

ISSN (Print) 2616-7034
ISSN (Online) 2663-130X

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ
BULLETIN **ВЕСТНИК**
of L.N. Gumilyov Евразийского национального
Eurasian National University университета имени Л.Н. Гумилева

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

BIOSCIENCE Series

Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 2(135)/2021

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2021

Nur-Sultan, 2021

Нур-Султан, 2021

Бас редакторы Р.І. Берсімбай
ҚР ҰҒА академигі, б.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ,
Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары Р.Т. Омаров
PhD, б.ғ.к., профессор Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Редакция алқасы

Абжалелов А.Б.	б.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Акильжанова А.Р.	PhD, м.ғ.д., Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Аликулов З.А.	б.ғ.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Аскарова Ш.Н.	б.ғ.к., PhD, Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Ау У.	PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ)
Бисенбаев А.К.	б.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі, Өл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы (Қазақстан)
Здунек-Застока Э.	PhD, проф., Варшава жаратылыстану ғылымдар университеті, Варшава (Польша)
Закиян С.М.	б.ғ.д., проф., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей)
Изотти А.	PhD, проф., Генуя университеті, Генуя (Италия)
Ильдербаев О.З.	м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Константинов Ю.М.	б.ғ.д., проф., Иркутск мемлекеттік университеті, Иркутск (Ресей)
Масалимов Ж.К.	PhD, б.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Моше Саги	PhD, проф., Бен Гурион Негев университеті, Беэр-Шева (Израиль)
Михаил Коломиец	PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ)
Сарбасов Д.Д.	PhD, проф., Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Стегний В.Н.	б.ғ.д., проф., Томск мемлекеттік университеті, Томск (Ресей)
Рубцов Н.	б.ғ.д., проф., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей)
Тагаев Д.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: eurjournalbio@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Бекбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

02.02.2021ж. № KZ11VPY00031938 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-428). Сайт: <http://bulbio.enu.kz>

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Editor-in-Chief **R.I. Bersimbaev**

*Academician of NAS RK, Doctor of Biological Sciences, Prof.,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

*Deputy Editor-in-Chief: R.T. Omarov, Prof., Candidate of Biological Sciences,
PhD L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

Editorial board

Abzhalelov A.B.	Doctor of Biological Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Akilzhanova A.R.	PhD, Doctor of Medical Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Alikulov Z.A.	Prof., Can. of Biological Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Askarova Sh.N.	PhD, Can. of Biological Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Au W.	PhD, Prof., University of Texas, Texas (USA)
Bisenbayev A.K.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty (Kazakhstan)
Zdunek-Zastocka E.	PhD, Prof, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw (Poland) Doctor of Biological
Zakiyan S.M.	Sciences, Prof., Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia)
Izzotti A.	PhD, Prof., University of Genoa, Genoa (Italy)
Ilderbayev O.Z.	Doctor of Medical Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Konstantinov Yu.M.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Irkutsk State University, Irkutsk (Russia)
Massalimov Zh.K.	PhD, Can. of Biological Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Moshe Sagi	PhD, Prof., Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva (Israel)
Mikhail Kolomiets	PhD, Prof., Texas University, Texas (USA)
Sarbassov D.D.	PhD, Prof., Nazarbayev University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Stegniy V.N.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Tomsk State University, Tomsk (Russia)
Rubtsov N.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia)
Tagaev D.	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Kazakhstan, 010008

Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-428), E-mail: eurjourbio@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: Aliya Bekbayeva

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

BIOSCIENCE Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ11VPY00031938 from 02.02.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-428). Website: <http://bulbio.enu.kz>

Главный редактор **Р.И. Берсимбай**
профессор, д.б.н., академик НАН РК, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-
Султан, Казахстан
Зам. главного редактора **Р.Т. Омаров**
PhD, к.б.н., профессор ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан,
Казахстан

Редакционная коллегия

Абжалелов А.Б.	д.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Акильжанова А.Р.	PhD, д.м.н., Назарбаев Университет, Нур-Султан (Казахстан)
Аликулов З.А.	к.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Аскарова Ш.Н.	к.б.н., PhD, Назарбаев Университет, Нур-Султан (Казахстан)
Ау У.	PhD, проф., Техасский университет, Техас (США)
Бисенбаев А.К.	д.б.н., проф., академик НАН РК, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы (Казахстан)
Здунек-Застока Э.	PhD, проф., Варшавский университет Естественных наук, Варшава (Польша)
Закиян С.М.	д.б.н., проф., Институт Цитологии и генетики, Новосибирск (Россия)
Изотти А.	PhD, проф., Университет Генуя, Генуя (Италия)
Ильдербаев О.З.	д.м.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Константинов Ю.М.	д.б.н., проф., Иркутский государственный университет, Иркутск (Россия)
Масалимов Ж.К.	PhD, к.б.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Моше Саги	PhD, проф., Университет им. Бен-Гуриона в Негеве, Беэр-Шева (Израиль)
Михаил Коломиец	PhD, проф., Техасский университет, Техас (США)
Сарбасов Д.Д.	PhD, проф., Назарбаев Университет, Нур-Султан (Казахстан)
Стегний В.Н.	д.б.н., проф., Томский государственный университет, Томск (Россия)
Рубцов Н.Б.	д.б.н., проф., Институт Цитологии и генетики, Новосибирск (Россия)
Тагаев Д.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский
национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-428). E-mail: eurjourbio@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Бекбаева

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на переучет № KZ11VPY00031938 от 02.02.2021г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажымукана, 13/1, Евразийский
национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-428). Сайт: <http://bulbio.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- А.Б.Карабалаева, С.Ж.Ибадуллаева, Ш.Б.Абилова, А.Б.Бегенова, М.Т.Сүлейменова, Қ.Ә.Жұмагулова* Қызылорда қаласындағы жоғары оқу орындары студенттерінің көру жүйесіндегі ортақ денсаулық мәселелері
Karabalayeva A.B., Ibadullayeva S.Zh., Abilova Sh.B., Begenova A.B., Suleimenova M.T., Zhumagulova K.A. Common health problems of the visual system of university students in Kyzylorda
- А.Б. Карабалаева, С.Ж. Ибадуллаева, Ш.Б. Абилова, А.Б. Бегенова, М.Т. Сүлейменова, К.А. Жумагулова* Распространенные проблемы здоровья зрительной системы студентов университета в г. Кызылорда 6
- С.А.Абиев, Т.Е.Дарбаева, А.Н.Сарсенова* Батыс Қазақстан шегіндегі Жайық өзені жайылмалы ормандарының флорасы мен макромиттері қалыптасуының ықтимал жолдары
S.A.Abiev, T.E.Darbayeva, A.N.Sarsenova Possible pathways for the formation of flora and macromycetes of floodplain forests of the Ural River within Western Kazakhstan
- С.А.Абиев, Т.Е.Дарбаева, А.Н.Сарсенова* Возможные пути формирования флоры и макромицетов пойменных лесов р.Урал в пределах Западного Казахстана 18
- И.Н. Аникина, Н.Н. Кайниденов, М.В. Красий, А.Н. Камарова* Қазақстанның Солтүстік-шығысы жағдайында қазақстандық селекциялы картоп сорттарының дамуы мен өнімділігінің салыстырмалы сипаттамасы
I.N. Anikina, N.N. Kaynidenov, M.V. Krasij, A.N. Kamarova Comparative characteristics of the development and productivity of potato varieties of Kazakhstan selection in the conditions of the North-East of Kazakhstan
- И.Н. Аникина, Н.Н. Кайниденов, М.В. Красий, А.Н. Камарова* Сравнительная характеристика развития и продуктивности сортов казахстанской селекции в условиях северо-востока Казахстана 28
- Ж. Қожабек, Ж.Л. Үй, Ш.Л. Уаң* BBSV вирусы жұғымдалу барысындағы HSP17.6 ақуызының механизміне анализ жасау
Zh. Kozhabek, J.L. Yu, X.L. Wang Analysis of the HSP17.6 protein mechanism in BBSV infection
- Ж. Қожабек, Ж.Л. Үй, Ш.Л. Уан* Анализ белкового механизма HSP17.6 при инфицировании вирусом BBSV 38
- Р.Ж. Жапбасов, А.А. Корнилова, А.М. Жомартов, К.Ж. Досыбаев, Л.Б. Джансугурова, Б.О.Бекманов* Алматы облысының жойылмаған және тыйым салынған пестицидтермен ластанған аумағында ұсталатын қойлардың цитогенетикалық бұзылулары
R.Zh. Zhabasov, A.A. Kornilova, A.M. Zhomartov, K.Zh. Dosybaev, L.B. Dzhan sugurova, B.O. Bekmanov Cytogenetic abnormalities in sheep kept in the territory of Almaty region contaminated with non-utilized and banned pesticides
- Р.Ж. Жапбасов, А.А. Корнилова, А.М. Жомартов, К.Ж. Досыбаев, Л.Б. Джансугурова, Б.О.Бекманов* Цитогенетические нарушения у овец, содержащихся на территории Алматинской области, загрязненной неутилизованными и запрещенными пестицидами 54
- Т. Ергалиев* Молибден және өсімдіктердің вирустық инфекцияға төзімділігі
T. Yergaliev Molybdenum and plant resistance to viral infection
- Т. Ергалиев* Молибден и устойчивость растений к вирусной инфекции 63
- О.В. Булгакова, Г.А. Токсобеаева, А.А. Арипова, А.Ж. Каусбекова, А.А. Кусаинова, Р.И. Берсимбай* Радонның клеткалық және молекулалық әсерлерінегі митохондрияның рөлі
O.V. Bulgakova, G.A. Toksabayeveva, A.A. Aripova, A.Zh. Kausbekova, A.A. Kusainova, R.I. Bersimbaev The role of mitochondria in the molecular and cellular effects of radon
- О.В. Булгакова, Г.А. Токсобеаева, А.А. Арипова, А.Ж. Каусбекова, А.А. Кусаинова, Р.И. Берсимбай* Роль митохондрий в молекулярных и клеточных эффектах радона 71



МРНТИ 34.39.19

**А.Б. Карабалаева^{1*}, С.Ж. Ибадуллаева¹, Ш.Б. Абилова²,
А.Б. Бегенова², М.Т. Сулейменова³, К.А. Жумагулова⁴**

¹ НАО Кызылординский университет имени Коркыт ата, Кызылорда, Казахстан

² Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан

³ Университет Мирас, Шымкент, Казахстан

⁴ Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: aitan_jan@mail.ru

Распространенные проблемы здоровья зрительной системы студентов университета в г. Кызылорда

Аннотация. Состояние зрительной системы является частью здоровья личности. Одним из важных моментов образовательного процесса в вузе, наряду с получением качественного образования, является сохранение здоровья обучающихся. Показатели эффективности состояния зрительной системы студентов характеризуют степень адаптивности системы к выполнению поставленных задач и являются обобщающими показателями оптимального функционирования зрительной системы. В целом научные исследования зрительной системы как ресурса обработки информации развиваются аналогично исследованиям зрительного анализатора. Под «здоровьем студента» понимаются объективные показатели и субъективное чувство комплексного состояния и гармонии, характеризующиеся хорошим самочувствием, социальным благополучием и высокой работоспособностью. Проведено исследование методом анкетирования, которое было направлено на оценку осведомленности студенческого населения в городе Кызылорда об общих глазных болезнях. Приведены результаты анкетирования по гигиене глаз и основным глазным заболеваниям. Выявлены процент осведомленности студентов и состояние здоровья глаз. Предоставлены выводы и рекомендации по решению проблемы недостаточной осведомленности в данном аспекте. На сегодняшний день одним из способов повышения уровня знаний о функционировании зрительного анализатора, заболеваемости глаз и профилактических мероприятий являются продвижение программ информирования о здоровье, разработка элективного курса по физиологии сенсорных систем человека в рамках предмета «Физиология человека».

Ключевые слова: глаз, глазные заболевания, осведомленность, сухой глаз, потеря зрения.

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-6-17

Введение

В первые годы образовательного процесса студент получает примерно половину информации, связанной с его будущей профессиональной деятельностью. При этом большая часть ее пропускается через зрительный анализатор. Увеличение объема нагрузки на зрительный анализатор, по мнению врачей, является одной из основных причин нарушений функции органа зрения. [1]. Со скоростью развития информационно-коммуникативных технологий, увеличения машин, ухудшения экологического состояния биосферы, нарушения режима питания увеличивается и скорость ухудшения остроты зрения, и человечество все больше сталкивается с такими глазными заболеваниями, как синдром «сухого глаза», миопия, близорукость, спазм

аккомодации, катаракта и глаукома. В связи с чрезвычайно интенсивными, зачастую - экстремальными нагрузками на зрительную систему из-за повсеместного распространения современных гаджетов, мобильных телефонов и компьютерных технологий, экология зрения становится все более злободневной проблемой [2].

Прогрессирование глазных заболеваний, увеличение количества людей, в особенности студентов с различными диагнозами заболеваний глаз, снижение остроты зрения, делается актуальными проблемами сохранения зрения и профилактики глазных заболеваний уже с рождения и школьного возраста, и эта проблема становится вдвойне актуальна в век информационно-коммуникативных технологий и ухудшения экологического состояния биосферы в целом [2].

Материалы и методы исследования

В ходе исследования были использованы теоретические и эмпирические методы. Анализ философской, психологической, педагогической и методической литературы послужил основой для теоретического построения исследования. Эмпирические методы исследования позволили обобщить отечественный и зарубежный опыт по проблеме формирования у студентов научных знаний о функциональных показателях зрительной системы.

В исследовании Мягкова А.Ю. «Опросные методы сбора данных: предпочтения респондентов» было установлено, что около 60 процентов респондентов относят анкетирование и интервьюирование (наиболее распространенные методы опроса) к методам, обеспечивающим высокую надежность результатов и безопасность для участников. Примерно такое же количество респондентов с доверием относится к исследованиям, проводимым данными методами, и полагают, что они создают обстановку для более откровенных ответов на вопросы исследователей [3-4]. Поэтому в нашем исследовании был выбран метод прямого анкетирования. Также у анкетирования есть ряд преимуществ перед другими разновидностями опросов:

1. Отражает массовые представления об исследуемом предмете.
2. Собственные установки и взгляды анкетера не оказывают существенного влияния на ответы респондента.
3. Искренность ответов поощряется анонимностью анкеты.
4. Последовательность и темп ответов на вопросы выбираются по усмотрению респондента.
5. К респонденту не предъявляется требование иметь особую квалификацию и др.

Метод анкетирования - психологический вербально-коммуникативный метод, в котором в качестве средства для сбора сведений от респондента используется специально оформленный список вопросов - анкета.

Автор совместно с научным руководителем самостоятельно разработали анкету, которая была использована для интервьюирования студентов в университете города Кызылорда.

Анкета - это опросный лист для внесения каких-либо сведений, также это сбор сведений путем получения ответов на определённые вопросы [5].

В нашей анкете (опросном листе) собрана информация об осведомленности в знании общих заболеваний глаз и др. (рисунок 1).

Участники были проинформированы о целях и задачах нашего исследования прежде было получено согласие на анкетирование. Предварительно подготовленные анкеты были розданы исследуемым группам и собраны сразу после заполнения их студентами [5].

Описательная статистика, графическое представление и различные диаграммы, такие как столбцы, круговые диаграммы, были применены к собранным данным с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2007.

Анкета
для оценки осведомленности молодого населения в г. Кызылорде об общих
глазных болезнях
(Если Вы не знаете, как ответить на все вопросы, Вы можете заполнить форму
частично).

1. Ваше имя: _____

2. Ваш возраст: _____

3. Ваш пол:

Муж. _____ Жен. _____

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

5. Знаете ли Вы общие заболевания глаз? (если знаете)

Да _____ Нет _____

6. Пользуетесь ли Вы очками?

Да _____ Нет _____

7. Какие общие заболевания глаз Вы знаете?

- покраснение глаз
- нечеткость зрения
- трахома
- глаукома
- потеря зрения

8. Проводите ли Вы мероприятия по уходу за глазами?

Да _____ Нет _____

9. Знаете ли Вы причину потери зрения, можно ли предотвратить потерю зрения?

Знаю _____ Нет, не знаю _____

10. Когда Вы в последний раз были на приеме у глазного врача? Имеете ли вы проблемы с глазами в данный момент?

- Обращаюсь к врачу постоянно.
- Лечусь самостоятельно дома.
- Не имеют проблем с глазами.

11. Страдаете ли Вы любым заболеванием глаз?

Да _____ Нет _____

12. Посещаете ли Вы ежегодно офтальмолога с целью диагностики?

Да _____ Нет _____

**Рисунок 1. Анкета для оценки осведомленности молодого населения
в г. Кызылорде об общих глазных болезнях**

Исследование проводилось поэтапно в период с 2018 по 2020 год.

На первом этапе (2018 - 2019 гг.) осуществлялось изучение, обобщение и систематизация научной информации по проблеме исследования в философской, психолого-педагогической, методической литературе по биологии и определен научный аппарат исследования, а также был разработан и проведен мониторинг функциональных параметров зрительной системы.

На втором этапе (2019 - 2020 гг.) был проведен констатирующий эксперимент, оценены и

проанализированы его результаты, уточнялась и корректировалась гипотеза исследования; разрабатывалась экспериментальная методика и осуществлено экспериментальное обучение студентов.

Результаты и обсуждение

Состояние зрительной системы является частью здоровья личности. Одним из важных моментов образовательного процесса в вузе, наряду с получением качественного образования, является сохранение здоровья обучающихся. Под «здоровьем студента» понимаются объективные показатели и субъективное чувство комплексного состояния и гармонии, характеризующееся хорошим самочувствием, социальным благополучием и высокой работоспособностью [6].

Основной интерес исследователей прикован к проблеме роста глазных заболеваний среди студентов. Большинство авторов соглашались с мнением о том, что в настоящее время компьютеры, мобильные телефоны и другие гаджеты стали неотъемлемым компонентом повседневной студенческой жизни, благодаря которым они получают всю необходимую информацию. Чрезмерное увлечение такими высокотехнологичными средствами коммуникации приводит, с одной стороны, к увеличению нагрузки на зрительный анализатор, который отвечает за получение 70-90 % информации из окружающего мира, а с другой - к распространению таких поведенческих факторов риска, как гиподинамия, нарушение режима питания, учебы и отдыха, сна и т.д. среди студентов [7].

Как отмечают авторы, постоянное усложнение содержания учебных программ в высшей школе, увеличение объема учебных дисциплин с переходом от курса к курсу, увеличение продолжительности самостоятельной работы студентов приводят к тому, что студенты проводят большое количество времени за мониторами компьютеров, а это в свою очередь сокращает объем двигательной активности и в конечном итоге ведет к дисбалансу в деятельности основных функциональных систем организма [8].

В первые годы образовательного процесса студент получает примерно половину информации, связанной с его будущей профессиональной деятельностью. При этом большая часть ее пропускается через зрительный анализатор. Увеличение объема нагрузки на зрительный анализатор, по мнению врачей, является одной из основных причин нарушений функции органа зрения. Свидетельством тому являются труды ряда ученых, к примеру, А.С.Грачев в своем диссертационном исследовании, ссылаясь на труды Е.В. Фазлеевой [9], Е.Н. Копейкиной [10] и М.Д. Богоевой [11] указывает на то, что количество первокурсников с различными патологиями зрительного анализатора ежегодно увеличивается на 3-5 % [12].

Основываясь на результатах исследований, проведенных учеными из Научно-образовательного центра физкультурно-оздоровительных технологий (НОЦ ФОТ) НИУ БелГУ среди студентов 1-3-го курса, А.С.Грачев констатирует, что нарушение функций зрительного анализатора наблюдается примерно у 13,4% [13]. Им проведен сравнительный анализ полученных данных с данными за 2008-2009 учебный год, в котором было зафиксировано 8,9% студентов с ослабленным зрением.

По данным представленным Е.А. Калабугиной, в результате профилактических осмотров за период 2007-2012 гг. у 36% студентов технического вуза выявлены различные заболевания глаз [14].

Среди причин, приводящих к нарушению функции зрительного анализатора, можно отметить работу с электронными устройствами (компьютер, сотовый телефон, планшет), вследствие которой возрастает вероятность возникновения ряда патологий зрительного анализатора, опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта [15]. Г.И. Шведов, анализируя влияние компьютера на здоровье человека, констатирует, что более 90% компьютерных пользователей жалуются на жжение и боли в области глаз, чувство песка под

веками, затуманенное зрение и др. [16]. В связи с вышеизложенным очевидно, что одним из актуальных направлений экологии зрения человека является мониторинг зрительных функций. Проведя мониторинг зрения среди студентов биологов в Кызылординском университете Коркыт Ата, выявили, что миопия остается одной из наиболее актуальных проблем офтальмологии. Это обусловлено ее широким распространением, склонностью к прогрессированию и частым переходом ее в осложненную форму, которая прочно занимает первое и второе места по причинам первичной инвалидности по зрению среди лиц молодого возраста. Приходится признать, что близорукость - ведущая причина плохого зрения во всем мире, и эта тенденция лишь усиливается, несмотря на обилие методов коррекции и лечения [17].

Также был выявлен важный недуг среди студентов- синдром «сухого глаза».

Это широко распространенная патология в современном мире, состояние, характеризующееся недостаточной выработкой слезной жидкости. Синдром «сухого глаза» может быть самостоятельной патологией или одним из проявлений какого-либо заболевания. При данном синдроме поражаются железы организма, в данном случае слезные. Продукция слезной жидкости резко снижена, химический состав ее изменен: слеза густая, вязкая, снижено содержание бактерицидных веществ, пациенты страдают от хронических воспалений (блефаритов, конъюнктивитов, кератитов). Синдром «сухого глаза» наблюдается при многих системных заболеваниях (ревматоидный артрит, системная красная волчанка и т.д.). Реже встречается как абсолютно самостоятельное заболевание [18]. Изучение этого синдрома показало, что началом развития многих глазных заболеваний является синдром «сухого глаза».

Существуют много причин, вызывающих возникновение «сухого глаза». Но главными из них считаются следующие:

- ношение контактных линз для красоты, часто синдром «сухого глаза» развивается у пользователей контактных линз. Если линза подсыхает, она поглощает влагу из слезной жидкости.

