROELEMENT CONTENT IN THE HAIR OF NEWBORN CALVES WITH INTRAUTERINE GROWTH RETARDATION	63
<i>Я.А. Сизенцов</i> УРОВЕНЬ УСВОЕНИЯ И КУМУЛЯЦИИ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖМЫХОВ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ БРОЙЛЕРОВ	64
<i>Ya.A. Sizentsov</i> LEVEL OF ABSORPTION AND CUMULATION OF TOXIC ELEMENTS WHEN USING VARIOUS CAKES IN FEEDING BROILER CHICKENS	66
<i>М.А. Алексанян, П.А. Нечаева, А.А. Скальный</i> РОЛЬ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАЗВИТИИ ОСТЕОПОРОЗА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	66
<i>M.A. Aleksanyan, P.A. Nechaeva, A.A. Skalny</i> ROLE OF MACRO- AND TRACE ELEMENTS IN THE DEVELOPMENT OF OSTEOPOROSIS: A LITERATURE REVIEW	68
<i>А.Е. Черницкий, Д.А. Оберюхтин, Е.П. Шанина, В.А. Сафонов</i> КАРТОФЕЛЬНЫЙ СОК КАК ИСТОЧНИК ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ	69
<i>A.E. Chernitskiy, D.A. Oberiuhtin, E.P. Shanina, V.A. Safonov</i> POTATO JUICE AS A SOURCE OF ESSENTIAL MACRO- AND TRACE ELEMENTS	71
<i>И.В. Шаврина, О.В. Чекмарева</i> ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ ЛЕБЯЖКА	71
<i>I.V. Shavrina, O.V. Chekmareva</i> STUDIES OF THE MACROZOOBENTHOS OF THE LEBYAZHKA RIVER	75
<i>Д.Г. Дерябин, К.С. Лазебник, Л.В. Власенко, И.Ф. Каримов, Д.Б. Косян, А.М. Затевалов, Ш.Г. Рахматуллин, Г.К. Дускаев</i> МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЕЧЕНИ И МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПАТТЕРНОМ ИХ КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА	75
<i>D.G. Deryabin, Ch.S. Lazebnik, L.V. Vlasenko, I.F. Karimov, D.B. Kosyan, A.M. Zatevalov, S.G. Rakhmatullin, G.K. Duskaev</i> TRACE ELEMENTS CONTENT IN THE LIVER AND MUSCLE OF BROILER CHICKENS DEPENDS ON THEIR GUT MICROBIOME PATTERN.....	78
<i>Е.А. Дубровина, С.К. Кшнясева, О.Д. Константинова, Г.В. Дубровина, А.А. Федорова</i> ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ЙОДА НА ВЫРАЖЕННОСТЬ СИМПТОМОВ ПЕРИМЕНОПАУЗЫ	78
<i>E.A. Dubrovina, S.K. Kshnyaseva, O.D. Konstantinova, G.V. Dubrovina, A.A. Fedorova</i> INFLUENCE OF IODINE DEFICIENCY ON THE SEVERITY OF PERIMENOPAUSE SYMPTOMS	80

<i>Е.Ю. Ильичева, К. Аббас, М. Аль Фаррух, Д.Н. Магазенкова, Н.В. Цымбаленко, Л.В. Пучкова</i> РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАЗВИТИИ ФЕНОТИПА БОЛЕЗНИ ВИЛЬСОНА У ГЕТЕРОЗИГОТНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ГЕНА АТР7В	81
<i>E.Y. Ilyechova, K. Abbass, M. Al Farruh, D.N. Magazenkova, N.V. Tsymbalenko, L.V. Puchkova</i> THE ROLE OF ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF THE WILSON'S DISEASE PHENOTYPE IN HETEROZYGOUS CARRIERS OF THE АТР7В GENE	83
<i>Л.М. Обухова, И.И. Евдокимов, И.А. Медяник</i> АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО ОБМЕНА ПЕРИТУМОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ГЛИАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЯХ АНАПЛАЗИИ	84
<i>L.M. Obukhova, I.I. Evdokimov, I.A. Medyanik</i> ANALYSIS OF ELEMENTAL METABOLISM IN THE PERITUMORAL ZONE OF GLIAL TUMORS AT DIFFERENT DEGREES OF ANAPLASIA	86
<i>А.Е. Побилат, Н.Н. Рахимова, Т.И. Бурцева, А.И. Байтелова</i> ХАРАКТЕР ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ Cs-137 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТ ПОЧВ	86
<i>A.E. Pobilat, N.N. Rakhimova, T.I. Burtseva, A.I. Baitelova</i> THE NATURE OF VERTICAL MIGRATION OF Cs-137 DEPENDING ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS	89
<i>Н.Н. Рахимова</i> ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ SR-90 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТ ПОЧВ	90
<i>N.N. Rakhimova</i> THE NATURE OF VERTICAL MIGRATION OF Sr-90 DEPENDING ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS	92