- ветер, сухой климат, солёная пыль Арала, городской табачный дым, кондиционеры могут также вызывать или усугубить синдром «сухого глаза».

- долгое сидение за компьютером; синдром «сухого глаза» порой называют «офисным» или «мониторным». Когда мы смотрим на экран компьютера или читаем, частота мигательных движений снижена, слезная пленка вовремя не обновляется, и роговица недостаточно увлажняется. Если это происходит каждый день в течение многих часов, то появляются симптомы «сухого глаза».

- недостаток витамина А также приводит к специфическим изменениям роговицы глаза, в начальных стадиях проявляющимся в виде «сухого глаза». При тяжелой степени появляются изменения роговицы и конъюнктивы. Наблюдаются частые воспалительные явления: блефариты, конъюнктивиты, так как на фоне недостаточной увлажненности глаза снижается местный иммунитет и легко присоединяется инфекция. На роговице могут образовываться микроэрозии, развиваться нитчатый кератит, язва роговицы [19].

Нами было проведено анкетирование, которое было направлено на оценку осведомленности молодого населения в городе Кызылорде об общих глазных болезнях. В содержание анкеты были включены различные вопросы, касающиеся гигиены зрения и глазных болезней.

Данные анкетирования показали состояние проблемы среди студентов биологических специальностей в г. Кызылорда.

Анкетирование проводилось в трехмесячный период с сентября по декабрь 2019 года. Респонденты принимали активное участие, так как данное исследование является одним из актуальных вопросов сегодняшнего дня.

В анкетировании принимали участие 120 студентов специальности «Биология» мужского и женского пола в возрасте от 17 до 22 лет.

Большинство участников имели представление о глазных заболеваниях - покраснение глаз - 61%, нечеткость зрения - 81%, трахома - 40%, глаукома - 71%, потеря зрения - 74%, что свидетельствует о хорошей информированности респондентов в отношении данных болезней (диаграмма 2). 36% студентов знает причины потери зрения, 64% студентов не знают. 48% студентов знают, что заболевания можно предотвратить, 52% не имеют об этом представления (Диаграмма 1).

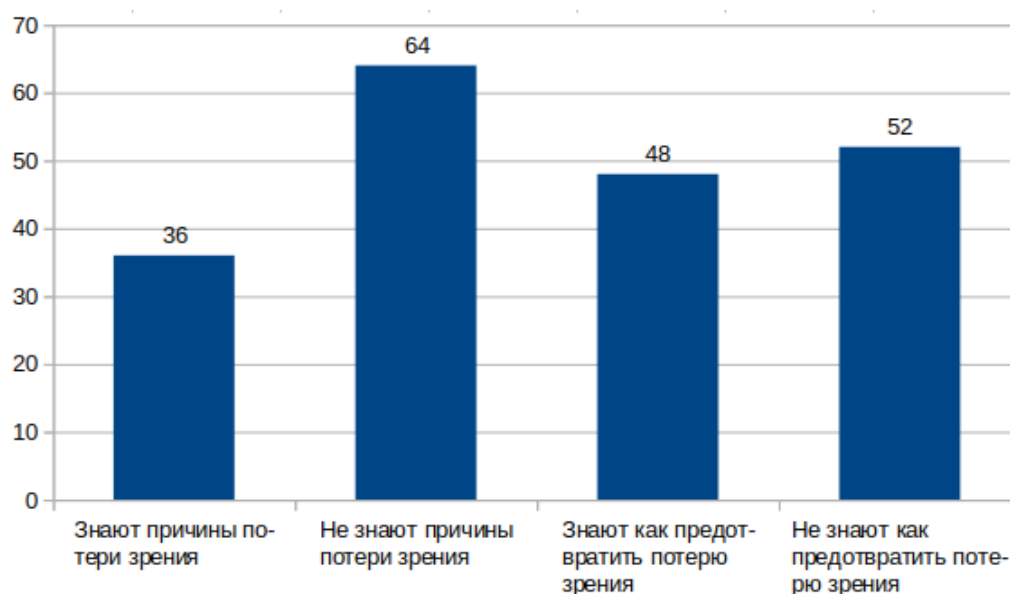


Диаграмма 1. Знания респондентов о причинах потери зрения и возможностях профилактики

В ходе исследования 40% респондентов ответили, что слышали о трахоме, 60% не владеют информацией о трахоме. Также в ходе анкетирования 71% респондентов ответили, что имеют представление о глаукоме, 29% - не имеют. 41% студентов знают причины потери зрения, 59% студентов не знают, 60% студентов знают, что болезни можно предотвратить, 40% студентов не знают (Диаграмма 2).

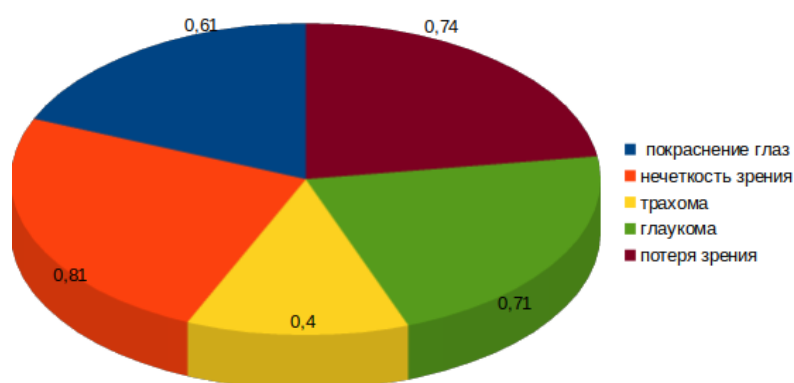


Диаграмма 2. Знание студентами основных заболеваний глаз

По вопросу «Страдаете ли вы каким-либо заболеванием глаз?» сложилась следующая картина: 47% студентов страдают какими-либо заболеваниями глаз, 53% студентов - нет.

По текущим проблемам с глазами: 33% респондентов обращаются к врачу, 12% - лечатся самостоятельно, 55% - не имеют проблем с глазами (диаграмма 3).

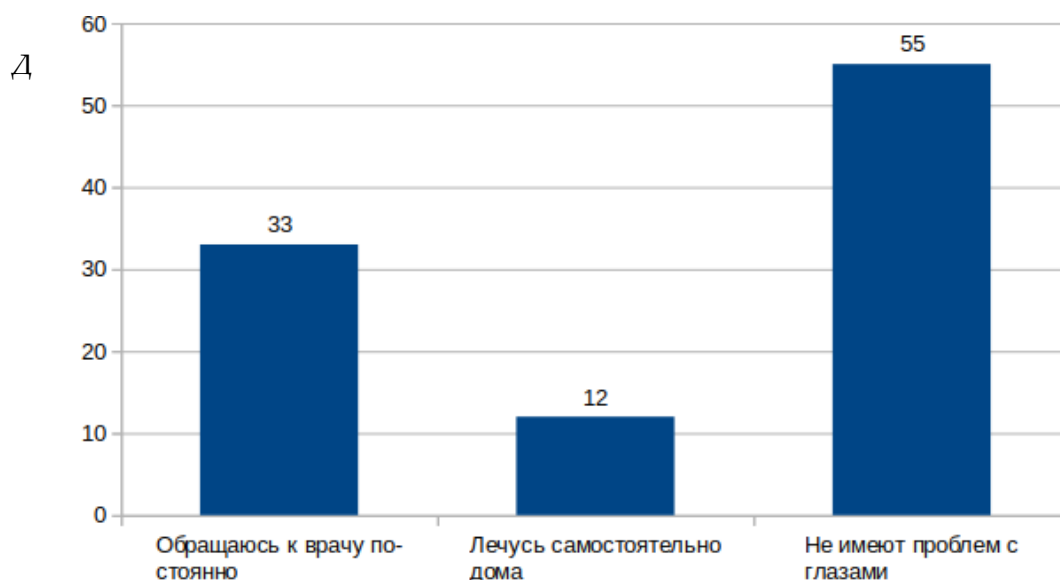


Диаграмма 3. Текущие проблемы с глазами

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что молодое поколение недостаточно осведомлено о зрительных заболеваниях, хотя в последнее время наблюдается их рост. Студенты не владеют полной информацией о гигиене органа зрения, недостаточен уровень осведомленности респондентов о росте и последствиях зрительных заболеваний. Возможно, это связано с недостаточным распространением информации о физиологическом значении зрительного анализатора, а также минимальным содержанием информации в контенте элективных курсов. На сегодняшний день один из способов повышения уровня знаний о функционировании зрительного анализатора, заболеваемости глаз и профилактических мероприятий - продвижение программ информирования о здоровье, разработка элективного курса по физиологии сенсорных систем человека в рамках предмета «Физиология человека».

Заключение

Мониторинг зрительного анализатора студентов, состоящий из анкетирования и медицинского обследования, выявил отношение студентов к своему здоровью и основные патологии органа зрения. Среди выявленных патологий преобладали такие заболевания, как синдром «сухого глаза» и миопия.

Студентам рекомендуются общеразвивающие и специфические упражнения для улучшения зрения в целях профилактики и коррекции глазных заболеваний. Необходимы широкомасштабные исследования в данном направлении.

Список литературы

1. Глазмед, 2008-2020, медицинский портал [Электрон.ресурс]. - 2008. URL: <http://glazamed.ru/baza-znaniy/oftalmologiya/glaznye-bolezni/2.-evoluciya-organa-zreniya-s.1/> (дата обращения 15.09.2020).

2. Голубкина Н.А., Соколов Я.А., Жестянников Л.В. Введение в зрительную экологию. - Москва: Форум, - 2005. - 25 с.
3. В.Г. Андреенков, К.Д. Аргунова, В.И. Паниотто. Математические методы анализа и интерпретация социологических данных - Москва: Наука, - 1989. - 173 с.
4. Добренков В. И., Кравченко А. И. Методы социологических исследований. - Москва: Инфра-М, 2004.
5. Мягков А.Ю. Опросные методы сбора данных: предпочтения респондентов // Социс. - 2000. - № 8. - С. 98-109.
6. Дравица, Л. В. Анатомия и физиология зрительного анализатора: учеб.-метод. пособие для студентов всех факультетов медицинских вузов, клинических ординаторов, аспирантов, врачей-стажеров-офтальмологов / Л. В. Дравица, Н. И. Штаненко, Ф. И. Бирюков; под ред. Л. В. Дравица, Н. И. Штаненко. - Гомель: учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», - 2009. - с. 4.
7. Сахарова О.Б., Кичу П.Ф., Гришанов А.В., Горборукова Т.В. Влияние социально-гигиенических факторов на состояние здоровья студентов Дальневосточного университета. Здравоохранение Российской Федерации. - 2012. - №2. - С. 39-41.
8. Лотоненко А.В. Физическая культура и здоровье: Монография. - Москва: «Еврошкола», - 2008. - 450 с.
9. Фазлеева Е.В., Меркулова Е.А., Чемоданова Ф.Х. Анализ распределения студентов I курса на медицинские группы в 2007-2008 учебном году // Пути совершенствования физической подготовки студенческой молодежи в современных условиях: Матер. Всерос. Науч.-практич. Конф. - Чебоксары: ЧИЭИМ, - 2009. - 140-141 с.
10. Копейкина Е.Н., Румба О.Г., Горелов А.А. Построение процесса физического воспитания студенток с нарушениями в состоянии дыхательной системы. Монография.- Белгород: ИПЦ «Политерра», - 2010. - 133 с.
11. Богоева М.Д., Румба О.Г., Горелов А.А. Построение процесса физического воспитания студентов специальной медицинской группы с ограниченными возможностями сердечнососудистой системы. Монография. - Белгород: ИПЦ «Политерра», - 2011. - 172 с.
12. Грачёв А.С. Технология улучшения функционирования зрительного анализатора слабовидящих студентов средствами спортивных и подвижных игр: дис. канд.пед. наук. Санкт-Петербург, - 2013. - 230 с.
13. Копейкина Е.Н., Румба О.Г., Горелов А.А. Построение процесса физического воспитания студенток с нарушениями в состоянии дыхательной системы. Монография. - Белгород: ИПЦ «Политерра», - 2010. - С. 16-17.
14. Калабугина Е.А. Влияние электронных средств на здоровье студентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. Выпуск № 2. Том 5. - 2013. - С. 67 - 73.
15. Жукембаева А.М., Садуов А.Т., Сарсенбаева А.О., Азаматова Д.А., Бектурганов К.Б., Игентаева А.Т., Калибекова Ж.Б., Смаилова Н.К., Турсынбаева У.Ж., Шиенов Н.М. Влияние компьютера на здоровье детей и подростков// Вестник КазНМУ, - 2016. - №4. - С. 237-239.
16. Шведов Г.И., Друганова Л.П., Шаева Т.В. Негативные факторы воздействия компьютера на здоровье человека// Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья, - 2008. - № 32. - С. 85-88.
17. Резник В.Л., Абсатарова К.С., Хусаинова Х.Ш., Лим Л.В. Заболеваемость детей в возрасте до 5-ти лет в Кызылординской области по данным медицинских осмотров 2011 года // Центрально-Азиатский Научно-Практический Журнал по общественному здравоохранению. - 2012. - Выпуск 11. - №2. - С.1.

18. Слонимский А.Ю. Синдром сухого глаза. Все о зрении. Он-лайн гид по здоровью глаз [Электрон.ресурс]. - 2008. URL: <http://www.vseozrenii.ru/glaznye-bolezni/sindrom-suhogo-glaza/> - ССГ (дата обращения 20.09.2020).

19. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология, Т.2, 2015. - С. 321.

**А.Б.Карабалаева¹, С.Ж.Ибадуллаева¹, Ш.Б.Абилова², А.Б.Бегенова²,
М.Т.Сулейменова³, Қ.Ә.Жұмағұлова⁴**

¹ Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

² С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

³Мирас университеті, Шымкент, Қазақстан

⁴Абай атындағы ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

Қызылорда қаласындағы жоғары оқу орындары студенттерінің көру жүйесіндегі ортақ денсаулық мәселелері

Аңдатпа. Көру жүйесінің жағдайы адам денсаулығының бір бөлігі болып табылады. Жоғары оқу орнындағы білім беру процесінің маңызды тұстарының бірі - сапалы білім берумен қатар білім алушылардың денсаулығын сақтау болып табылады. Студенттердің көру жүйесі жағдайының тиімділік көрсеткіштері бұл жүйеге қойылған міндеттерді орындау дәрежесін сипаттайды және ол көру жүйесінің оңтайлы жұмыс істеуінің жалпылама көрсеткіштері болып табылады. Жалпы, визуалды жүйенің ақпаратты өңдеу ресурсы ретіндегі ғылыми зерттеулер визуалды анализаторды зерттеу ісіне ұқсас дамиды. "Студенттік денсаулық" дегеніміз - объективті көрсеткіштер және әл-ауқат, әлеуметтік жағдай және жоғары жұмыс қабілеттілігімен сипатталатын күрделі мәселе мен үйлесімділіктің субъективті күйі. Зерттеу сауалнама әдісі арқылы жүргізілді, ол Қызылорда қаласындағы студенттер арасында жалпы көз ауруларының таралуы және алынған білімді бағалауға бағытталған. Мақалада көз гигиенасы және көздің негізгі аурулары бойынша сауалнаманың нәтижелері келтірілген. Студенттердің хабардарлығы мен көз денсаулығының пайызы анықталды. Айқын көрсеткіштер бойынша студенттер арасындағы нашар көру мәселелерін шешу бойынша қорытындылар мен ұсыныстар берілді. Бүгінгі таңда көру анализаторын, көздің ауруын және алдын-алу шараларын қолдану туралы білім деңгейін арттырудың бір әдісі - денсаулық туралы ақпараттандыру бағдарламаларын алға жылжыту, адамның сенсорлық жүйелерінің физиологиясы бойынша адам физиологиясы пәніне элективті курс әзірлеу.

Түйін сөздер: көз, көз аурулары, құрғақ көз, көру қабілетінің төмендеуі.

**A.B. Karabalayeva¹, S.Zh. Ibadullayeva¹, Sh.B. Abilova², A.B. Begenova²,
M.T. Suleimenova³, K.A. Zhumagulova⁴**

¹ *Qorqyt Ata University, Qyzylorda, Kazakhstan*

² *Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

³ *Miras University, Shymkent, Kazakhstan*

⁴ *Abai Kazakh national pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

Common health problems of the visual system of university students in Kyzylorda

Abstract. The state of the visual system is part of the health of an individual. One of the most important aspects of the educational process at the university, along with obtaining a quality education, is the preservation of the health of students. Indicators of the effectiveness of the state of the visual system of students characterize the degree of adaptability of the system to the performance of the assigned tasks and are generalizing indicators of the optimal functioning of the visual system. In general, scientific studies of the visual system as a resource for information processing are developing similarly to studies of the visual analyzer. "Student health" refers to objective indicators and a subjective feeling of a complex state and harmony, characterized by good health, social well-being, and high working capacity. A survey was conducted to assess the awareness of the prevalence and knowledge of common eye diseases among the student population in the city of Kyzylorda. The results of a questionnaire survey on eye hygiene and major eye diseases are presented. Revealed the percentage of students' awareness and the state of eye health. Conclusions and recommendations are provided for solving awareness problems among students in terms of visual indicators. Today, one of the ways to increase the level of knowledge about the functioning of the visual analyzer, eye diseases and preventive measures is to promote health information programs, develop an elective course in the physiology of human sensory systems in the subject of Human Physiology.

Keywords: eye, eye diseases, awareness, dry eye, loss of vision.

References

1. Glazamed, 2008-2020, medicinskij portal [Electronic resource]. Available at: <http://glazamed.ru/baza-znaniy/oftalmologiya/glaznye-bolezni/2.-evoluciya-organa-zreniya-s.1/> (Accessed 09.15.2020) [in Russian].
2. Golubkina N.A., Sokolov Ya.A., Zhestyannikov L.V. Vvedenie v zritel'nuyu ekologiyu [An introduction to visual ecology]. (Forum, Moskva, 2005, 25 p.) [in Russian].
3. V.G. Andreenkov, K. D. Argunova, V.I. Paniotto. Matematicheskie metody analiza i interpretaciya sociologicheskikh dannyh [Mathematical methods of analysis and interpretation of sociological data]. (Nauka, Moskva, 1989. 173 p.) [in Russian].
4. Dobrenkov V. I., Kravchenko A. I. Metody sociologicheskikh issledovaniy [Sociological research methods]. (Infra-M, Moskva, 2004) [in Russian].
5. Myagkov A.Yu. Oprosnye metody sbora dannyh: predpochteniya respondentov [Survey data collection methods: respondents' preferences] Sotsis. 8, 98-109 (2000) [in Russian].
6. Dravitsa L.V. Anatomiya i fiziologiya zritel'nogo analizatora: ucheb.-metod. posobie dlya studentov vsekh fakul'tetov medicinskih vuzov, klinicheskikh ordinatorov, aspirantov, vrachej-stazherov-oftal'mologov [Anatomy and physiology of the visual analyzer: study guide. manual for students of all faculties of medical universities, clinical residents, graduate students, trainee ophthalmologists]. Gomel': uchrezhdenie obrazovaniya «Gomel'skij gosudarstvennyj medicinskij universitet», 2009, p. 4 [in Russian].

7. Sakharova OB, Kiku PF, Grishanov AV, Gorborukova TV. Vliyanie social'no-gigienicheskikh faktorov na sostoyanie zdorov'ya studentov Dal'nevostochnogo universiteta [Influence of social and hygienic factors on the health status of students of the Far Eastern University], *Zdravoohranenie Rossijskoj Federacii* [Healthcare of the Russian Federation]. 2, 39-41 (2012) [in Russian].
8. Lotonenko A.V. Fizicheskaya kul'tura i zdorov'e [Physical culture and health]: Monografiya. - Moskva: «Evroshkola» 2008, 450 s. [in Russian].
9. Fazleeva E.V., Merkulova E.A., Chemodanova F.Kh. Analiz raspredeleniya studentov I kursa na medicinskie gruppy v 2007-2008 uchebnom godu [Analysis of the distribution of 1st year students to medical groups in the 2007-2008 academic year] *Puti sovershenstvovaniya fizicheskoy podgotovki studencheskoj molodezhi v sovremennyh usloviyah: Mater. Vseros. Nauch. praktich. Konf.* [Ways of improving the physical training of student youth in modern conditions: Mater. Vseros. Scientific and practical Conf.] *Cheboksary: ChIEiM*, 2009, 140-141 p. [in Russian].
10. Kopeikina E.N., Rumba O.G., Gorelov A.A. Postroenie processa fizicheskogo vospitaniya studentok s narusheniyami v sostoyanii dyhatel'noj sistemy. [Construction of the process of physical education of female students with disorders in the state of the respiratory system]. *Monografiya. (IPC "Polyterra", Belgorod, 2010, 133 p.)* [in Russian].
11. Bogoeva M.D., Rumba O.G., Gorelov A.A. Postroenie processa fizicheskogo vospitaniya studentov special'noj medicinskoj gruppy s ogranichennymi vozmozhnostyami serdechnosudistoj sistemy. [Construction of the process of physical education of students of a special medical group with disabilities of the cardiovascular system]. *Monografiya. (IPC "Polyterra", Belgorod, 2011, P.172)* [in Russian].
12. Grachev A.S. Tekhnologiya uluchsheniya funkcionirovaniya zritel'nogo analizatora slabovidyashchih studentov sredstvami sportivnyh i podvizhnyh igr: [Technology of improving the functioning of the visual analyzer of visually impaired students by means of sports and outdoor games]: *dis. kand.ped. nauk. Sankt-Peterburg* [dis. Candidate of Ped. sciences.] *St. Petersburg*, 2013, p. 230 [in Russian].
13. Kopeikina E.N., Rumba O.G., Gorelov A.A. Postroenie processa fizicheskogo vospitaniya studentok s narusheniyami v sostoyanii dyhatel'noj sistemy [Construction of the process of physical education of female students with disorders in the state of the respiratory system]. *Monografiya. (IPC "Polyterra", Belgorod, 2010, p. 16-17)* [in Russian].
14. Kalabugina E.A. Vliyanie elektronnyh sredstv na zdorov'e studentov [The influence of electronic means on the health of students] *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie. Pedagogicheskie nauki.* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Pedagogical sciences]. 2(5), 67-73 (2013) [in Russian].
15. Zhukembaeva A.M., Saduov A.T., Sarsenbaeva A.O., Azamatova D.A., Bekturganov K.B., Igentaeva A.T., Kalibekova Zh.B., Smailova N.K., Tursynbaeva U. Zh., Shienov N.M. Vliyanie komp'yutera na zdorov'e detej i podrostkov [Influence of the computer on the health of children and adolescents]. *Vestnik KazNMU* [Bulletin of KazNMU]. 4, 237-239 (2016) [in Russian].
16. Shvedov G.I., Druganova L.P., Shaeva T.V. Negativnye faktory vozdejstviya komp'yutera na zdorov'e cheloveka [Negative factors of the computer's impact on human health]. *Nauchno-medicinskij vestnik Central'nogo CHernozem'ya* [Scientific medical bulletin of the Central Chernozem region]. 32, 85-88 (2008). [in Russian].
17. Reznik V.L., Absatarova K.S., Khusainova Kh.Sh., Lim L.V. abolevaemost' detej v vozraste do 5-ti let v Kyzylordinskoj oblasti po dannym medicinskih osmotrov 2011 goda [The incidence of children under the age of 5 in the Kyzylorda region according to medical examinations in 2011]. *Central'no-Aziatskij Nauchno-Prakticheskij ZHurnal po obshchestvennomu zdravoohraneniyu* [Central Asian Scientific and Practical Journal of Public Health]. 11(2), 1 (2012). [in Russian].

18. Slonimsky A.Yu. Sindrom suhogo glaza [Dry eye syndrome]. Vse o zrenii [All about vision]. On-lajn gid po zdorov'yu glaz [Online guide to eye health] [Electronic resource]. Available at: <http://www.vseozrenii.ru/glaznye-bolezni/sindrom-suhogo-glaza/> (Accessed 20.09.2020) [in Russian].
19. Taylor D., Green N., Stout W. *Biology*, 2, 321 (2015).

Сведения об авторах:

Карабалаева А.Б. - магистр биологических наук, докторант кафедры биологии, химии и географии Кызылординского университет имени Коркыт ата, ул. Бозгылова, 2-15, Кызылорда, Казахстан.

Ибадуллаева С.Ж. - доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, химии и географии Кызылординского университет имени Коркыт ата, ул. Толе би, 24, Кызылорда, Казахстан.

Абилова Ш.Б. - магистр биологических наук, старший преподаватель кафедры микробиологии и биотехнологии Казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина, ул. Е-22, 3-168, Нур-Султан, Казахстан.

Бегенова А.Б. - кандидат ветеринарных наук доцент, заведующий кафедрой Микробиологии и биотехнологии Казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина, ул. Е-22, 3-168, Нур-Султан, Казахстан.

Сулейменова М.Т. - кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, университет Мирас, Шымкент, Казахстан.

Жумагулова К.А. - кандидат педагогических наук, доцент, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан.

Karabalayeva A.B.- Master of Biological Sciences, Ph.D. student of the Department of Biology, Chemistry and Geography Qorqyt Ata University, 2-15 Bozgulov str., Qyzylorda, Kazakhstan.

Ibadullayeva S.Zh. - Doctor of Biology, Professor of the Department of Biology, Chemistry and Geography Qorqyt Ata University, 24 Tole bi str., Qyzylorda, Kazakhstan.

Abilova Sh.B. - Master of Biological Sciences of the Department of Microbiology and Biotechnology, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, E-22,3-168, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Begenova A.B. - Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology and Biotechnology, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, E-22,3-168, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Suleimenova M.T. - Candidate of Biological Sciences, Professor, Miras University, Shymkent, Kazakhstan.

Zhumagulova K.A. - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

С.А.Абиев¹, Т.Е.Дарбаева², А.Н.Сарсенова^{1*}¹Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан²Западно - Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан

*Автор для корреспонденции: assemgulsarsenova@gmail.com

Возможные пути формирования флоры и макромицетов пойменных лесов р.Урал в пределах Западного Казахстана

Аннотация. В статье рассмотрена историческая реконструкция флоры и макромицетов пойменных лесов р.Урал. Длина всей реки составляет 2428 км, по Западному Казахстану - свыше 1000 км.

Пойменные леса развиты по трём генетическим частям: приустьевой, центральной и притеррасной. По структуре леса выделяются коренные и производные леса. Ведущим фактором в формировании долины р.Урал является геология и рельеф, в связи с чем выявлены 4 природных региона по флористическому (630 видов растений) и микофлористическому разнообразию (77 видов макромицетов).

Ход эволюции и трансформации флоромикологического состава лесных сообществ проанализированы по составу исторических свит. В исследуемом регионе выделено 13 свит в понимании Г.М.Зозулина, среди них более подробно рассмотрены 6 свит, хорошо выделяющихся в современных пойменных лесах. При установлении свит принимались во внимание характер современного распространения видов, их ценолитическая приуроченность, генетические связи отдельных видов, ритм развития и жизнеспособность видов в сообществе.

Процесс формирования флоромикологического комплекса пойменных лесов базируется на реликтовых и миграционных элементах, обогащается и расселяется с Южного Урала, а также из долины левых притоков Волги и Общего Сырта. На формирование его потребовалось длительное время от миоцена до голоцена.

Ключевые слова: река Урал, пойменные леса, флора, макромицеты, исторические свиты, реликтовый комплекс.

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-18-27

Введение

Среди растительных природных богатств Казахстана большое значение имеют пойменные леса р.Урал. Они выполняют водоохранную, берегоукрепительную, почвозащитную функции и сохраняют биоразнообразие в пределах степной, полупустынной и пустынной зон Западного Казахстана (ЗК) [1].

Пойменные леса - леса, произрастающие во временно затопляемых, речных долинах. Эти леса получают дополнительное увлажнение за счет весенних паводковых вод. В зависимости от способности деревьев выдерживать длительное затопление, формируются формации ветловников, осокорников, белотополевников, вязовников, осинников и дубняков [2].

Целью исследования является восстановление истории флоры и макромицетов в пойменных лесах р.Урал в пределах ЗК.

Задачами исследования были:

- разделение секторального районирования бассейна р.Урал на территории ЗК;
- выделение исторических свит по методике Г.М.Зозулина с распределением микоризообразующих и дереворазрушающих макромицетов;
- выявление исторических путей формирования растительных формаций и макромицетов.

Река Урал протекает по территории ЗК на протяжении 1084 км. В административном отношении река пересекает Западно-Казахстанскую, Актюбинскую и Атыраускую области [3].

Пойменные леса в основном развиты в прирусловой, центральной и притеррасной поймах, а также по малым рекам или притокам, впадающим в р.Урал. Лесистость территории составляет 0,6% от всей территории области [4].

Флора и макромицеты пойменных лесов бассейна р. Урал представляют собой сложный микофлористический комплекс видов, образовавшийся в результате наложения в разные фазы истории различных по происхождению растительных группировок. Это наложение происходило путем длительной борьбы и взаимоприспособления между видами коренных группировок. В результате возникли качественно новые дошедшие до нашего времени растительные группировки, различным образом связанные друг с другом. Современные растительные сообщества по Г.М. Зозулину состоят из фитоценогенетического ядра видов основной исторической группы и селектоценогенетических включений [5].

Макромицеты играют существенную роль в функционировании в пойменных лесах [6]. Базидиальные макромицеты (Basidiomycota, Agaricomycetes) - одна из крупнейших групп грибов, объединяющая такие важные в экологическом плане группы, как агарикоидные, афиллофороидные и гастероидные грибы [7].

Агарикоидные и афиллофороидные базидиомицеты по числу видов составляют значительную долю макромицетов во многих фитоценозах и выполняют важнейшие экологические функции в лесных экосистемах Западного Казахстана. Им принадлежит главная роль в разложении опада, остатков высших растений, разложении и гумификации древесины и, кроме того, в образовании эктотрофных микориз [7].

Современные микофлористические комплексы содержат в себе историческую информацию, которая помогает раскрыть особенности, ход эволюции, трансформацию и современное состояние. Поэтому выяснение истории проникновения и становления основных древесных пород и базидиомицетов в пойменных лесах р. Урал является актуальным.

С целью изучения современного состояния пойменных лесов бассейна р. Урал авторами были проведены многолетние флористические, геоботанические (2005-2020 гг), микологические исследования (сбор плодовых тел проводился в период полевого сезона 2019-2020 гг. в долине р.Урал) в пределах ЗК, начиная с севера от п.Приуральный (N 51°28.879 E 053°07.049) до п.Индер (N 48°35.520 E 051°47.754) на юге.

Материалы и методы исследований

Бассейн р.Урал находится в пределах двух ботанико-географических областей: в Евразийской степной и Сахаро-Гобийской пустынной зонах. Река Урал пересекает все три подзоны северных, средних и южных степей Евразийской степной зоны. На крайнем юге (48о с.ш.) река проходит северную подзону Северотуранской пустынной зоны [1].

В исследуемых пойменных лесах в зависимости от генетической однородности территории дифференцировались на физико-географические районы (Молдагулов, 1967, Агелеуов, 1982). При этом учитывалась окружающая плакорная территория, которая оказывает значительное влияние на формирование и развитие растительности пойменных лесов. Нами было проведено секторальное районирование бассейна р.Урал на территории ЗК, где выделили четыре природных района с подрайонами и их границами (рисунок 1):

- I. Платформенный степной Урал: 1. Илек - Уральск
- II. Прикаспийский степной Урал: 2. Уральск - Янайкино
- III. Прикаспийский пустынно- степной Урал: 3. Янайкино - Атамекен
- IV. Прикаспийский пустынный Урал: 4. Атамекен - Индер

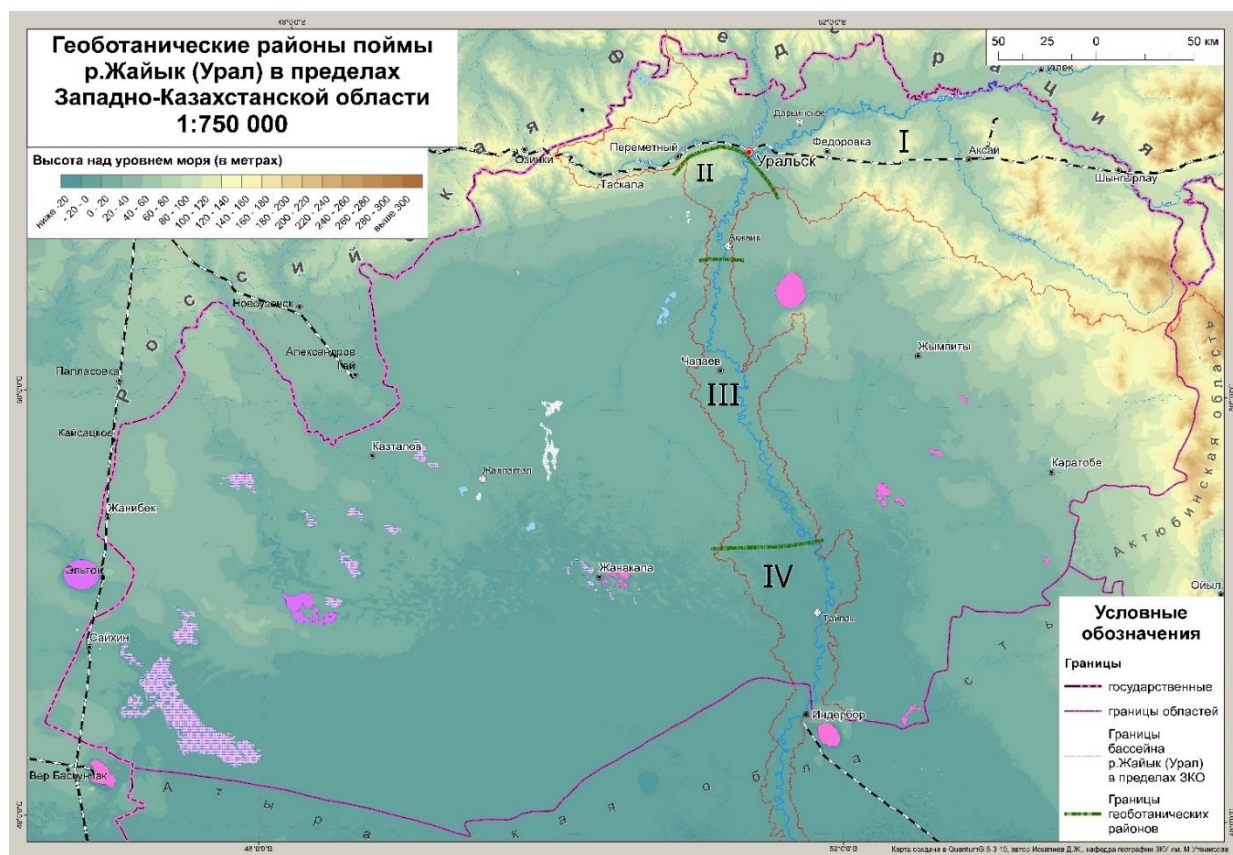


Рисунок 1. Геоботанические районы бассейна р.Урал в пределах Западного Казахстана

В результате исследований выявлен флористический и микологический состав флоры поймы р.Урал, а также выделены исторические свиты в понимании Г.М.Зозулина.

В настоящей работе использованы материалы, полученные в результате определения собственных сборов авторов. При определении гербария были использованы следующие многотомные сводки: «Флора СССР», «Флора Казахстана», «Иллюстрированный определитель растений Казахстана», определители растений в сборнике «Материалы по флоре и растительности Северного Прикаспия» В.В. Иванова (1964-1989) [8], «Каталог растений Западно-Казахстанской области» [9]. Номенклатура приводится с учетом сводки С.К.Черепанова (1995) [10] и по «Списку сосудистых растений Казахстана» С.А. Абдуллиной (1999) [11]. Названия видов грибов и авторы приведены в соответствии с базой данных Mucobank [12] и по базе данных Index Fungorum [13].

Результаты исследования

Флора пойменных лесов бассейна р. Урал характеризуется высоким уровнем видового богатства. В районе исследования, согласно нашим данным, отмечено 630 дикорастущих видов сосудистых растений, 77 видов макромицетов, которые относятся к 14 семействам, одного класса Agaricomycetes.

При сравнении списков по выделенным геоботаническим районам в пойменных лесах р.Урал оказалось, что наиболее богата флора поймы Платформенного степного Урала (337 видов растений, 68 видов макромицетов). На богатство этого региона, по-видимому, повлияло близкое расположение широколиственных лесных рефугиумов, таких как Общий сырт и Приволжская

возвышенность (Лавренко, 1970; Горчаковский, 1963, 1968). Для этой территории характерны дубравы (*Quercus robur*), вязовники (*Ulmus laevis*), ольшаники (*Alnus glutinosa*), липняки (*Tilia cordata*), тополевики (*Populus*), ивняки (*Salix*).

В центральной поймы Прикаспийского степного Урала (257 видов растений, 26 видов макромицетов) типичными коренными лесообразующими породами являются *Populus alba*, *P.nigra*, *Salix alba*, *Ulmus laevis*. Вторичные производные леса представлены: *Acer negundo*, *Fraxinus exilsiior*. В кустарниковом ярусе отмечены крушина, жимолость, терн, шиповник.

На обеднение флористического состава, видимо, повлияло близкое плакорное расположенных трех подзон Евразийской степной зоны.

Для пойменных лесов Прикаспийского пустынно-степного Урала (189 видов растений, 20 видов макромицетов) характерно обеднение флоры на 40%. Мы отметили, что здесь еще сохраняется лесное ядро из *Populus alba*, *P.nigra*, *Salix alba*, а кустарниковый покров представлен *Prunus spinosa*, *Rhamnus cathartica*, *Rosa majalis*. Вторичными лесами являются кленовые и ясеневые, возникшие на местах гарей и пожарищ.

Бедность флоры Прикаспийского пустынного Урала (107 видов растений, 5 видов макромицетов) обуславливается, с одной стороны, геологической молодостью территории, с другой - природно-климатическими условиями пустынной зоны. В центральной пойме встречаются изреженные осокоревые леса с единичными экземплярами ивы белой. Место пропавших деревьев занято тамариксами (*Tamarix laxa*, *T. ramosissima*).

Ход эволюции, трансформации флорогенеза филоценогенеза растительного покрова пойменных лесов можно проанализировать, основываясь на составе исторических свит [14].

При выделении свит принимались во внимание характер современного распространения видов; их ценогическая и трофическая приуроченность к коренным современным сообществам; генетические связи отдельных видов, ритм развития и жизненность в сообществе [4, 15].

В пойменных лесах выделены следующие свиты: неморальная (33 видов, 5,2 %), боровая (31 видов, 4,9 %), бетикулярная (32 видов, 5,1 %), ольшаниковая (16 видов, 2,5 %), бореально-ивняковая (31 видов, 4,9 %), гидрофитно-травяная (43 видов, 6,8 %), луговая (118 видов, 18,7 %), ковыльниковая (52 видов, 8,3 %), лугово-степная (85 видов, 13,5 %), галофитно-пустынно-степная (23 видов, 3,7 %), псаммофитно-степная (50 видов, 7,9 %), северотуранско-полукустарничково-пустынная (33 видов, 5,2 %), антропогенная (83 видов, 13,2 %).

Развитие флоры и макромицетов проходило по двум путям: реликтовому и миграционному. К реликтовым древесным видам относятся дуб, липа, вяз, ольха, лещина и др. К миграционным древесным видам принадлежит береза, осина, тополь, ива, клен, ясень и др. На исследуемой территории сохраняется основное лесное ядро, хотя наблюдается сокращение древесных и кустарниковых пород.

В результате анализа филогенетических особенностей представителей коренных пород деревьев в комплексе с высшими базидиомицетами р.Урал нами было выявлено 6 основных исторических свит.

1. Неморальная свита

Формирование долины р.Урал связано с поднятием Южного Урала и колебаниями уровня древнего Каспийского моря. Палеоботанические данные свидетельствуют, что климатический сдвиг, повлекший за собой древнее оледенение четвертичного периода, начался с середины «миоцена». До этого времени большая часть Европы до Урала была занята «Полтавской флорой» из тропических и субтропических видов, а весь Дальний Восток и Сибирь - «Тургайской флорой» из листопадных элементов (Криштофович, 1957, Вульф, 1944). Однако ко времени оледенения тургайские виды вытеснили полтавскую флору на запад и юго-запад и по всей Северной Евразии установился однообразный широколиственный тенивыносливый тип флоры [16]. В неморальную свиту входят виды широколиственных лесов Северной Евразии, состоящие из следующих пород:

липа (*Tilia cordata*), лещина (*Coryllus avellana*), вяз (*Ulmus laevis*), дуб (*Quercus robur*). В настоящее время в пойменных лесах развиты дубняки (*Quercus robur*), вязовники (*Ulmus laevis*), а липняки (*Tilia cordata*) и орешники (*Coryllus avellana*) встречаются в единичных местах.

В дубняках макромицеты представлены такими видами: на стволах деревьев произрастают губка дубовая (*Daedalea quercina* (L.) Pers.), трутовик серно-желтый (*Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill), печеночница обыкновенная (*Fistulina hepatica* (Schaeff.) With). Под дубами в гумусовом субстрате встречаются дубовик оливково-бурый (*Suillellus luridus* (Schaeff.) Murrill), валуй (*Russula foetens* Pers.), ложный валуй (*Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), бледная поганка (*Amanita phalloides* (Vaill. ex Fr.) Link) и др.

На стволах вязовников обитает пилолистник бокаловидный (*Neolentinus schaefferi* (Weinm.) Redhead & Ginns). В лесной подстилке распространены груздь осиновый (*Lactarius controversus* Pers), валуй (*Russula foetens* Pers), ложный валуй (*Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.) и др.

2. Боровая свита

По данным И.В.Палибина (1935) и Е.Н.Анановой (1954) в неогене вся северная часть Северного Прикаспия была представлена тургайской флорой, а из древесных пород доминировали сосны и некоторые широколиственные и мелколиственные виды, то есть господствовали светлохвойные сосновые леса (боры) [16]. Термин «Северный Прикаспий» в 1964 году ввел В.В.Иванов, который выделял эту территорию от притоков Волги на западе, до Мугоджарских гор на востоке, с севера граница начиналась от Общего Сырта до Каспийского моря на юге [17].

В наших условиях виды бореальной свиты приурочены к опушкам пойменных лесов и к байрачным лескам, по песчаным и супесчаным склонам впадающей в р.Урал. малых рек, в частности р.Ембулатовки.

Байрачные лески заняты осиновыми сообществами, где мы зарегистрировали: мухомор красный (*Amanita muscaria* (L.) Lam), мухомор пантерный (*Amanita pantherina* (DC.) Krombh), навозник мерцающий (*Coprinellus micaceus* (Bull.) Vilgalys), навозник серый (*Coprinopsis atramentaria* (Bull.) Redhead), валуй (*Russula foetens* Pers) и др.

3. Березняковая свита

Формирование березняковой свиты происходило в климатических условиях, при которых не могли развиваться теневые широколиственные леса.

На основе палеоботанических данных А.А.Чигуряевой и Хвалиной (1961) можно судить о том, что во время плейстоцена бассейн р.Сакмары (ныне Оренбургская область) представлял собой лесостепь. В современном периоде виды березняковой свиты составляют основное ядро флоры осиново-березовых лесов Западно-Сибирской лесостепи [16]. Эта свита близка к группе растительных сообществ, названных И.М.Крашенинниковым (1937) «плейстоценовой лесостепью». Ядро березняковой свиты составляют березы (*Betula pendula*, *B. pubescens*), боярышник (*Crataegus sanguinea*) и другие, которые были развиты в северо-восточной части Северного Прикаспия.

Березы Северного Прикаспия предпочитают байрачные лески и котловины среди песчаных массивов.

Древесина берез очень пластичная и поражается разными ксилотрофными грибами. На стволах берез мы обнаружили поражение такими видами древоразрушающих макромицетов: трутовик березовый (*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst), трутовик (траметес) разноцветный (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd), трутовик настоящий (*Fomes fomentarius* (L. ex Fr.) Kickx), трутовик окаймленный (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.), чешуйчатка обыкновенная (*Pholiota squarrosa* (Vahl) P. Kumm) и др. На пнях нами отмечен навозник мерцающий (*Coprinellus micaceus* (Bull.) Vilgalys). В почвенном покрове байрачных берез наиболее типичны: подберезовик обыкновенный (*Leccinum scabrum* (Bull.) Gray), белый гриб (*Boletus edulis* Bull.), мухомор пантерный (*Amanita pantherina* (DC.) Krombh), мухомор красный (*Amanita muscaria* (L.) Lam) и др.

4. Ольшаниковая свита

А.А.Тарасов (1971) отмечал, что самыми древними типами растений Северного Прикаспия являются леса и дуга, которые были распространены по долинам рек. Главной породой теневых лесов была ольха. В настоящее время ольшаники растут преимущественно вдоль рек и ручьев Быковки и Ембулатовки, впадающие в р.Урал. Ольховые сообщества предпочитают тучные, сильно увлажненные и хорошо аэрируемые почвы.

На деревьях ольхи встречаются трутовик серно-желтый (*Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill), трутовик настоящий (*Fomes fomentarius* (L. ex Fr.) Kickx) и др.

Под ольшаником в гумусовом горизонте мы отметили свинушку толстую (*Tapinella atrotomentosa* (Batsch) Šutara), свинушку тонкую (*Paxillus involutus* (Batsch) Pers.), ложную лисичку (*Hygrophoropsis aurantiaca* (Wulfen) Maire), груздь желтый (*Lactarius scrobiculatus* (Scop.) Fr.), белый гриб (*Boletus edulis* Bull.), шампиньон луговой (*Agaricus campestris* L.) и др.

5. Бореально-ивняковая свита

Наиболее благоприятные условия для лесов после окончания ледникового периода в Северном Прикаспии создавались только в южноуральском третичном лесном рефугиуме (Лавренко, 1930, Горчаковский, 1963, 1968) и на Общем Сырте (Крашенинников, 1939). На основе палеоботанических данных А.А.Чигуряевой и Хвалиной (1963), Е.Н.Анановой (1954) во время верхнего плейстоцена и голоцена в бассейне р.Сакмары господствуют мелколиственные породы, приспособившиеся к жизни в долинах рек.

Следовательно, близость центров консервации лесной флоры предопределила европейский характер флоры и господство мелколиственных пород из родов *Populus*, *Salix* так широко распространенных во всей Северной Евразии. В современном периоде виды бореально-ивняковой свиты растут по берегам Урала, по его притокам, по староречьям и в байрачных лесах, где приурочены к днищам и склонам.

В гумусовой подстилке ветловников мы обнаружили груздь осиновый (*Lactarius controversus* Pers), подгруздок белый (*Russula delica* Fr.), валуй (*Russula foetens* Pers), свинушку толстую (*Tapinella atrotomentosa* (Batsch) Šutara). На древесине ивы белой нами отмечены чешуйчатка золотистая (*Pholiota aurivella* (Batsch) P. Kumm.), трутовик серно-желтый (*Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill) и др.

6. Луговая свита

М.И.Жуков (1945) указал, что разлом кристаллического барьера Губерлинских гор в середине четвертичного периода соединил верхний Урал со средним, что привело к образованию единой Уральской речной артерии. Все это создало условия для постепенного формирования флоры поймы, а изучение палеокарпических материалов дает основание, что в растительном покрове Северного Прикаспия господствовали луговые и лугово-болотные группировки.

Луговая свита представлена длиннокорневищными мезофитными видами, произрастающими по пойменным лугам, а также по межгрядным понижениям в пойменных лесах, по днищам и нижним частям склонов байрачных лесов.

На пойменных лугах р. Урал встречаются мухомор серо-розовый (*Amanita rubescens* Pers.), шампиньон луговой (*Agaricus campestris* L.), дождевик луговой (*Lycoperdon pratense* Pers.), навозник серый (*Coprinopsis atramentaria* (Bull.) Redhead), навозник мерцающий (*Coprinellus micaceus* (Bull. (Bull.) Vilgalys), головач продолговатый (*Lycoperdon excipuliforme* (Scop.) Pers.), бледная поганка (*Amanita phalloides* (Vaill. ex Fr.) Link), опенок луговой (*Marasmius oreades* (Bolton) Fr.), опенок летний (*Kuehneromyces mutabilis* (Schaeff.) Singer & A.H. Sm.), рыжик настоящий (*Lactarius deliciosus* (L.) Gray), груздь черный (*Lactarius turpis* (Weinm.) Fr.), подгруздок белый (*Russula delica* Fr.) и др.

Выводы

На основании исследований и анализа полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. В регионе исследований нами выделены четыре природных района с подрайонами (I. Платформенный степной Урал: Илек - Уральск; II. Прикаспийский степной Урал: Уральск - Янайкино; III. Прикаспийский пустынно- степной Урал: Янайкино - Атамекен; IV. Прикаспийский пустынный Урал: Атамекен - Индер).

2. В исследуемом регионе современный растительный покров пойменных лесов сложен разновозрастными 6 историческими свитами. Проведенный эколого-исторический анализ свидетельствует, что формирование макромицетов на территории исследования связано с историей проникновения и становления древесных пород с дереворазрушающими и микоризообразующими грибами.

3. Развитие флоры и макромицетов проходило по двум путям: реликтовому и миграционному. Реликтовый комплекс пойменных лесов с макромицетами формировался в течение длительного времени от миоцена до голоцена, что отразилось в видообразовательных процессах.

Список литературы

1. Природно-ресурсный потенциал и проектируемые объекты заповедного фонда Западно-Казахстанской области /Петренко А.З., Джубанов А.А., Фартушина М.М., Чернышев Д.М., Тубетов Ж.М. - Уральск: РИО ЗКГУ, 2001. - 175 с.
2. Петренко А.З. Березово-осиновые колки Северного Прикаспия // Материалы по флоре и растительности Северного Прикаспия. - Л: ВГО, 1971. - Вып. 5, ч. 1. -С. 125-142.
3. Сивохиц Ж.Т., Чибилёв А.А. Эколого-гидрологические проблемы трансграничного бассейна реки Урал и перспективы институционального сотрудничества //География и природные ресурсы, 2014.- № 1.- С. 36-44.
4. Дарбаева Т.Е., Альжанова Б.С., Бохорова С.Н., Чукалина О.Н. Исторический анализ флоры пойменных лесов бассейна реки Урал в пределах Западно-Казахстанской области. // Вестник КазНУ. Серия биологическая. Том 69. №4 (2016). - С.32-40.
5. Зозулин Г.М. Исторические свиты растительности Европейской части СССР // Бот. журн. - 1973. - Т.58. - №8. - С.1081-1092.
6. Малышева В.Ф., Малышева Е.Ф. Высшие базидиомицеты лесных и луговых экосистем Жигулей. - Москва: Санкт-Петербург: Товарищество научных изданий КМК, 2008. - 242 с.
7. Ширяев А.Г., Змитрович И.В., Ежов О.Н. Таксономическая и экологическая структура биоты базидиальных макромицетов полярных пустынь Северного полушария. // Сибирский экологический журнал. Том 25. №5 (2018). - С. 526-544.
8. Иванов В.В. Материалы по флоре растительности Северного Прикаспия. - Ленинград, 1964-1989.
9. Дарбаева Т.Е., Чукалина О.Н. Каталог растений Западно-Казахстанской области. - Уральск, 2011. - 288 с.
10. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). - Санкт-Петербург: Мир и семья, 1995. - 992 с.
11. Абдулина С.А. Список сосудистых растений Казахстана. - Алматы, 1999. - 187 с.
12. Mycobank [www.mycobank.org] (дата обращения 19.10.2020).
13. Index Fungorum [www.indexfungorum.org] (дата обращения 19.10.2020).
14. Зозулин Г.М. Исторические свиты растительности // Бот. журн. - 1970. - Т.55. - №1. - С.23-33.

15. Дарбаева Т.Е. Эколого-исторические свиты флоры меловых возвышенностей Северо-Западного Казахстана // Ботан. журнал. - 2003. - №9. - С.66-80.

16. Агелеуов Е.А Пойменные луга р. Урал. - Алма-Ата, 1982. - 224 с.

17. Иванов В.В. Маревые. Лилейные // Определитель растений Северного Прикаспия. Отв. ред. Р.В.Камелин; АН СССР, Всероссийское БО. - Ленинград: Наука, 1989. - 93 б.

С.А.Абиев¹, Т.Е.Дарбаева², А.Н.Сарсенова¹

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

Батыс Қазақстан шегіндегі Жайық өзені жайылмалы ормандарының флорасы мен макромицеттері қалыптасуының ықтимал жолдары

Аңдатпа. Мақалада Жайық өзенінің алабындағы жайылмалы ормандарының флорасы мен макромицеттерінің тарихи қалыптасу жолдары қарастырылады. Жайық өзенінің жалпы ұзындығы 2428 км құрайды, ал Батыс Қазақстан аумағында 1000 км-ден асады.

Жайылмалы ормандар қалыптасу ортасына байланысты үш жағдайда дамыған. Олар: өзен арнасы, орталық және терраса маңы. Ормандар құрылымы бойынша байырғы және туынды ормандар болып бөлінеді. Жайық өзені алқабының өсімдіктер тобының қалыптасуының жетекші факторы – геология мен рельеф болғандықтан, зерттелетін аумақ шегінде флоралық (630 өсімдік түрі) және микрофлоралық алуантүрлілігіне (77 макромицет түрі) байланысты 4 табиғи аймақ ерекшеленеді.

Орман қауымдастығының флоромикологиялық құрамының эволюциясы мен өзгеру барысы тарихи свиталардың құрамына сәйкес талданады. Зерттелген аймақта Г.М.Зозулиннің түсінігіндегі 13 свита анықталды, оның ішінде қазіргі жайылмалы ормандарға тән 6 свита толығырақ қарастырылды. Свиталарды анықтағанда түрлердің қазіргі таралу сипаты, олардың ценоздық кездесуі, жекелеген түрлердің генетикалық байланысы, даму ритмі және бірлестіктегі түрлердің тіршілік сипаттары ескерілді.

Жайылмалы ормандардың микрофлоралық кешенінің қалыптасу үдерісі реликті және қоныс аударушы элементтердің негізінде Оңтүстік Оралдан, Еділ мен Жалпы Сырттың сол жақ тармақтары аңғарлары арқылы байытылып, таралады. Бұл қалыптасу үрдісі миоценнен голоценге дейінгі ұзақ уақытты қажет етеді.

Түйін сөздер: Жайық өзені, жайылмалы ормандар, флора, макромицеттер, тарихи түзілімдер, реликті кешен.

S.A.Abiev¹, T.E.Darbayeva², A.N.Sarsenova¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²Makhambet Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

Possible pathways for the formation of flora and macromycetes of floodplain forests of the Ural River within Western Kazakhstan

Abstract. The article deals with the historical reconstruction of flora and macromycetes of the floodplain forests of the Ural River. The length of the entire river is 2428 km, over 1000 km in Western Kazakhstan.

Floodplain forests are developed in three genetic parts: riverbed, central and near-terrace. Primary and derivative forests are distinguished according to the forest structure. The leading factor in the formation of the Ural River valley is geology and relief, in connection with which 4 natural regions have been identified for their floristic (630 plant species) and mycological diversity (77 macromycetes species).

The course of evolution and transformation of the floromycological composition of forest communities is analyzed according to the composition of historical formations. In the studied region, 13 suites were identified in the understanding of G.M. Zozulin, among them, 6 suites that stand out well in modern floodplain forests are considered in more detail. When establishing the formations, the character of the modern distribution of species, there was considered their cenotic confinement, genetic relationships of individual species, the rhythm of development, and the vitality of species in the community.

The process of the formation of the floromycological complex of floodplain forests is based on relict and migratory elements, enriched, and settled from the Southern Urals, as well as from the valley of the left tributaries of the Volga and Common Syrt. The formation of which took a long time from the Miocene to the Holocene.

Keywords: Ural River, floodplain forests, flora, macromycetes, historical formations, relict complex.

References

1. Petrenko A.Z., Dzhubanov A.A., Fartushina M.M., Chernyshev D.M., Tubetov Z.M. Prirodno-resursnyi potentsial i proektiruemye ob»ekty zapovednogo fonda Zapadno-Kazakhstanckoi oblasti [Natural and resource potential and designed projects of reserved fund of the West Kazakhstan region] (WKSU, Uralsk, 2001, 175 p.) [in Russian].
2. Petrenko A.Z. Berezovo-osinovyie kolki Severnogo Prikaspiya [Birch-aspen outgrowths of the Northern Pre-Caspian], Materialy po flore i rastitel'nosti Severnogo Prikaspiya [Materials on flora and vegetation of the Northern Caspian region], 5(1), 125-142 (1971) [in Russian].
3. Sivohip ZH.T., CHibilyov A.A. Ekologo-gidrologicheskie problemy transgranichnogo bassejna reki Ural i perspektivy institucional'nogo sotrudnichestva [Ecological and hydrological problems of the transboundary basin of the Ural River and the prospects for institutional cooperation], Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources], 1, 36-44 (2014) [in Russian].
4. Darbaeva T.E., Alzhanova B.C., Bokhorova S.N., Chukalina O.N. Istoricheskij analiz flory pojmnennyh lesov bassejna reki Ural v predelakh Zapadno-Kazahstanskoj oblasti [The historical analysis of flora on the floodplain forests in the basin of the river Ural within the West Kazakhstan area], Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya [KazNU Bulletin. Biology series], 4 (69), 33-40 (2016). [in Russian].
5. Zozulin G.M. Istoricheskie svity rastitel'nosti Evropeiskoy chasti SSSR. Bot. zhurn. [Historical suites of vegetation of the European Part of the USSR, Botanical journal]. (Nauka, Leningrad, 1973, 1081-1092 p.) [in Russian].
6. Malysheva V. F., Malysheva E. F. Vysshie bazidiomitsety lesnykh i lugovykh ekosistem Zhigulei ej [Higher basidiomycetes of forest and meadow ecosystems of Zhiguli] (KMK, Moscow, 2008, 242 p.) [in Russian].
7. Shiryaev A.G., Zmitrovich I.V., Ezhov O.N. Taksonomicheskaya i ekologicheskaya struktura bioty bazidial'nyh makromicetov polyarnykh pustyn' Severnogo polushariya [Taxonomic and Ecological Structure of Basidial Macromycetes Biota in Polar Deserts of the Northern Hemisphere], Sibirskij ekologicheskij zhurnal [Contemporary Problems of Ecology]. 11 (5), 458-471 (2018) [in Russian].

8. Ivanov V.V. Materialy po flore rastitelnosti Severnogo Prikaspiya [Materials on the flora of the vegetation of the Northern Caspian]. (Leningrad, 1953-1974, 2-6 – editions) [in Russian].
9. Darbaeva T.E., Chukalina O. N. Katalog rastenij Zapadno-Kazahstanskoj oblasti [Catalog of plants of the West Kazakhstan region] (Uralsk, 2011, 288 p.) [in Russian].
10. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rosii I sopredelnyh gosudarstv [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)] (Sankt-Peterburg, 1995, 991 p.) [in Russian].
11. Abdullina S.A. Spisok sosudistykh rasteniy Kazakhstana [List of vascular plants of Kazakhstan] (Almaty, 1999, 187p.) [in Russian].
12. Mycobank. [Electronic resource]. Available at: [http:// www.mycobank.org](http://www.mycobank.org) (Accessed: 19.10.2020).
13. Index Fungorum. [Electronic resource]. Available at: <http://www.indexfungorum.org> (Accessed: 19.10.2020).
14. Zozulin G.M. Istoricheskie svity rastitel'nosti [Historical suites of vegetation], Bot. zhurn. [Botanical journal], 55 (1), 23-33 (1970). [in Russian].
15. Darbaeva T.E. Istoricheskii analiz rastitel'nosti Severo-Zapadnogo Kazakhstana [Historical analysis of Vegetation of Northwest Kazakhstan] (WKSU, Uralsk, 2009, 167 p.). [In Russian].
16. Ageleuov E.A. Poimennyye luga r. Ural [Floodplain meadows of the Ural river]. (Alma-Ata, 1982, 224 p.) [in Russian].
17. Ivanov V.V. Opredelitel' rastenii Severnogo Prikaspiia (Marevye, Lileinye) [The determinant of plants Northern Caspian (Chenopodiaceae, Liliaceae)] (Nauka, Leningrad, 1989, 96 p.) [in Russian].

Сведения об авторах:

Абиев С.А. - доктор биологических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Дарбаева Т.Е. – доктор биологических наук, профессор, Западно-Казахстанский университет им.М.Утемисова, пр.Н.Назарбаева, 162, Уральск, Казахстан.

Сарсенова А.Н. - докторант 2-го курса образовательной программы «Биология», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Abiev S.A. - Doctor of Biological Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Darbayeva T.E. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Makhambet Utemisov West Kazakhstan University, 162 N.Nazarbayev str., Uralsk, Kazakhstan.

Sarsenova A.N. – Ph.D. student in Biology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

И.Н. Аникина^{1*}, Н.Н. Кайниденов¹, М.В. Красий², А.Н. Камарова¹

¹Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

²ТОО «Павлодарская СХОС», Павлодарская область, Казахстан

*Автор для корреспонденции: anikina.i@mail.ru

Сравнительная характеристика развития и продуктивности сортов казахстанской селекции в условиях северо-востока Казахстана

Аннотация. В статье представлены исследования развития и продуктивности перспективных сортов картофеля отечественной селекции в условиях северо-востока Казахстана. Несмотря на высокий уровень селекционной работы по картофелю в Казахстане высокоурожайные сорта отечественной селекции мало используются картофелепроизводителями. Это может быть связано с тем, что не все сорта при выращивании в конкретных климатических зонах Казахстана проявляют качества, заявленные оригинаторами этих сортов. Природно-климатические условия являются одним из определяющих факторов, под действием которых реализуются возможности урожайности сортов картофеля.

На основании результатов опыта выявлены нерайонированные сорта, которые могут быть рекомендованы для выращивания в условиях данного региона. Картофель сорта Нэрли по урожайным характеристикам был приближен к районированному в данной зоне сорту Аксор, по количеству клубней в кусте сорт Аксор опережал сорт Нэрли на 11 %, но по количеству стандартной фракции Нэрли превосходил районированный сорт Аксор на 13,6 %. Сорт картофеля Нэрли может быть рекомендован для выращивания в условиях северо-востока Казахстана.

Ключевые слова: картофель, клубни, сорт, развитие, продуктивность, фракция.

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-28-37

Введение

Картофель является одной из основных продовольственных и технических культур, возделываемых в мире. Его часто называют «вторым хлебом», и это вполне справедливо. По оценкам ФАО, в 2019 году во всем мире было произведено более 370 миллионов метрических тонн картофеля, что значительно больше по сравнению с объемом производства в 333,6 миллиона тонн в 2010 году [1].

Картофель не относится к высококалорийным продуктам и содержит питательные вещества в легкоусвояемой для организма форме, богат биологически ценными веществами: витаминами, минеральными солями, картофельный белок содержит все 8 незаменимых аминокислот, кроме того в жиры картофеля входят олеиновая, пальмитиновая, линолевая и линоленовая кислоты, последние не синтезируются в животном и человеческом организме [2].

С учетом возрастающей численности населения проблема его обеспечения продовольствием, в том числе и картофелем, является первостепенной государственной задачей. В Республике Казахстан картофель возделывается на площади 189,8 тыс. га, со средней урожайностью 15 т/га [3]. Ежегодно увеличивается количество сортов картофеля, допущенных к использованию в Республике Казахстан, в 2020 году было 133 сорта, в том числе 45 – сорта селекции КазНИИКО. Несмотря на высокий уровень селекционной работы по картофелю в Казахстане высокоурожайные сорта отечественной селекции практически не известны картофелепроизводителям. Отличительной чертой отечественных сортов картофеля является то, что они были созданы под условия Казахстана, по своим характеристикам и урожайности и устойчивости к заболеваниям они соответствуют самым высоким требованиям производителей и потребителей [4].

Вместе с тем процент используемых в производстве отечественных сортов остается низким. Это может быть связано с тем, что не все сорта при выращивании в конкретных климатических зонах Казахстана проявляют урожайные качества, заявленные оригинаторами этих сортов.

Урожайность комплексный показатель зависит не только от потенциала продуктивности, но и связан как с внешними (условия возделывания), так и внутренними (качество семенного материала и его адаптивный потенциал) факторами [5].

Растения картофеля взаимодействуют как с абиотическими, так и с биотическими факторами. В результате влияния комбинации факторов метаболизм изменяется иначе, чем при реакции на каждый фактор по отдельности (что дополнительно зависит как от характера воздействия, так и от биологических особенностей генотипа), поскольку молекулярные сигнальные пути, контролируемые абиотические и биотические напряжения, могут проявлять как синергизм, так и антагонизм. Абиотические напряжения усугубляют стресс у растений и могут вызывать повреждение клеток, что негативно влияет на урожайность картофеля, качество и рыночную стоимость клубней [6, 7].

Согласно результатам, полученным Новиковой Л.Ю., Киру С.Д., Рогозиной Е.В. хозяйственно ценные признаки сортов в зависимости от изменения климатических условий достоверно изменяются, обобщив результаты изучения данных тенденций и оценив вклад климатических факторов в изменчивость, авторы установили, что в наибольшей степени хозяйственно ценные признаки картофеля зависят от температуры в условиях либо недостатка, либо избытка тепла. К важнейшим агроклиматическим факторам, определяющим развитие растений картофеля, авторы относят рост суммы температур выше 15 °С и более ранний переход температурных значений выше 15 °С, что ускоряет прохождение наиболее метеозависимых фаз (всходы и цветение) [8]. Сербские ученые пришли к заключению, что основной причиной снижения урожайности сортов картофеля является пониженная влажность воздуха и недостаточные поливы, это приводит не только к снижению урожайности, но и качества клубней картофеля, вызванному падением фотосинтетической активности на единицу площади листа. Для условий юго-востока Казахстана была отмечена закономерность, что в засушливые годы сорта среднеспелой и среднепоздней групп резко снижают урожайность по отношению к раннеспелым сортам. По мнению Красавина В.Ф., это связано с тем, что раннеспелые сорта за счет интенсивного роста в первой половине вегетации успевают сформировать урожай картофеля до наступления неблагоприятных условий, которые в этой зоне наступают с середины июля [11].

Казахстан обладает обширной территорией с разнообразием природно-климатических и почвенных условий и для каждой зоны требуется своя специфика сортов, которые в разных климатических условиях выращивания показывают хороший показатель урожайности [11].

Для производителя наиболее ценны высокопродуктивные адаптивные сорта картофеля, обладающие комплексом признаков (в том числе устойчивостью к болезням и вредителям) с относительной стабильностью урожая в варьирующих условиях выращивания, особенно важен подбор сортов с высокой экологической пластичностью и стабильностью для регионов с жесткими агроклиматическими условиями, к которым относится и Павлодарская область.

Климат северо-востока Казахстана резко континентальный, он характеризуется значительными колебаниями многих метеорологических параметров, но здесь имеются земельные, водные и человеческие ресурсы для картофелепроизводства [12]. В связи с этим имеется необходимость изучения биологических особенностей, устойчивости к стрессовым факторам внешней среды и продуктивности перспективных сортов картофеля отечественной селекции с целью выделить сорта с лучшими показателями.

Для северо-востока Казахстана (Павлодарская область) допущено к использованию 18 сортов картофеля, из них 1 отечественный сорт Аксор [13]. Большинство районированных в

Павлодарской области сортов картофеля зарубежные, но основная масса их, как показал производственный опыт, в условиях области не проявляет заявленный комплекс хозяйственно-полезных свойств, в результате из 18 районированных зарубежных сортов картофеля производителями широко используются 2 (Гала, Латона). Вместе с тем активно используются нерайонированные сорта, которые при создании им благоприятных условия выращивания показывают высокую урожайность на производственных участках (Коломба, Импала, Розара, Родрига).

Целью исследования являлось изучение показателей роста и продуктивности перспективных для области сортов картофеля отечественной селекции.

Для выполнения этой цели были поставлены следующие задачи:

- провести фенологические наблюдения сортов картофеля отечественной селекции;
- провести учет продуктивности;
- исследовать структуру урожая;
- дать сравнительную оценку изучаемым сортам.

Материалы и методы

Исследования выполнены в Павлодарской СХОС в 2019-2020 гг. путем проведения полевого опыта.

Объектом исследований были отечественные сорта картофеля, пользующиеся повышенным интересом у картофелепроизводителей: Аксор, Нэрли, Шагала, Тяньшанский, Бабаев, Тамыр.

Сорт картофеля Тяньшанский – среднеранний, высокоурожайный, жаростойкий, засухоустойчивый, обладает полевой устойчивостью к распространенным в Казахстане болезням. Выдерживает 7 репродукций выращивания в зоне сильного вырождения, пригоден к промышленной переработке на чипсы и крахмал. Урожайность – до 60–65 т/га. Рекомендован к использованию в Алматинской области РК.

Сорт картофеля Аксор – среднеспелый, высокоурожайный, жаростойкий, засухоустойчивый, ракоустойчивый, обладает полевой устойчивостью к распространенным в Казахстане болезням. Выдерживает 7 репродукций выращивания в зоне сильного вырождения, пригоден к промышленной переработке. Урожайность – до 55 т/га. Рекомендован к использованию в 6 областях РК, в том числе в Павлодарской области.

Сорт картофеля Нэрли – среднеспелый, высокоурожайный, жаростойкий, засухоустойчивый, ракоустойчивый, обладает полевой устойчивостью к распространенным в Казахстане болезням. Выдерживает 8 репродукций выращивания в зоне сильного вырождения, пригоден к промышленной переработке. Урожайность – 50 т/га. Рекомендован к использованию в Алматинской области РК. Рекомендован к использованию в Алматинской области РК.

Сорт картофеля Шагала – среднеранний, высокоурожайный, жаростойкий, засухоустойчивый, обладает полевой устойчивостью к распространенным в Казахстане болезням. Выдерживает 7 репродукций выращивания в зоне сильного вырождения, пригоден к промышленной переработке. Урожайность – 55 т/га. Рекомендован к использованию в Акмолинской области РК.

Сорт картофеля Бабаев – среднеспелый, с красивыми клубнями и желтой мякотью, высокоурожайный, жаростойкий, засухоустойчивый, обладает полевой устойчивостью к распространенным в Казахстане болезням. Выдерживает 8 репродукций выращивания в зоне сильного вырождения, пригоден к промышленной переработке. Урожайность – 45 т/га. Рекомендован к использованию в Алматинской области РК.

Сорт картофеля Тамыр – среднеспелый, высокоурожайный, жаростойкий, ракоустойчивый, засухоустойчивый, обладает полевой устойчивостью к распространенным в Казахстане болезням. Выдерживает 8 репродукций выращивания в зоне сильного вырождения, пригоден к промышленной переработке. Урожайность – 50 т/га. Рекомендован к использованию в Западно-Казахстанской, Жамбылской, Кызылординской областях РК.

Полевые опыты были заложены на орошении согласно методике полевого опыта [14]. Площадь посадки 1 га. Почвы опытного участка каштановые, супесчаные, с содержанием гумуса 1,0–1,3 %, P_2O_5 – 135–150 мг/кг, рН – 6,6–6,8.

Все изыскания и наблюдения были проведены согласно общепринятым методикам. Исследования проведены по Методическим положениям по проведению оценки сортов и гибридов картофеля на испытательных участках (2017) [15].

В течение вегетации проводятся наблюдения и учеты в соответствии с методическими указаниями. Проведены 2 инсектицидные обработки посадок препаратом «Каратэ».

Агротехника в опытах в целом соответствует технологии возделывания картофеля, принятой в данной зоне. Предшественник – пласт многолетних трав. Схема посадки 25 x 75. В ходе выполнения мероприятий по выращиванию проведены капельные поливы питомников картофеля – 25 поливов с нормой 130 м³/га.

Проведены 2-х кратные междурядные культивации на учетных делянках. Посадка проведена в открытый грунт в первых числах июня вручную. Прополка и уборка проводилась вручную.

Сумма температур в период проведения опытов находилась в пределах среднемесячных данных. Урожайные данные получали, высчитывая средние показатели 20 кустов каждого сорта согласно методике. Данные обрабатывали по методике Доспехова Б.А. [14].

Результаты

Исходя из данных фенологических наблюдений, можно сделать выводы, что в условиях Павлодарской области из изучаемых сортов первым вступил в цветение сорт картофеля Шагала, через 45 дней после посадки, через 5 дней началось массовое цветение сорта Нэрли, через 7 дней сортов Аксор и Тамыр одновременно, через 12 дней сорта Бабаев, картофель сорта Тяньшанский зацвел последним, через 15 дней, хоть и относится к группе среднеранних сортов, то есть климатические условия области способствовали торможению развития растений этого сорта.

По срокам отмирания ботвы так же была выявлена сортовая специфичность, связанная с климатическими условиями произрастания.



рисунок 1 (а)



рисунок 1 (б)



рисунок 1 (с)



рисунок 1 (д)

Рисунок 1. Развитие растений картофеля отечественных сортов

Первые признаки отмирания ботвы отмечены у сорта картофеля Нэрли, через 80 дней после посадки, у картофеля сорта Тамыр через 85 дней, у сорта Аксор, Шагалалы и Бабаев через 100 дней, у сорта Тяньшанский, так и не было признаков отмирания до самой уборки.

Исходя из полученных данных при выращивании картофеля большой процент нестандартной фракции свидетельствует о том, что ввиду неблагоприятных условий, связанных с низкой влажностью воздуха и повышенными дневными температурами, все изучаемые сорта картофеля не смогли реализовать свой потенциал урожайности в полной мере, был отмечен высокий процент нестандартной фракции. Наиболее высокий результат урожайности получен у сорта Шагалалы, картофель этого сорта развивался в соответствии с заявленными характеристиками (среднеранний) и смог в большей степени реализовать свой потенциал продуктивности. Данные урожайности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели продуктивности сортов картофеля

Сорт	Общая масса клубней куста, в среднем, г	Количество клубней в кусте, среднее, шт	Средняя масса одного клубня куста, г	Количество нестандартных клубней, %
Аксор	733	15	48,9	48,7
Нэрли	773	13,4	57,7	35,1
Тамыр	558	9,4	59,4	31,9
Бабаев	561	7,8	71,9	30,8
Шагалалы	713	9,2	77,5	17,5
Тяньшанский	205	6,3	32,5	58,7
НСР ₀₅	22,7			

Из данных таблицы видно, что более высокие показатели по массе сформированных клубней стандартной фракции получены на сорте Нэрли (средняя масса клубней в кусте составила 58 г), Шагалалы (78 г), это в 2, 4 раза больше, чем на сорте Тяньшанский (средняя масса клубней в кусте составила 32 г), хотя и Шагалалы, и Тяньшанский относятся к среднеранним сортам.

Для размножения картофеля большое значение имеет количество сформированных клубней, так как именно этот показатель определяет коэффициент размножения в семеноводстве. Наиболее высокие показатели по количеству сформированных клубней на одном кусте получены на сорте Аксор (15 шт), более низкие на сорте Тяньшанский (6 шт).

Таким образом, исходя из данных исследований, можно сделать вывод, что в условиях северо-востока Казахстана, не все изучаемые сорта картофеля отечественной селекции соответствовали заявляемой группе спелости. Это подтверждают и результаты исследований других авторов: в зависимости от условия выращивания, сорта картофеля не всегда могут реализовать свои качества [10, 16, 17]. Если для условий юго-востока Казахстана неблагоприятные условия для клубнеобразования наступают с середины июля, то в условиях северо-востока Казахстана засушливый период наблюдается уже в середине июня. Поэтому пластичность сорта картофеля в данном регионе является определяющей характеристикой. Активным развитием растений картофеля и формированием полноценного урожая отличались сорта с повышенными адаптационными свойствами, вне зависимости от группы спелости.

Выводы

В ходе исследований выявлены различия в способности сортов даже одной группы спелости сформировать полноценный урожай в стрессовых условиях северо-востока Казахстана. Сорта картофеля Тамыр и Нэрли, относящиеся к среднеспелой группе, в данных условиях проявили себя как среднеранние сорта. Картофель сорта Нэрли по урожайным характеристикам был приближен к районированному в данной зоне сорту Аксор, по количеству клубней в кусте сорт Аксор опережал сорт Нэрли на 11 %, но по количеству стандартной фракции Нэрли превосходил районированный сорт Аксор на 13,6 %. Таким образом, сорт Нэрли отличается пластичностью и может быть рекомендован для выращивания в условиях северо-востока Казахстана.

Картофель сорта Тяньшанский, относящийся к группе среднеранних сортов, по фенологическим наблюдениям отставал по развитию даже от среднеспелых сортов, так и по

урожайным данным сформировал наиболее низкий урожай, то есть климатические условия области способствовали торможению развития растений этого сорта.

Статья выполнена в рамках проведения исследований по целевой научно-технической программе О.0865 «Оздоровление посадочного материала картофеля от вирусной инфекции на основе инновационных методов и адаптирование к внедрению более высокопродуктивных сортов (гибридов) картофеля, овощных и бахчевых культур зарубежной селекции для различных почвенно-климатических условий Казахстана».

Список литературы

1. Gerasimova I., Mitova T. Weed species diversity and community composition in organic potato field // *Bulg. J. Agric. Sci.* - 2020. - Т. 26. - № 3 - P. 507-512.
2. Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Жевора С.В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Митюшкин А.В., Гайзатулин А.С. Актуальные направления селекции на улучшение питательной ценности клубней картофеля // *Картофель и овощи.* - 2020. - №2. - С. 35-40.
3. Красавин В.Ф., Елещев Р.Е., Алимханов Е.М., Айтбаева А.Т. Сортоизучение картофеля в условиях юго-востока Казахстана // *Ізденістер, нәтижелер - Исследования, результаты.* - 2021. - № 1. (89). - С. 248-253.
4. Айтбаев Т.Е. Селекционные достижения по картофелю и овощебахчевым культурам, допущенные к использованию в Казахстане // «Состояние и перспективы научных исследований по картофелеводству, овощеводству и бахчеводству». - Алматы: 2011. - С.18-28.
5. Стацюк Н.В., Такур К., Сметанина Т.И., Кузнецова М.А. Реакция растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) разных сортов на предпосадочную обработку клубней импульсным низкочастотным электрическим полем / *Сельскохозяйственная биология.* - 2016. - Т. 51. - № 3. - С. 360-366.
6. Rykaczewska K. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses // *Am. J. Potato Res.* - 2013. - V. 4. - P. 2386-2393 (doi: 10.4236/aips.2013.412295).
7. Wang-Pruski G., Schofield A. Potato: improving crop productivity and abiotic stress tolerance. In: *Improving crop resistance to abiotic stress* / N. Tuteja, S.S. Gill, A.F. Tiburcio, R. Tuteja (eds.). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, - 2012. - P. 1121-1153.
8. Новикова Л.Ю., Киру С.Д., Rogozina E.B. Проявление хозяйственно-ценных признаков у сортов картофеля (*Solanum t.*) при изменении климата на европейской территории России // *Сельскохозяйственная биология.* - 2017. - Т. 52. - №1. - С. 75-83.
9. Aksic M., Gudzic S., Deletic N., Gudzic N., Stojkovic S., Knezevic J. Tuber yield and evapotranspiration of potato depending on soil matric potential // *Bulg. J. Agric. Sci.* - 2014. - V. 20, - P. 122-126.
10. Van Loon, C.D. The Effect of water stress on potato growth, development, and yield // *Am. Potato J.* - 1981. - V. 58. - P. 51- 69.
11. Красавин В.Ф. Селекция картофеля на юго-востоке Казахстана. - Алматы: «Өнер», 2009. - 224 с.
12. Аникина И.Н., Бексеитов Т.К. и др. Опыт семеноводства картофеля в КХ «Тимур» // *Наука и образование: Проблемы и перспективы развития. Сб. матер. межд. конф., 30 августа.* - Тамбов - 2014. - С. 34-36.
13. Государственный реестр селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан. [Электронный ресурс]. - 2020 г. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005759> (дата обращения 12.04.2021).
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов - Москва: Колос, 1979. - 417 с.

15. Журавлева Е.В., Жевора С.В., Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Шабанов А.Э., Киселев А.И., Зебрин С.Н., Зейрук В.Н., Усков А.И., Федотова Л.С., Пшеченков К.А. Методические положения по проведению оценки сортов и гибридов картофеля на испытательных участках / ФГБНУ ВНИИКС им. А.Г. Лорха. Москва, 2017 - 11 с.

16. Красавин В.Ф., Шарипова Д.С., Мошняков А.Н. Экологическое испытание сортов и гибридов картофеля иностранной селекции в условиях предгорной зоны юго-востока Казахстана / Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию образования Казахского НИИ картофелеводства и овощеводства. - КазНИИКО, Алматы-Кайнар. - 2011. - С. 335-339.

17. Красавин В.Ф., Федосеев В.А. Экологическое сортоиспытание сортов картофеля в Казахстане. - Кайнар: Чаглинка, 2004. - 14 с.

И.Н. Аникина¹, Н.Н. Кайниденов¹, М.В. Красий², А.Н. Камарова¹

¹*Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан*

²*«Павлодар ауыл шаруашылық тәжірибе станциясы», Жауапкершілігі шектеулі серіктестік, Павлодар, Қазақстан*

Қазақстанның Солтүстік-шығысы жағдайында қазақстандық селекциялы картоп сорттарының дамуы мен өнімділігінің салыстырмалы сипаттамасы

Аңдатпа. Мақалада Солтүстік-Шығыс Қазақстан жағдайында отандық селекциялы картоптың перспективті сорттарының дамуы мен өнімділігін зерттеу ұсынылған. Картоп бойынша селекциялық жұмыстың жоғары деңгейіне қарамастан, Қазақстанда отандық селекцияның жоғары өнімді сорттарын картоп өндірушілер аз пайдаланады. Бұл Қазақстанның нақты климаттық аймақтарында өсірілген кезде, осы сұрыптардың оригинаторлары мәлімдеген сапаларды көрсете алмауына байланысты болуы мүмкін. Табиғи-климаттық жағдайлар картоп сорттарының өнімділік мүмкіндігін анықтайтын факторлардың бірі болып табылады.

Тәжірибе нәтижелері негізінде аудандастырылмаған сорттар анықталды, оларды осы аймақта өсіруге ұсынуға болады. Нерли сортының картоптары өнімділік сипаттамалары бойынша осы аймақта аудандастырылған Аксор сортына жақын болды, түптегі түйнектер саны бойынша Аксор сорты Нерли сортынан 11% - ға асып түсті, бірақ стандартты фракция саны бойынша Нерли аудандастырылған Аксор сортынан 13,6% - ға асып түсті. Нерли картобының сортын Қазақстанның солтүстік-шығысында өсіру үшін ұсынуға болады.

Түйін сөздер: картоп, түйнек, сұрып, даму, өнімділік, фракция.

I.N. Anikina¹, N.N. Kaynidenov¹, M.V. Krasij², A.N. Kamarova¹

¹ *Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan*

² *Limited liability partnership «Pavlodar agricultural experimental station», Pavlodar, Kazakhstan*

Comparative characteristics of the development and productivity of potato varieties of Kazakhstan selection in the conditions of the North-East of Kazakhstan

Abstract. The article presents a study on the development and productivity of promising potato varieties of domestic selection in the conditions of the North-East of Kazakhstan. This may be since not all varieties when grown in specific climatic zones of Kazakhstan show the qualities declared by the originators of these varieties.

Natural and climatic conditions are one of the determining factors, under the influence of which the yield potential of potato varieties is realized.

On the basis of the results of the experience, there were identified non-raised varieties, which can be recommended for cultivation in the conditions of the region. Potato Nerli varieties yield characteristics were close to zoned in the area Axor, by the number of tubers in the bush variety ahead of Nerli on 11%, but the number of standard fraction Nerli exceeded zoned variety Axor by 13.6%. The Nerli potato variety can be recommended for cultivation in the conditions of the North-East of Kazakhstan.

Keywords: potatoes, tubers, variety, development, productivity, fraction.

References

1. Gerasimova I., Mitova T. Weed species diversity and community composition in organic potato field. *Bulg. J. Agric. Sci.* 26 (3), 507-512 (2020).
2. Simakov E.A., Anisimov B.V., ZHevora S.V., Mityushkin A.V., ZHuravlev A.A., Mityushkin A.V., Gajzatulin A.S. Aktual'nye napravleniya selekcii na uluchshenie pitatel'noj cennosti klubnej kartofelya. *Kartofel' i ovoshchi* [Current trends in breeding to improve the nutritional value of potato tubers. *Potatoes and vegetables*] 2, 35-40 (2020) [in Russian].
3. Krasavin V.F., Eleshev R.E., Alimhanov E.M., Ajtbaeva A.T. Sortoizuchenie kartofelya v usloviyah yugo-vostoka Kazahstana. *Izdenister, natizheler-Issledovaniya, rezul'taty* [Variety study of potatoes in the southeast of Kazakhstan. *Research, results*] 1(89), 248-253 (2021) [in Russian].
4. Ajtbaev T.E. Selekcionnye dostizheniya po kartofelyu i ovoshchebahchevym kul'turam, dopushchennye k ispol'zovaniyu v Kazahstane [Breeding achievements in potatoes and vegetable and melon crops, admitted for use in Kazakhstan], «Sostoyanie i perspektivy nauchnyh issledovanij po kartofelevodstvu, ovoshchevodstvu i bahchevodstvu» ["State and prospects of scientific research on potato growing, vegetable growing and melon growing"]. Almaty, 2011. S.18-28 [in Russian].
5. Stacyuk N.V., Takur K., Smetanina T.I., Kuznecova M.A. Reakciya rastenij kartofelya (*Solanum tuberosum* L.) raznyh sortov na predposadochnuyu obrabotku klubnej impul'snym nizkochastotnym elektricheskim polem [The response of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) Of different varieties to the pre-planting treatment of tubers with a pulsed low-frequency electric field.] *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology]. 51(3), 360-366 (2016) [in Russian].
6. Rykaczewska K. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *Am. J. Potato Res.* 4, 2386-2393 (2013) (doi: 10.4236/aips.2013.412295).
7. Wang-Pruski G., Schofield A. Potato: improving crop productivity and abiotic stress tolerance. In: *Improving crop resistance to abiotic stress*. N. Tuteja, S.S. Gill, A.F. Tiburcio, R. Tuteja (eds.). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. (2012, P.1121-1153).
8. Novikova L.YU., Kiru S.D., Rogozina E.V. Proyavlenie hozyajstvenno-cennyh priznakov u sortov kartofelya (*Solanum t.*) pri izmenenii klimata na evropejskoj territorii Rossii [Manifestation of economically valuable traits in potato varieties (*Solanum t.*) Under climate change in the European territory of Russia]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology]. 52(1), 75-83 (2017).
9. Aksic M., Gudzic S., Deletic N., Gudzic N., Stojkovic S., Knezevic J. Tuber yield and evapotranspiration of potato depending on soil matric potential. *Bulg. J. Agric. Sci.* 20, 122-126 (2014).
10. Van Loon, C.D. The Effect of water stress on potato growth, development, and yield. *Am. Potato J.* 58, 51-69 (1981).
11. Krasavin V.F. Selekcija kartofelya na yugo-vostoke Kazahstana [Potato breeding in the south-east of Kazakhstan]. («Oner», Almaty, 2009, 224 s.) [in Russian].

12. Anikina I.N., Bekseitov T.K. i dr. Opyt semenovodstva kartofelya v KKH «Timur» [The experience of potato seed growing in the farm "Timur"]. Nauka i obrazovanie: Problemy i perspektivy razvitiya [Science and Education: Problems and Development Prospects]. Sb. mater. mezhd. konf., 30 avgusta. (Tambov, 2014, S. 34-36) [in Russian].

13. Gosudarstvennyj reestr selekcionnyh dostizhenij, rekomenduemyh k ispol'zovaniyu v Respublike Kazahstan [State register of selection achievements recommended for use in the Republic of Kazakhstan] [Electronic resource] <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005759> (Accessed: 12.04.2021).

14. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]. (Kolos, Moskva, 1979, 417 s.) [in Russian].

15. ZHuravleva E.V., ZHevora S.V., Oves E.V., Anisimov B.V., SHabanov A.E., Kiselev A.I., Zebrin S.N., Zejruk V.N., Uskov A.I., Fedotova L.S, Pshechenkov K.A., Metodicheskie polozheniya po provedeniyu ocenki sortov i gibridov kartofelya na ispytatel'nyh uchastkah [Methodological provisions for the assessment of varieties and hybrids of potatoes on test plots]. FGBNU VNIKKH im. A.G. Lorha [FGBNU VNIKKH them. A.G. Lorkha]. (Moskva, 2017, 11 s.) [in Russian].

16. Krasavin V.F., SHaripova D.S., Moshnyakov A.N. Ekologicheskoe ispytanie sortov i gibridov kartofelya inostrannoј selekcii v usloviyah predgornoј zony yugo-vostoka Kazahstana [Environmental testing of varieties and hybrids of potatoes of foreign breeding in the conditions of the foothill zone of the southeast of Kazakhstan]. Materialy mezhdunarodnoј nauchno-prakticheskој konferencii, posvyashchennoј 65-letiyu obrazovaniya Kazahskogo NII kartofelevodstva i ovoshchevodstva [Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the formation of the Kazakh Research Institute of Potato and Vegetable Growing]. (KazNIKO, Almaty-Kajnar, 2011, S. 335-339) [in Russian].

17. Krasavin V.F., Fedoseev V.A. Ekologicheskoe sortoispytanie sortov kartofelya v Kazahstane [Ecological variety testing of potato varieties in Kazakhstan]. (CHaglinka, Kajnar, 2004, 14 s.) [in Russian].

Сведения об авторах:

Аникина И.Н. - кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор (доцент), Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Кайниденов Н.Н. - магистр технических наук, старший преподаватель, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Красий М.В. - лаборант, ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция», Павлодар, Казахстан.

Камарова А.Н. - магистр технических наук, преподаватель, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Anikina I.N. - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Toraihyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

Kaynidenov N.N. - Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Toraihyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

Krasij M.V. - laboratory assistant, Pavlodar Agricultural Experimental Station, Pavlodar, Kazakhstan.

Kamarova A.N. - Master of Technical Sciences, Lecturer, Toraihyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

Ж. Қожабек^{1,2*}, Ж.Л. Үй², Ш.Л. Уаң²¹Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан²Қытай аграрлық университеті, Пекин, Қытай*Байланыс үшін автор: jaunahojabek@yahoo.com

BBSV вирусы жұғымдалу барысындағы HSP17.6 ақуызының механизміне анализ жасау

Аннотация. BBSV (*Beet black scorch virus*-BBSV) вирусы дүние жүзіне кең таралған қант қызылшасының вирусы болып, қызылшаның қант өндірісіне ауыр экономикалық зиян тудырып, қатысты саладағы зерттеушілердің назарын аударды. Модель өсімдік *Nicotiana Benthamiana*-дан пайдаланып вирустың жұғымдалу барысы мен өсімдіктің ауруға қарсы тұру механизмін зерттеу өте зор ғылыми маңызға ие. Бұдан бұрынғы зерттеулер BBSV вирусымен жұғымдалудан бұрынғы және жұғымдалғаннан кейінгі *Nicotiana Benthamiana*-ға транскриптом секвенирлеу технологиясымен талдау жасау арқылы HSP17.6 ақуызының мөлшері BBSV вирусымен жұғымдалған өсімдікте көрнекті артатынын байқаған.

HSP17.6 ақуызының вирустың жұғымдалуы мен өсімдіктің ауруға қарсы тұру барысындағы ролін түсіну үшін, HSP17.6 ақуызымен HSP70, HSP90 және BBSV вирусын құрайтын ақуыздардың (BBSV encoded proteins) арасындағы өзара әсер ету жағдайын зерттедік. Зерттеу нәтижесі HSP17.6 ақуызының HSP70, HSP90 ақуызымен өзара әрекеттесетінін (interactions), бірақ BBSV вирусының құрылымдық ақуыздарымен (BBSV encoded proteins) әрекеттеспейтінін көрсетті.

Тәжірибе нәтижесіне және бұрынғы зерттеулерге негізделгенде, HSP70 және HSP90 ақуыздарына көмекшілік рөл атқаратын HSP17.6 ақуызы молекулалық шаперон (molecular chaperone) қызметін атқару арқылы BBSV вирусының жұғымдалуы мен көбеюіне қажетті құрылымдық ақуыздарының фолдингіне (fold) көмектеседі.

Түйін сөздер: HSP17.6 ақуызы, BBSV, фолдинг, жұғымдалу механизмі, локализация.

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-38-47

Кіріспе

BBSV (*Beet black scorch virus*) вирусы диаметрі 30 nm шар тәрізді вирус. BBSV вирусы жұғымдалған қызылшаның жапырағында қара дақтар пайда болып, барлық жапырағы қурап, тамыры өледі. Сол себепті BBSV вирусы деп аталады.¹ BBSV вирусының геномы жалпы ұзындығы 3644 nt, жалғыз тізбекті мағыналы РНҚ (single strand positive sense RNA), 5'-үшінде VPg жоқ, 3'-үшінде Poly(A) жоқ. BBSV вирусында жалпы 6 ORF (Open reading frame) бар болып, олар жеке-жеке репликацияланумен қатысты P23 (BBSV эндоплазмада репликацияланады), оқушы ақуыз P82 (read through protein), қозғалысқа қатысты P7a, P7b, P5' ақуыздары және вирустың қабықша ақуызы (Coat protein, CP).²

HSP (Heat shock proteins) өсімдік және жануарлар жасушасында көптеп кездесетін болып, организм денесіне вирус жұғымдалу барысында көп мөлшерде синтезделеді. Қалыпты жасушаның өсіп-жетілу барысында, жасушадағы шаперон қызметін атқаратын HSP ақуызы басқа ақуыздардың фолдингі, транслокациясы және деградациясы қатарлы функцияларына қатысады.³ Сонымен қатар тиімсіз орта жағдайында, HSP ақуызы жасушаның қалыпты тіршілік қимылының сақталуына көмектеседі. Молекуланың массасына байланысты HSP бес топқа бөлінеді: HSP100, HSP90, HSP70, HSP60 және sHSP (small heat shock protein).⁴ Жақынғы жылдардан бері, HSP70 ақуызының вирустың жұғымдалу барысында яғни вирустың жасушаға кіруі (viral entry), түзілуі (virion assembly and disassembly), репликациясы және вирус генінің экспрессиясы барысында

маңызды қызмет атқаратыны байқалды. Сонымен қатар, HSP70 ақуызының вирус қызметіне қалай әсер ететіні терең зерттеліп болды.⁵

Ал sHSP тобы (шағын хитчок ақуыздары) бактерия, өсімдік және жануарлар денесінде көп мөлшерде синтезделетін болып, молекулалық салмағы 15-30 кДа шамасында болады. Бұл sHSP тобындағы ақуыздарының бәріне ортақ бір концевативті, шамамен 100 амин қышқылынан құралған, А кристаллин линзасы тәрізді домені бар,⁶ оның екі ұшы өте тұрақсыз болады. Организм денесінен сырт жағдайда, sHSP тобы 12-40 мономерден құралған олигомер формасында сақталады. Ал аз санды sHSP тобындағы ақуыздар мономер, димер немесе тетрамер формасында сақталады.⁷ sHSP ақуызының субстратты тануы және онымен бірігуі өте маңызды. sHSP ақуызының басқа HSP тобындағы ақуыздардан айырмашылығы, sHSP ақуызы басқа ақуыздарының топталуына кедергілік жасау барысында АТФ энергиясын керек етпейді. Дене сыртында, sHSP ақуызы тез арада субстратымен әрекеттесіп, оның топталуына кедергілік жасап, әуелгі қалпында сақтап тұрады. Бірақ sHSP ақуызы басқа ақуыздарының қайталай фолдингын дербес орындай алмайды, HSP70, HSP90 қатарлыларға көмекшілік қызмет атқарады.⁸ sHSP ақуыздарының өсімдік вирусының жұғымдалуын реттеу үдерісін әлі де терең зерттеуге тура келеді.

Материал және әдісі

Материал: 2×SYBR Green Master PCR және праймерлер (QIAGEN компаниясынан сатып алынды, таблица 1 де көрсетілді); BBSV-CP арнайы антиденелері, қДНК, TRV-VIGS vector, TRV-HSP17.6, және GST-PULL DOWN-ға сәйкес барлық ақуыздары мен антиденелер зертханамызда сақталған.

Әдісі: Реал-тайм ПТР-дің (Real-time PCR) реакциясына қажет материалдар: 2×SYBR Green PCR master mix-8 µl; 10Mm primer-0.4 µl; cDNA-1µl; көлемін 16 µl-ге дейін су құйып толтырамыз, толық араластырғаннан кейін 14 µl аламыз. Реакцияласу шарт-жағдайы: 95°C pre-degeneration-3min; 95°C degeneration-10s; 60°C-та 10s реакцияластыру; 39 рет қайталау (cycle).

Кесте 1

Праймерлер

Атауы	праймерлер тізбегі	Түсініктеме
pGDG-HSP17.6-F	5'-GAAGATCTATGTCACCTGATCCCAAG-3'	HSP17.6 ақуызының жасушадағы локализациясы үшін қолданылады, тура бағыттағы праймер
pGDG-HSP17.6-R	5'-CGCGTCGACCTAACCGGTGATCTCAATG-3'	HSP17.6 ақуызының жасушадағы локализациясы үшін қолданылады, кері бағыттағы праймер
pSPY-HSP17.6-F	5'-GGACTAGTATGTCACCTGATCCCAAGAGTGTTCGGC-3'	ViFC-ға жұмсалатын тура бағыттағы праймер
pSPY-HSP17.6-R	5'-GGGGTACCACCGGTGATCTCAATGGACTTGACATC-3'	ViFC-ға жұмсалатын кері бағыттағы праймер
HSP17.6-real-F	5'-CAATGGACTTGACATCAGGCTTC-3'	Realtime PCR-ға жұмсалатын тура бағыттағы праймер
HSP17.6-real-R	5'-ATAAGAATGATACTTGGCACCGT-3'	Realtime PCR-ға жұмсалатын кері бағыттағы праймер
PR1-real-F	5'-TTAGCAGCCGTCATGAAATCGT-3'	PR1 мөлшерін анықтауға істетілетін тура бағыттағы праймер
PR1-real-R	5'-GGCGTAGAACCTTTAACCTGGGA-3'	PR1 мөлшерін анықтауға істетілетін кері бағыттағы праймер

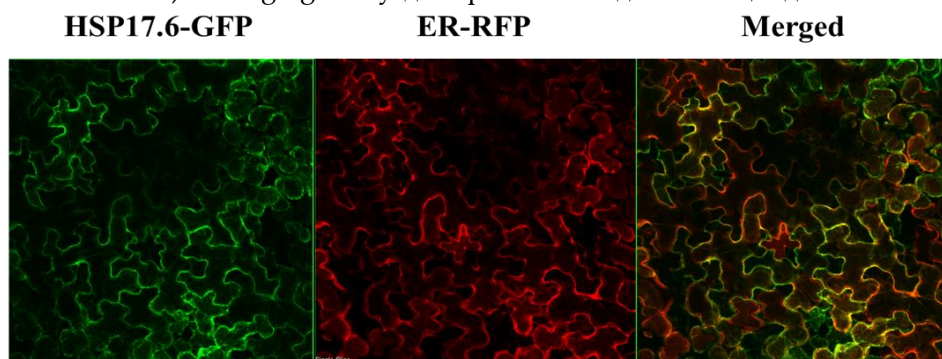
GST pull-down: көлемі 15µl болатын GST beads-ді 1ml буфермен 5 рет біркелкі толық араластырылды, әр жолы 3 минуттан. Одан кейін салмағы 100µg болатын GST-пептиді бар ақуыз қосылды, 3 сағат шайқап инкубациялағаннан кейін, 800xg жылдамдығымен 10 секунд центрифугалап, супернатанты алып тасталды, сосын 50µg болатын байлынысушы ақуызды құйып, тағы 3 сағат реакцияластырылды. Одан кейін 800xg жылдамдығымен 10 секунд центрифугалау арқылы beads-ді жинап алып, көлемі 1ml болатын шайғыш буфермен әр жолы 3 минуттан 5 рет жуылды. Ең соңында вестерн-блот әдісін пайдалану арқылы нәтижесі тексерілді.

BiFC: Walter қатарлылар істеткен әдісті пайдаланып, (Walter ат., 2004), бактерияны 3 мл қатысты антибиотик қамтылған LB өсіру сұйықтығына араластырып, 28°C, 210rpm инкубаторда 14-16 сағат өсіреміз. 4000rpm, 8 минут центрифугалап, ұқсас көлемдегі агробактерия суспензиясының буферімен араластырғаннан кейін, бактериалды ерітіндінің OD600 мөлшерін ультрафиолет спектрофотометрімен өлшейміз. P19 және өзара әрекеттесетін ақуыздарымен сұйықтар арқылы OD600 мөлшерін 0.3 ке теңшейміз, 28°C инкубаторда 3 сағат қойғаннан кейін, *Nicotiana benthamiana*-ның жапырағына жұғымдатамыз. 3 күннен кейін лазерлі конфокалды микроскоп арқылы ақуыздарының әрекеттесу жағдайы қаралды.

Нәтиже

NbHSP17.6-нің жасушадағы локализациясы (Subcellular localization of NbHSP17.6):

NbHSP17.6 ақуызының клетка ішіндегі таралу жағдайын анықтау үшін, NbHSP17.6 ақуызын экспрессия векторындағы GFP-дің карбоксил ұшына жалғап, агробактерия инфекциясы (*Agrobacterium injection*) тәсілі арқылы өсімдік денесінде транзистентті экспрессияладық (transient expression). Үш күннен кейін, лазер конфокалды микроскоп (laser confocal microscope) арқылы NbHSP17.6 ақуызының таралу жағдайын анықтадық. Тәжірибе нәтижесі NbHSP17.6 ақуызының эндоплазмада (co-localization with endoplasm) таралатынын көрсетті (Сурет 1). Бірақ NbHSP17.6 ақуызы клетка қабықшасында (cell membrane), микро жіпшеде (microfilament), клетка аралық жіпшеде (plasmodesmata) және golgi body-да таралмайтындығы байқалды.

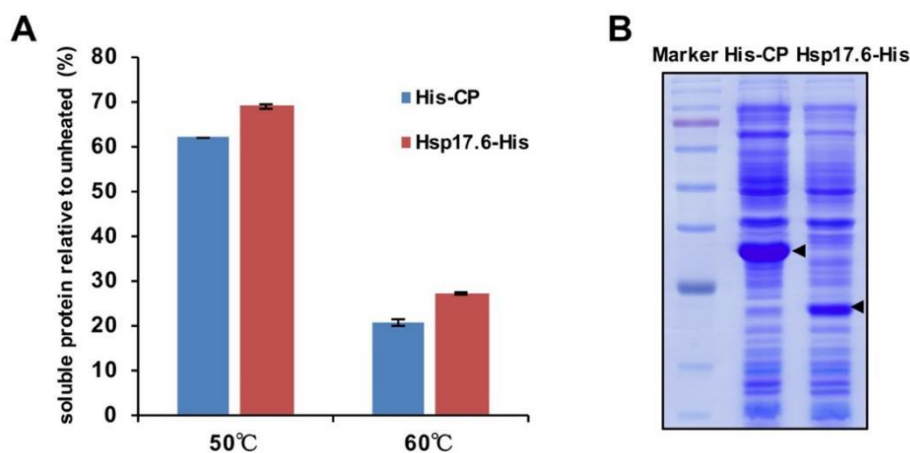


Сурет 1. NbHSP17.6-нің жасушадағы локализациясы (Subcellular localization of NbHSP17.6).

NbHSP17.6-нің молекулалық шаперон қызметіне анализ жасау (Analysis for molecular chaperones function of NbHSP17.6):

NbHSP17.6 ақуызында молекулалық шаперон (molecular chaperone) рөлінің бар-жоқтығын анықтау үшін, pET30a-HSP17.6 прокариоттық экспрессия векторын жасап, *E.coli*-дың экспрессиялық штаммы BL21 (DE3)-ден пайдаланып NbHSP17.6-His-ді синтездеп алдық. Жоғары температурада өңдегеннен кейін, ерігіш ақуыз (soluble protein) өзгеріп, денатурациясы (denaturation) қалыптасады. Тұнбаның салыстырмасына негізделіп, молекулалық шаперон (chaperone) рөлінің бар-жоқтығына талдау жасадық. Тәжірибе нәтижесі, 50°C және 60°C температурада, NbHSP17.6-His қамтылған ерігіш ақуыз (soluble protein) құрамындағы жалпы ақуыздың мөлшері бақылау тобындағы ақуыз His-CP-ға қарағанда көп болды. Бұдан

молекулалық шаперон (molecular chaperone) рөлі жоқ CP-мен салыстырғанда, NbHSP17.6 ақуызы жоғары температурада басқа ақуыздағы әуелгі қалпында сақтап, денатурациясының (denaturation) алдын алатынын байқадық (Сурет 2).

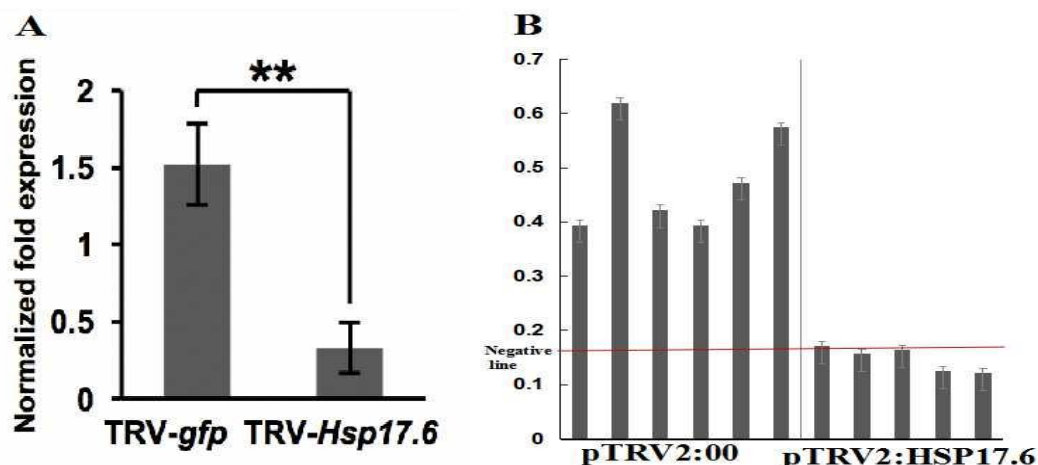


Сурет 2(A). Жоғары температураның ұқсамаған ақуыз қамтылған *E.coli* жалпы ерігіш ақуыздарына ықпалы. (Effect of heat treatment on the stability of soluble total protein of *E.coli* containing different exogenous proteins). Қоюлығы жеке-жеке 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 0.75 және 0.9 мг/мл болатын BSA ертіндісін Dye Reagent Concentrate-пен 40 минут реакцияластырып, OD595-тегі абсорбансын өлшегеннен кейін, ақуыздың қоюлығын абсцисса өсі, OD595-ті ордината өсі деп белгілеп, стандартты қисық сызық жасадық. Жалпы ерігіш ақуыздарды жеке-жеке қалыпты температурада, 50°C және 60°C та 15 минут өңдегеннен кейін, центрифугалау арқылы супернатантының OD595-ін өлшеп, стандартты қисық сызыққа негізделіп ақуыздың қоюлығын есептедік. (B). Экстрогенді ақуыздардың экспрессиясы.

NbHSP17.6 ақуызының экспрессиясы тежелгеннен кейінгі BBSV вирусының инфекциясындағы өзгерісі (detection of BBSV infection after silence of NbHSP17.6):

NbHSP17.6 ақуызының BBSV вирусы жұғымдалу барысындағы рөлін ішкерілей зерттеу үшін, TRV-VIGS системасынан пайдаланып, NbHSP17.6 ақуызын өсімдік денесінен арылтық (silencing NbHSP17.6 gene by TRV-VIGS system). BBSV вирусы жұғымдалғаннан кейін, өсімдіктегі NbHSP17.6 ақуызы мен вирус мөлшерін анықтадық. Тәжірибе нәтижесі өсімдік денесіндегі NbHSP17.6 ақуызының мөлшері көрнекті дәрежеде азайғандығын көрсетті (Сурет 3А).

TRV-VIGS системасы арқылы NbHSP17.6 ақуызының өсімдік денесіндегі мөлшерінің көп мөлшерде азайғандығына көз жеткізгеннен кейін, BBSV вирусымен жұғымдап, BBSV CP-ға телімді антиденеден пайдаланып, ELISA әдісі арқылы BBSV вирусының мөлшеріне талдау жасадық. Зерттеу нәтижесіне негізделгенде, қалыпты өсімдікпен (Healthy controls) салыстырғанда, NbHSP17.6 ақуызы жоғалтылған (NbHSP17.6 was silenced) өсімдікте BBSV вирусының мөлшері көрнекті азайған (Сурет 3B). Бұдан бұрынғы зерттеулерде, BBSV вирусы ауыр дәрежеде жұғымдалған өсімдікте NbHSP17.6 ақуызының мөлшері көрнекті көбейгендігі дәлелденген. Жоғардағы зерттеулермен бірлестіре отырып, NbHSP17.6 ақуызы өсімдіктің ауруға қарсылық көрсету қабілетін төмендетіп (negatively regulate the resistant of plant), BBSV вирусының жұғымдалуына көмектесуі (upregulate the infection of BBSV) мүмкін деген тұжырым жасадық.



Сурет 3(A). TRV-VIGS векторының инфекциясынан кейін NbHSP17.6-нің салыстырмалы экспрессиясын анықтау үшін жасалған реал-тайм ПТР. EF1a ішкі параметр ретінде алынды, bars стандартты қателікті, жұлдызша көрнекі айырмашылықты көрсетеді (student's t-test, ** $p < 0.01$). (B). Егілген әр өсімдіктің жапырақтарындағы BBSV вирусін ELISA әдісі арқылы анықтау. Контроль тобы pTRV1 және бос pTRV2:00 векторы егілген өсімдіктер.

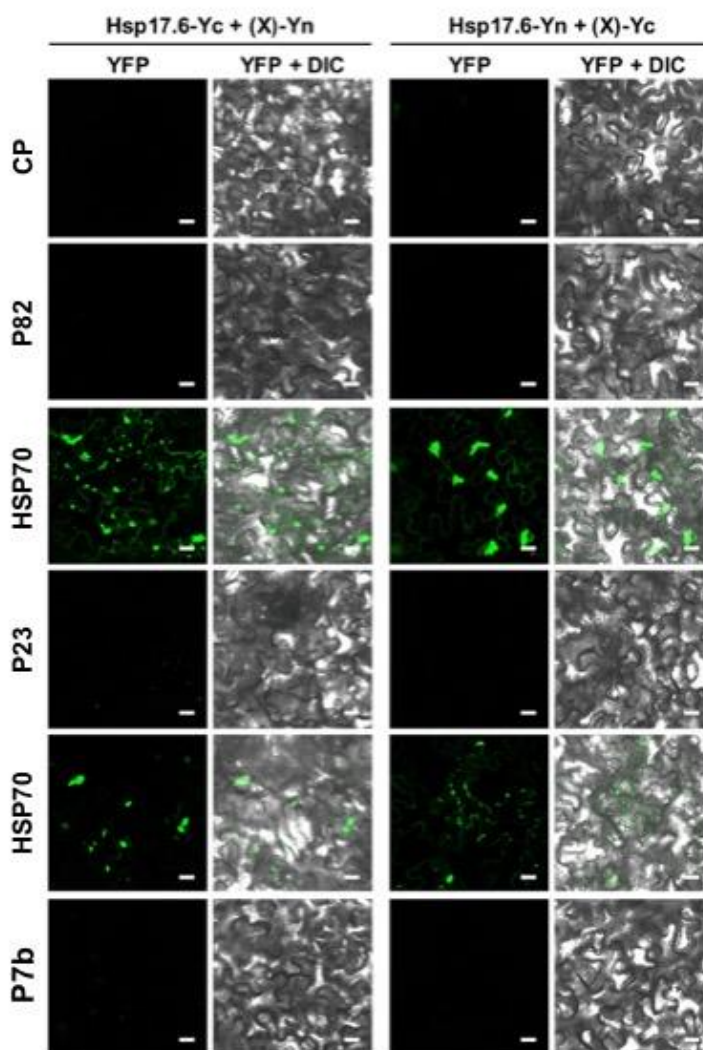
HSP17.6-нің HSP70 және HSP90 ақуыздарымен өзара әрекеттесуі:

HSP17.6 ақуызы BBSV вирусы инфекциясына кем болса болмайтын маңызды рөл атқарады. Онда HSP17.6 ақуызы бұл маңызды рөлін BBSV вирусін құрайтын ақуыздарымен өзара әрекеттесу арқылы атқарып отырма? Бұған көз жеткізу үшін біз организм денесі ішінде және сыртында HSP17.6 ақуызының BBSV вирусының ақуыздарымен (BBSV encoded proteins), HSP70 ақуызымен және HSP90 ақуызымен өзара әрекеттесу (interactions) жағдайын зерттедік.

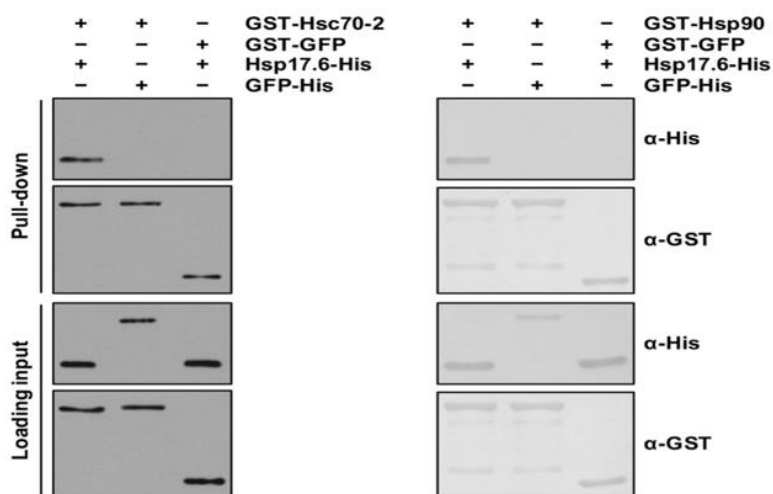
BiFC техникасының (Организм денесі ішіндегі) нәтижесінде тек HSP70-HSP17.6 және HSP90-HSP17.6 қоспасында ғана YFP сигналы байқалған. Ал HSP17.6 мен BBSV құрылымдық ақуыздары P23, P82, CP және P7b қоспаларында YFP сигналы байқалмады (Сурет 4). BiFC техникасының нәтижесін тағы бір қырынан анықтау үшін, дене сыртында GST-преципитация тәжірибесін жасадық.

GST-преципитация тәжірибесі барысында, pGEX-GST векторынан пайдаланып, GST-HSP70 және GST-HSP90-ді синтездеп алдық. вестерн-блот нәтижесі HSP17.6-His дене сыртында GST-HSP70 және GST-HSP90-мен әрекеттесетіндігін көрсетті. Ал GST-GFP және GFP-His қатарлы контроль группада өзара әрекеттесу байқалмады (Сурет 5).

Жоғарыдағы нәтижелер HSP17.6 ақуызының тек HSP70 және HSP90 ақуыздарымен әрекеттесетінін, ал BBSV вирусының ақуыздарымен әрекеттеспейтінін көрсетті.



Сурет 4. BiFC техникасынан пайдаланып, HSP17.6 ақуызымен басқа қатысты ақуыздарының өзара әрекеттесу жағдайын зерттеу.



Сурет 5. GST-преципитация тәсілі арқылы, HSP17.6 ақуызымен HSP70, HSP90 ақуыздарының өзара әрекеттесу жағдайын зерттеу.

Талқылау және қорытынды

Жануарларда sHSP ақуыздарының вирус жұғымдалуына әсері кең және терең зерттелген, бірақ өсімдіктерде қатысты зерттеулер өте сирек. Әрі ұқсамаған вирустардың жұғымдалу барысындағы sHSP ақуызының атқаратын қызметі ұқсамайды. Мысалы, ақ дақ синдромының вирусы (white spot syndrome virus) HSP21 ақуызының мөлшерін азайтады; қызанақ дақтары вирусы (tomato spotted wilt virus) HSP20 ақуызының мөлшерін көбейтеді.⁹ Зерттеулерге негізделгенде, sHSP ақуызы ұқсамаған вирустың әртүрлі компоненттерімен әрекеттеседі. Мысалы, HCV вирусының құрамындағы NS5A мен HSP27 өзара әрекеттеседі. TYLCSV-дің қабықша ақуызы (coat protein) мен тасымалдаушы *bemisia tabaci*-дің VtHSP16 ақуызының өзара әрекеттеседі.¹⁰ Сонымен қатар, әр түрлі sHSP ақуызының вирустың жұғымдалу барысындағы қызметі де ұқсамайды. Кейбірі вирустың жұғымдалуын тездетеді, кейбірі вирустың жұғымдалуын тізгіндейді.¹¹ Бірақ sHSP ақуызының вирустың жұғымдалу барысына нақтылы қалай әсер ететіні әлі де белгісіз күйінде қалып отыр.

HSP17.6 ақуызының BBSV вирусының жұғымдалу барысындағы маңызды рөлін зерттеу үшін, TRV-VIGS системасынан пайдаланып HSP17.6 ақуызының синтезделуін тежегеннен кейін, BBSV вирусын өсімдікке жұғымдаттық. Тәжірибе нәтижесі вирустың мөлшері салыстырмалы түрде төмен болатынын көрсетті. Яғни HSP17.6 ақуызы вирустың өсімдік денесіне жұғымдалуына көмектеседі.

Сонымен қатар, BiFC және преципитация техникаларынан пайдаланып, HSP17.6 ақуызының BBSV вирустық ақуыздарымен, HSP70 ақуызымен және HSP90 ақуызымен өзара әрекеттесу жағдайын зерттедік. Зерттеу нәтижесі HSP17.6 ақуызының HSP70 және HSP90 ақуыздарымен әрекеттесетінін, бірақ BBSV вирустық ақуыздарымен әрекеттеспейтінін көрсетті. Бұдан бұрынғы зерттеулерде, BBSV вирусының эндоплазмада көбейетінін (replication), BBSV вирусының репликазасы (replicase) P23-тің HSP70 және HSP90 ақуыздарымен өзара әрекеттесетінін, HSP70 ақуызы болмаған жағдайда BBSV вирусының көбейе алмайтындығын дәлелдеген.¹²

Бұдан бұрынғы зерттеулер мен өз тәжірибе нәтижемізді бірлестіре отырып, HSP17.6 ақуызы эндоплазмада таралатынын, HSP17.6 ақуызы HSP70 және HSP90 ақуыздарының P23-тің дұрыс құрылым түзуіне көмектесу барысында молекулалық шаперон рөлін атқаратынын анықтадық. Осы арқылы HSP17.6 ақуызы вирустың жұғымдалу барысына әсерін тигізуі мүмкін деген қорытынды шығардық.

Әдебиеттер тізімі

1. Cao Y. *et al.* The complete nucleotide sequence of Beet black scorch virus (BBSV), a new member of the genus Necrovirus// Archives of Virology. -2002. -Vol. 147. -P. 2431-2435.
2. Yuan X. *et al.* Analysis of the subgenomic RNAs and the small open reading frames of Beet black scorch virus// Journal of General Virology. -2006. -Vol. 87. -P. 3077.
3. Gupta, S. C., Sharma, A., Mishra, M., Mishra, R. K. & Chowdhuri, D. K. Heat shock proteins in toxicology: How close and how far?// Life Sciences. -2010. -Vol. 86. -P. 377-384.
4. Kotak, S. *et al.* Complexity of the heat stress response in plants// Current Opinion in Plant Biology. -2007. -Vol. 10. -P. 310-316.
5. Vega, V. L. *et al.* Hsp70 Translocates into the Plasma Membrane after Stress and Is Released into the Extracellular Environment in a Membrane-Associated Form that Activates Macrophages 1// Journal of Immunology. -2008. - Vol. 180. -P. 4299.
6. Hanazono, Y. *et al.* Nonequivalence Observed for the 16-Meric Structure of a Small Heat Shock Protein, SpHsp16.0, from *Schizosaccharomyces pombe*// Structure. -2013. -Vol. 21. -P. 220-228.

7. Leroux, M. R., Ma, B. J., Batelier, G., Melki, R. & Candido, E. P. Unique structural features of a novel class of small heat shock proteins// *Journal of Biological Chemistry*. -1997. -Vol. 272. -P. 12847-12853.
8. Fu, X. *et al.* Small heat shock protein IbpB acts as a robust chaperone in living cells by hierarchically activating its multi-type substrate-binding residues// *Journal of Biological Chemistry*. -2013. -Vol. 288. -P. 11897-11906.
9. Liu, P., Wang, L., Kwang, J., Yue, G. H. & Wong, S. M. Transcriptome analysis of genes responding to NNV infection in Asian seabass epithelial cells// *Fish Shellfish Immunol.* -2016. -Vol. 54. -P. 342-352.
10. Ohnesorge, S. & Bejarano, E. R. Begomovirus coat protein interacts with a small heat-shock protein of its transmission vector (*Bemisia tabaci*)// *Insect Molecular Biology*. -2010. -Vol. 18. -P. 693-703.
11. Nakatsue, T. *et al.* Acute Infection of Sindbis Virus Induces Phosphorylation and Intracellular Translocation of Small Heat Shock Protein HSP27 and Activation of p38 MAP Kinase Signaling Pathway// *Biochemical & Biophysical Research Communications*. -1998. -Vol. 253. -P. 59-64.
12. Moshe, A., Gorovits, R., Liu, Y. & Czosnek, H. Tomato plant cell death induced by inhibition of HSP90 is alleviated by Tomato yellow leaf curl virus infection// *Molecular Plant Pathology*. -2016. -Vol. 17. -P. 247-260.

Zh. Kozhabek^{1,2}, J.L. Yu², X.L. Wang²

¹*S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

²*China Agricultural University, Beijing, China*

Analysis of the HSP17.6 protein mechanism in BBSV infection

Abstract. Beet black scorch virus (BBSV) has been reported as a natural pathogen of sugar beet and distributed all over the world, causing great economic losses to the sugar industry. Research on interactions between BBSV and its host by using model plant *Nicotiana benthamiana* is significantly important and necessary for understanding virus infection process and exploring plant resistance mechanism. The results of sequencing the transcriptome of *N. benthamiana* infected with BBSV as well as gene screening in response to viral infection revealed upregulation of the small heat shock protein 17.6 gene (*NbHSP17.6*) and the effect of the protein on resistance to the virus. To further examine the involvement of HSP17.6 in defense responses in *N. benthamiana*, we tested interaction between HSP17.6 and other heat shock proteins such as HSP70 and HSP90 as well as BBSV encoded proteins. The results showed that HSP17.6 interacted with HSP70 and HSP90 but not with BBSV encoded proteins. When combined with other available results, it is possible that HSP17.6 acted as a small molecular chaperone to facilitate proper refolding of the specific proteins HSP70 and HSP90 required for BBSV infection and/or replication.

Key words: HSP17.6, BBSV, fold, infection mechanism, localization.

Ж. Қожабек^{1,2}, Ж.Л. Уй², Ш.Л. Уаң²

¹*Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина,
Нур-Султан, Казахстан*

²*Китайский аграрный университет, Пекин, Китай*

Анализ белкового механизма HSP17.6 при инфицировании вирусом BBSV

Аннотация. Вирус черной свеклы (Beet black scorch virus-BBSV) является широко распространенным патогеном, причиняющим значительный экономический ущерб свеклольно-сахарному производству. Учитывая значимость вируса, последний является объектом

пристального внимания исследователей. Большое научное значение имеют изучение процесса заражения вирусом, а также исследование механизма устойчивости растений к возбудителю на основе растительной модели *Nicotiana benthamiana*. Результаты секвенирования транскриптома *N. benthamiana*, инфицированного BBSV, а также скрининг генов в ответ на вирусную инфекцию выявили повышенное регулирование гена небольшого белка теплового шока 17.6 (NbHSP17.6) и влияние белка на устойчивость к вирусу. Для того чтобы понять роль HSP17.6 белка в борьбе с вирусом и противовирусной инфекцией, мы исследовали взаимодействие HSP17.6 белка с другими белками теплового шока HSP70 и HSP90, а также другими белками, кодирующими вирус черной свеклы. Результаты исследования показали, что HSP17.6 белок взаимодействует с белками HSP70 и HSP90, но не взаимодействует с белками, кодирующими вирус BBSV. В сочетании полученных нами результатов с другими доступными результатами, возможно, что HSP17.6 действовал в качестве небольшого молекулярного шаперона для облегчения правильного рефолдинга специфических белков HSP70 и HSP90, необходимых для инфекции BBSV и/или его репликации.

Ключевые слова: HSP17.6, BBSV, фолд, механизм заражения, локализация.

References

1. Cao Y. et al. The complete nucleotide sequence of Beet black scorch virus (BBSV), a new member of the genus Necrovirus, *Archives of Virology*, 147, 2431-2435 (2002).
2. Yuan X. et al. Analysis of the subgenomic RNAs and the small open reading frames of Beet black scorch virus, *Journal of General Virology*, 87, 3077 (2006).
3. Gupta, S. C., Sharma, A., Mishra, M., Mishra, R. K. & Chowdhuri, D. K. Heat shock proteins in toxicology: How close and how far, *Life Sciences*. 86, 377-384 (2010).
4. Kotak, S. et al. Complexity of the heat stress response in plants, *Current Opinion in Plant Biology*. 10, 310-316 (2007).
5. Vega, V. L. et al. Hsp70 Translocates into the Plasma Membrane after Stress and Is Released into the Extracellular Environment in a Membrane-Associated Form that Activates Macrophages 1, *Journal of Immunology*. 180, 4299 (2008).
6. Hanazono, Y. et al. Nonequivalence Observed for the 16-Meric Structure of a Small Heat Shock Protein, SpHsp16.0, from *Schizosaccharomyces pombe*, *Structure*. 21, 220-228 (2013).
7. Leroux, M. R., Ma, B. J., Batelier, G., Melki, R., & Candido, E. P. Unique structural features of a novel class of small heat shock proteins, *Journal of Biological Chemistry*. 272, 12847-12853 (1997).
8. Fu, X. et al. Small heat shock protein IbpB acts as a robust chaperone in living cells by hierarchically activating its multi-type substrate-binding residues, *Journal of Biological Chemistry*. 288, 11897-11906 (2013).
9. Liu, P., Wang, L., Kwang, J., Yue, G. H. & Wong, S. M. Transcriptome analysis of genes responding to NNV infection in Asian seabass epithelial cells, *Fish Shellfish Immunol*. 54, 342-352 (2016).
10. Ohnesorge, S. & Bejarano, E. R. Begomovirus coat protein interacts with a small heat-shock protein of its transmission vector (*Bemisia tabaci*), *Insect Molecular Biology*. 18, 693-703 (2010).
11. Nakatsue, T. et al. Acute Infection of Sindbis Virus Induces Phosphorylation and Intracellular Translocation of Small Heat Shock Protein HSP27 and Activation of p38 MAP Kinase Signaling Pathway, *Biochemical & Biophysical Research Communications*. 253, 59-64 (1998).
12. Moshe, A., Gorovits, R., Liu, Y. & Czosnek, H. Tomato plant cell death induced by inhibition of HSP90 is alleviated by Tomato yellow leaf curl virus infection, *Molecular Plant Pathology*. 17, 247-260 (2016).

Авторлар туралы мәлімет:

Ж. Қожабек – биология ғылымдарының магистрі, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің биология ғылымдары кафедрасының оқытушысы, Орынбор 12, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Ж.Л. Үй – биология ғылымдарының докторы, Қытай аграрлық университетінің профессоры, Юан миң юан 2, Пекин, Қытай.

Ш.Л. Уаң – биология ғылымдарының докторы, Қытай аграрлық университетінің оқытушысы, Юан миң юан 6, Пекин, Қытай.

Zh. Kozhabek – master of biological sciences, teacher at the department of biological sciences, Saken Seifullin Kazakh agrotechnical university, Orynbor 12, Nur-Sultan, Kazakhstan.

J.L. Yu – doctor of biological sciences, professor of China agricultural university, Yuan ming yuan 2, Beijing, China.

X.L. Wang – doctor of biological sciences, teacher of China agricultural university, Yuan ming yuan 6, Beijing, China.

**R.Zh. Zhapbasov^{1*}, A.A. Kornilova², A.M. Zhomartov¹, K.Zh. Dosybaev¹,
L.B. Dzhansugurova¹, B.O. Bekmanov¹**

¹ Institute of General Genetics and Cytology, Almaty, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

*Corresponding author: kornilovaanna@mail.ru

Cytogenetic abnormalities in sheep kept in the territory of Almaty region contaminated with non-utilized and banned pesticides

Abstract. *On the territory of the Almaty region, there are warehouses with banned and non-utilized pesticides, the active substances, and metabolites of which pollute the pastures of farm animals located nearby. Blood samples of 27 sheep from three monitoring points of the Almaty region were analyzed for the presence of genomic mutations and chromosomal aberrations. Cell cultivation and preparation of slides were carried out by standard cytogenetic techniques.*

The frequency of occurrence of genomic mutations in the blood system of experimental groups of animals exceeded the same indicator in the control group by an average of 1.98 times, and chromosomal aberrations - by 4.1 times. The proportion of hypodiploid cells accounted for 70% of the total number of genomic mutations. Polyploidy accounted for up to 27.9%, and hyperdiploidy was found in single cells. The calculation of indicators of general cytogenetic instability showed that hyperdiploidy and chromosomal aberrations are the main components of this indicator, which, on average in the three monitoring sites, exceeded the control data by 4.14 times. Statistical data processing allows us to conclude about the genotoxic effect of prohibited and non-utilized pesticides on the body of sheep, which have a clastogenic, aneugenic, and mutagenic effect.

Key words: *sheep, pesticides, peripheral blood lymphocytes, chromosome aberrations, genomic mutations, cytogenetics*

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-48-62

Introduction

Modern Kazakhstan has great potential for the development of agriculture, as one of the aspects of the country's economic growth, being a major producer of agricultural products [1].

The development of this sector of the economy is impossible without the use of chemical plant and animal protection products. To increase the economic effect of agriculture for many millennia, mankind has used pesticides, the chemical composition of which varies in accordance with scientific achievements. Initially, the role of pesticides was mainly played by compounds of mercury and arsenic, with the help of which rice crops were protected [2], now they are mainly complex complexes of chemical compounds.

Analyzing the indicators of crop production in the Almaty region, it can be argued that the volume of pesticides applied in all categories [3], as well as the yield of crops such as potatoes, sugar beets, vegetables, grains, and oilseeds, has a steady growth trend over the past 10 years in this area [4].

Given the history of the use of pesticides to increase crop yields and the multiplicity of existing names of drugs, and there are currently more than 100,000 of them [5, p.248], it becomes difficult to create a unified classification of them.

However, such widespread use of pesticides (annually more than 3 million tons of pesticides are used in the world [6]) inevitably leads to environmental pollution, contributing to the ingress of not only the active substances themselves, but also their metabolic products, both in the soil and in water, having a direct negative impact not only on target organisms [7]. Many of them have a whole range of

negative effects on the body, including the ability to cause mutations [8], cancer [9]. The first publications on the study of the possible genotoxic effects of pesticides on animals and humans can be found in the 30s of the 20th centuries, when the mutagenic effects of chemicals were first discovered. And by the 70s, there have already been a lot of works studying the effects of a variety of chemicals that were widely used by humans in various fields of the national economy, including agriculture. Under the auspices of ICP EMC (International Commission for the Protection against Environmental Mutagens and Carcinogens) at the end of the 20th century, several works were published on the genotoxic effect of pesticides, for example, the effect of DDT on the appearance of chromosomal aberrations in bone marrow cells [10], mouse spermatocytes [11], the effects of dichlorvos on humans [12].

Most studies relate to the negative effects of chemicals on the human body, especially agricultural workers, farmers who are in direct contact with pesticides as a result of professional activities. For example, an increase in the frequency of chromosomal aberrations has been shown [13-17], which are often closely associated with an increased likelihood of malignant tumors.

In locations with a high level of chemical pollution, their effect on the human body is prevented by several factors (restrictions on the availability of contaminated territories, the use of imported products, countermeasures to reduce the pesticide content in agricultural products), but biota is negatively affected without restrictions. There are few studies devoted to the study of the genotoxicity of chemical plant protection products on mammals.

So, some scientists have demonstrated the ability of pesticides to cause damage to DNA molecules in the cells of mice and rats. In the study of animal cells using DNA comets, a significant excess of the DNA tail was obtained during cultivation under the conditions of treatment with pesticides such as chlorpyrifos [18, 19], penconazole [20], dimethoate, lambda-cyhalotrin [21], mancozeb [22], pendimethalin [23]. The latter, in addition to introducing double breaks in DNA, showed the ability to induce the formation of micronuclei in rat lymphocytes. Similar effects were found in pesticides such as acetamipride [24], imidacloprid [25], tebuconazole [26], and in the metabolite of many organophosphorus compounds - diethyldithiophosphate [27]. Some of these substances have a clastogenic effect, contributing to the emergence of different types of chromosomal aberrations.

According to published data [24], acetamipride can be attributed to such pesticides, which caused chromatid and isochromatid ruptures at high doses and prolonged exposure to mice, promoted the appearance of ring chromosomes, centromere ruptures, and increased the number of chromosomes in cells. Other authors [20] showed that chlorpyrifos and penconazole are also able to exert a genotoxic effect on mouse cells, which is expressed in an increase in the frequency of occurrence of not only the above-mentioned abnormalities, but also such as deletion and paired fragments. Collective studies by scientists from Slovakia [28-30] indicate the occurrence of aberrations of both chromosome and chromatid type in the case of treatment of cattle cell culture with thiacloprid.

All the above-mentioned effects of pesticides on mammalian cells have two common features that fundamentally distinguish them from our studies. Firstly, all the works presented were carried out using pesticides authorized for use in Kazakhstan; and secondly, by adding a certain dose of pesticides to the cell culture.

Since even authorized pesticides harm a living organism of any level of development, there is a need for state control over their introduction into agriculture. In this connection, by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated January 18, 2008 No. 29, to prevent environmental pollution and agricultural products, as well as the harmful effects of pesticides on human health and wildlife, it is forbidden to use highly toxic pesticides in the Republic of Kazakhstan that have pronounced cumulative, carcinogenic mutagenic, teratogenic, embryo- and gonadotoxic properties and the ability to accumulate in plants, soil and the aquatic environment.

According to the same regulatory document, "pesticides recognized as prohibited for use on the territory of the Republic of Kazakhstan or rendered unusable are subject to obligatory disposal or

destruction. In this case, the burial of prohibited drugs or their destruction is carried out at the expense of their owner" [31].

However, to date, in Kazakhstan, there is a large number of unauthorized places of accumulation of pesticides that are not utilized and banned for use, which permanently have a polluting effect on the environment, and negatively affect the viability of organisms.

According to the data of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, as of April 2014, the total number of obsolete pesticides stored at various facilities in Kazakhstan reached 1,617,637.75 kg and more than 169,660 containers under them. Compared to 2008 data, in 2014 the number of obsolete pesticides increased significantly, which may be due to the discovery of new sites with obsolete pesticides and containers from them [32].

There are data in the literature on the effects of pesticides such as fluopyram [26], ethion [33], fenpropilmorph [34], tolylfluanide [35-36], methyl parathion [37], fipronil [38-39]. All of them are not on the list of permitted for use on the territory of Kazakhstan, due to the fact that they significantly increase the amount of damage. They not only disrupt the structure and functioning of the cell, which is reflected in a decrease in the mitotic index and proliferation index, but also have a genotoxic effect, causing damage to the genetic material at different levels of its organization. The authors of such works showed the presence of double breaks in DNA, chromosomal aberrations, micronuclei in cells treated under cultured conditions with similar forbidden pesticides.

In the Almaty region, according to the inventory, there are unauthorized warehouses of pesticides, the use of which, at the moment, is legally prohibited in the republic. According to monitoring in 2010, near the village Belbulak more than 500 kg, and near the village Amangelds - more than 900 kg of a mixture of unused pesticides were found. Many of them are not labeled, and therefore their composition is unknown.

Another part of the chemicals stored in such places was identified as pesticides belonging to different groups [40]:

1. Organophosphorus - saifos (menazone), metaphos (methyl parathion)
2. Fluorine-containing - treflan (banned in 1996)
3. Derivatives of sym-triazine - atrazine, prot-razine, propazine, ziazine (banned in the world since 1994)
4. Organochlorine - nitrophenol (banned in the world since 1996), illoxan
5. Thiocar bamatnye - subject

Most pesticides from the list above are banned for use in Europe, the United States or the world since the mid-90s of the 20th century. That is, for about 20 years, these substances are not disposed of, and their metabolites continue to pollute the environment, spreading to nearby territories, exerting their detrimental effect on the biota that lives on such lands.

These warehouses are located in the areas adjacent to pasture lands, the total area of which in the Almaty region exceeds 5500 thousand hectares. Over the past 15 years, in this territory the number of sheep has increased to 3419.4 thousand animals, and the number of cattle has doubled. Contamination of pasture lands with forbidden and non-utilized pesticides and their decay products has a detrimental effect not only on the farm animal organisms, but also indirectly on the human body whose products they use.

In this regard, the study of the genotoxic effect of obsolete and non-utilized pesticides on the body of farm animals is very relevant. Moreover, to date there are publications on the study of the genotoxic effect of pesticides on living organisms, but they have been performed in vitro and using authorized and known pesticides. We worked with native blood of farm animals kept in close proximity to abandoned warehouses with prohibited and non-utilized pesticides.

Materials and research methods

Based on the chemical analysis of soil and water resources of the Almaty region, two experimental sites were identified - the Belbulak settlement and Amangeldy settlement in the most polluted Talgar region. The village Basshi in Kerbulak district was selected to be a control site. In each indicated location, blood was collected from sheep in sterile heparin tubes, with the participation of district veterinarians. Thus, biological material was obtained from 27 animals of both sexes and of different ages, in compliance with all requirements and without causing harm to animals.

Cell cultivation was carried out in the laboratory of the Institute of General Genetics and Cytology in Almaty by a standard method. Blood of test animals in a volume of 0.5 ml. was placed in a nutrient medium (4 ml.), prepared based on medium 199 (OO NPP PanEco) with the addition of 1 ml. calf serum (OO NPP "PanEco") and 0.2 ml. PHA (OO NPP "PanEco") and cultivated for 72 hours at a temperature of 37°C. At the 70th hour of incubation, to block cell division at the metaphase stage, 0.4 ml of colchicine solution was added. (OO NPP "PanEco").

After this time, the cells were centrifuged and hypotimized with a solution of 0.56% KCL for 20 minutes, and then fixed with Carnoy's solution (ethyl alcohol / glacial acetic acid 3: 1). Preparation of metaphase chromosome slides was carried out according to the generally accepted cytogenetic technique. The slides were encoded and stained according to Romanovsky-Giemsa (OO NPP PanEko). In total, 407 sheep chromosome slides were made (121 - Amangeldy, 146 - Belbulak, 140 - Basshi).

The results obtained were processed by traditional methods of variation statistics. Differences were regarded as significant at $p < 0.05$. Significance level (P) was determined using Student's t-test.

Results

The karyotype of sheep is represented by 54 chromosomes, 3 pairs of which are metacentric, the rest are acrocentric. Cytogenetic analysis of the obtained slides was carried out by counting the frequency of occurrence of chromosomal aberrations and genomic mutations (hypodiploidy, hyperploidy, polyploidy). In the course of the study, we found that the cells of sheep blood samples from the control site (Basshi) have a similar level of genetic disorders from the experimental sites (Amangeldy, Belbulak). In addition, the study of samples of soil, water, plants, showed a high level of contamination with prohibited and unused pesticides and heavy metals. According to the results of the chemical analysis of water, it was found that the samples of drinking and natural water from Amangeldy settlement contain 4.4 DDD (DDT metabolite) in concentrations of 0.0002-0.0003 $\mu\text{g} / \text{dm}^3$.

Chemical analysis of soils from monitoring points showed that in Amangeldy settlement there is an excess of MPC for the content of such pesticides as aldrin - 4.9 times; chlorobenzylate - 13.9 times; DDT - 12.4 times; DDE - 7.8 times; 4.4-DDD - 6.5 times; deldrin - 84.6 times; endrin - 859.5 times; heptachlorepoide - 2.5 times, for Cd - 1.7 times and for Cu - 1.6 times; in Belbulak settlement: exceeding the MPC for DDT - by 1.75 times; 4.4-DDD - 5.2 times; for deldrin - 18.8 times, for Cd - 2 times, and for Ni - 1.05 times [40].

In this regard, we decided to use as control data obtained in 2017 from animals living near the city of Usharal (Almaty region).

The cytogenetic analysis of 2683 metaphases (Fig. 1) showed that the frequency of cells with identified genomic mutations in the experimental sites reliably exceeds those from the control site on average 1.98 times (Belbulak settlement - 1.8, Amangeldy settlement - 2.16, and Basshi - 2). The frequency of occurrence of cells with hypodiploidy in a diploid set ranges from 68 to 70% at all experimental points. Hyperdiploidy occurs in 4.27% of the cells of experimental animals. Cells with a polyploid set of chromosomes were found in the range from 25.2% to 27.9% of the studied cells.

The frequency of chromosomal aberrations in the blood samples of experimental animals exceeds the corresponding indicator at the control point by 4.1 times on average (Belbulak settlement - 3.32, Amangeldy settlement - 4.75, and Basshi settlement - 4.23). Among cells with chromosomal aberrations, cells with terminal deletions of chromatids, gaps in the centromere region of chromosomes, various types of gaps in chromatids, pulverization of individual chromosomes in the metaphase plate were identified.

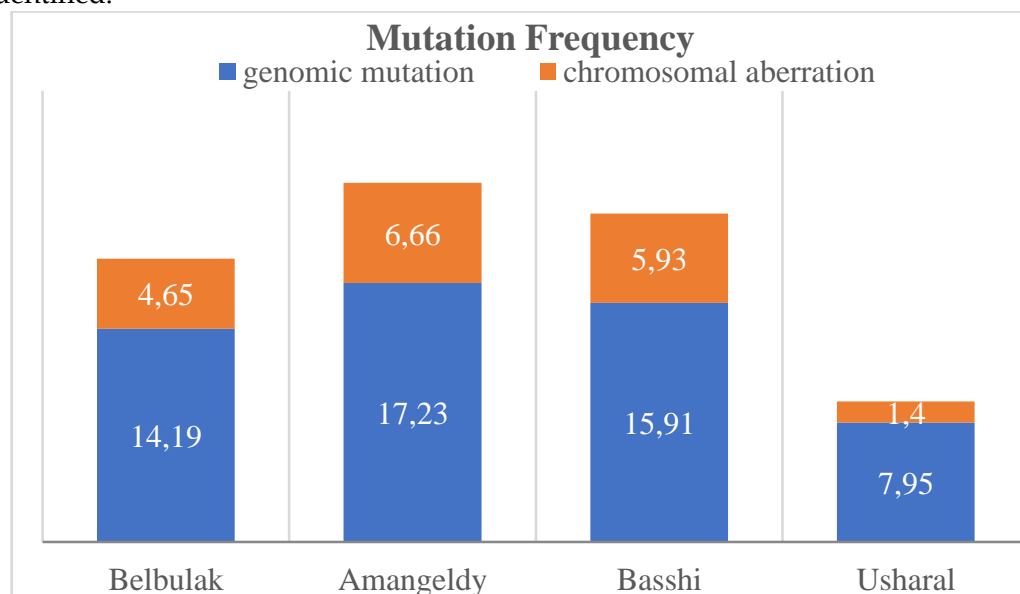


Figure 1. The frequency of occurrence in sheep of cells with genomic and chromosomal mutations at the experimental and control points of the Almaty region

An individual analysis of the cytogenetic parameters of experimental animals showed that cells with hypodiploidy are found in all sheep from three monitoring points with a frequency, with a variation from 6.6 to 15%. Cells with hyperdiploidy are found only in individual animals (for example, in 3 out of 7 sheep from Belbulak).

All three experimental sites have differences in the frequency of detection of cells with a polyploid set of chromosomes. So, polyploid cells were found in each animal from the site of Belbulak settlement, where the total frequency of such disorders is in the range from 2.5 to 6.79%. In the Amangeldy settlement, 50% of the animals had a similar deviation in more than 5% of the studied cells (the largest number was 8.82% in a three-year-old ewe). From the third monitoring site (Basshi), only 30% of the sheep showed the presence of a genetic disorder in the form of polyploidy, although its level was also high (more than 5%).

Chromosomal aberrations (Fig. 2) were identified in all studied animals kept in the studied territories, but their detection frequencies have individual variations. For example, in a sheep from Amangeldy (No. 7), the level of deviations exceeds the control animal by 7 times.

Thus, it is possible to calculate the total level of cytogenetic instability (A) of blood cells for each study area. This indicator includes the sum of the frequencies of cells with genomic mutations and chromosomal aberrations (Table 1).

As can be seen from table 1 and figure 1, the highest level of genetic instability was shown by sheep kept near Amangeldy. For a more complete analysis of the available data, we decided to split a single indicator A into two subgroups B and C.

Indicator B is a subtraction from indicator A of the number of cells with hypodiploidy. This is explained by the fact that the loss of one chromosome during the preparation of cytogenetic preparations is possible as a result of processing the cells with a hypotonic solution and fixative,

therefore its exclusion contributes to a more accurate determination of the genotoxic effect of the chemical constituents of pesticides.

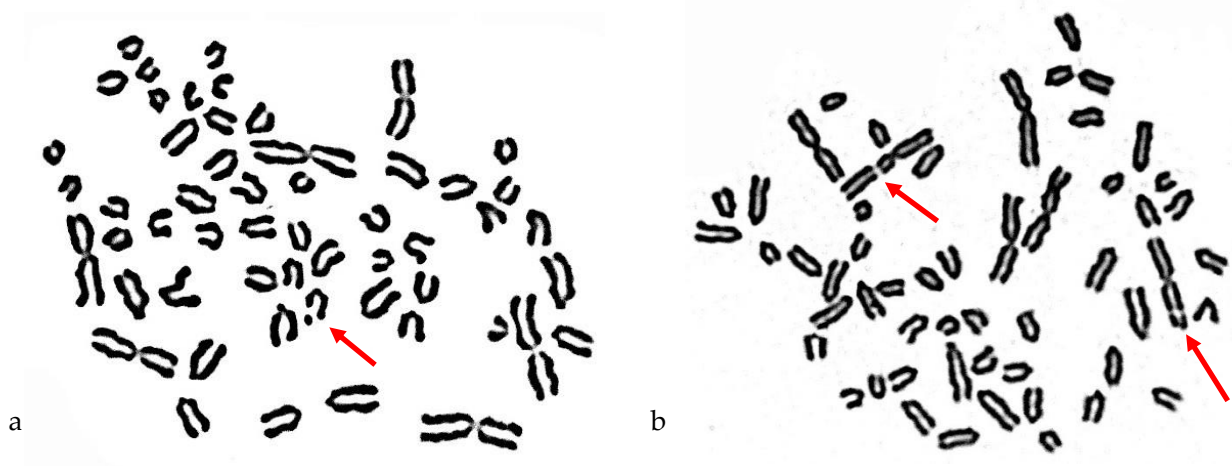


Figure 2. Metaphase cells of ewes from the point of Amangeldy (a - deletion in the acrocentric chromosome in animal No. 1; b - deletion in two chromatids of the metacentric chromosome (fragments are nearby) in animal No. 10)

Table 1

The level of cytogenetic instability of sheep blood cells from experimental and control points of the Almaty region

Monitoring points	Number of animals	Metaphases studied	General level of cytogenetic instability, %		
			A	B	C
Belbulak	7	626	18,85±1,47	8,88±1,03	5,07±0,62
Amangeldy	10	1017	23,90±1,94	12,16±1,18	7,25±0,74
Basshi	10	1040	21,85±0,83	10,58±0,91	6,57±0,65
Control (Usharal)	10	856	9,35±0,41	3,16±0,25	1,52±1,7

Notes

1- A - the general level of cytogenetic instability, taking into account cells with a hypodiploid, hyperdiploid and polyploid sets of chromosomes, as well as cells with chromosomal aberrations;

2- B - the level of cytogenetic instability, taking into account cells only with hyperdiploid and polyploid sets of chromosomes, as well as cells with chromosomal aberrations.

3- B - the level of cytogenetic instability, taking into account cells with only a hyperdiploid set of chromosomes and cells with chromosomal aberrations.

Hyperdiploidy cannot be explained by artifacts that occur during the preparation of slides, since the chromosomes of each metaphase plate have individual characteristics of spiralization and color, so the probability of erroneous accounting for an extra chromosome is impossible. Therefore, it becomes necessary to form, from the indicator of general cytogenetic instability, A, another indicator, C, which is the sum of the frequencies of cells with only a hyperdiploid set and cells with chromosomal aberrations.

Such a detailing of the indicator of total genomic stability allows us to trace, due to which chromosomal abnormalities, an increase in the genotoxic effect on the organism of sheep, which are contained in grazing areas, which are located near old, abandoned pesticide warehouses, occurs.

The study analyzed the frequency of occurrence of genetic disorders in animals of different ages and sex. According to the results obtained, a high level of genomic mutations and chromosomal aberrations were registered in sheep of different ages. So, for example, the highest level of cells with a polyploid set of chromosomes was found both in the one-year-old bright (animal No. 4, Belbulak village - 6.79%) and three-year-old ewes (animal No. 7, Amangeldy village - 8.82%). The same cytogenetic picture is observed in the analysis of cells with chromosomal aberrations. In a one-year-old bright (animal No. 6, Belbulak settlement) of the analyzed cells, 7.0% were with chromosome aberrations, and in a three-year-old ewe (animal No. 7, Amangeldy settlement) - 9.8%. The lowest level of cells with chromosomal aberrations was recorded in a three-year-old ewe (animal No. 10 - 2.80%) from the area of Belbulak, and the highest in a three-year-old ewe (animal No. 3 - 9.8%) from the area of Amangeldy.

Discussion

It is known that studying the frequency of cells with genomic mutations and chromosomal aberrations is a widely used method for determining the genotoxic effect of chemicals on a living organism. We studied blood samples of 27 sheep contained in the territory of three monitoring sites of the Almaty region, contaminated with the chemical components of banned and non-utilized pesticides, which were stored in abandoned warehouses. A comprehensive analysis of metaphase plates was carried out, the total number of which was 2683, in which such disorders as hypodiploidy, hyperdiploidy, polyploidy, chromosomal aberrations were identified. Three indicators were calculated that exhaustively characterize the contribution of each of the disturbances to the overall level of cytogenetic instability of animal cells.

In our studies, polyploid sets of chromosomes were found in the cells of all experimental animals. The appearance of such a deviation can be considered as a protective mechanism of the cell, developed during evolution and aimed at eliminating from the population of those cells in which unbalanced damage to the genome occurred. There is also evidence that such polyploid cells are actively involved in the processes of restoration of the structure of organs during radiation damage to the body. Therefore, the increased frequency of such cells in the population of mouse-like rodents living under conditions of high levels of radiation exposure is defined as a pre-pathological state, in connection with which, such territories are considered to be zones of high genotoxic hazard for animals and humans [41-42].

Analysis of the data showed that cells with chromosomal aberrations were detected in the blood system of all animals. This indicator varies from 2.8% (sheep No. 10 from the village of Belbulak) to 9.8% (sheep No. 3 from the village of Amangeldy).

Literature sources [43] indicate that the appearance of cytogenetic disorders is caused by the blocking of the mitotic apparatus in the cell, which can be caused by some types of pesticides that have a mitostatic effect and contribute to the specific arrangement of cell chromosomes on the periphery in the form of a circle or widespread of chromosomes over the entire cell area. We have identified the same phenomena in experimental animals. Pesticides inhibit the formation of the fission spindle and disrupt the cytokinesis process, which leads to the formation of cells with chromosomal abnormalities.

When studying the environment near old storages of the Almaty region, DDT metabolites in doses exceeding the permissible limits were identified in soil and water. In the soil, an excess of the MPC of copper was also found, and in water - cadmium by 2-3 times in different studied areas. Analysis of vegetables and fruits grown near the studied territories was carried out, which showed an excess in them of residues of pesticides such as endosulfan, DDT, aldrin, and deldrin.

As part of the study of the state of healthy living at these points, it was revealed that the population of Belbulak and Amangeldy, exposed to acute pesticide exposure, has an excess of low health indicators by 35.5%, this is expressed in more pronounced aging of the body, muscle deficiency. (25-30% less than normal), water deficiency in the body in the range from 10 to 15% and bone tissue (10% less than normal), a decrease in cognitive abilities (a significant decrease in working capacity, with a characteristic predominance of inhibitory reactions in the central nervous system, the development of fatigue and asthenization of the body).

The state of cytogenetic indicators of people living in these settlements was also studied. An increased level of the frequency of chromosomal aberrations is characteristic of 43% of the Belbulak cohort, 56% of the Amangeldy cohort, and 18% of the Basshi cohort. The highest level of chromosomal aberrations was demonstrated by the surveyed residents of Belbulak settlement, the proportion of people with a high level of aberrations was 38% [40].

Conclusion

Thus, the high level of abnormalities in the number and structure of chromosomes in the blood cells of experimental animals that we have revealed indicates that unused and banned pesticides have a genotoxic effect on the body of sheep contained in these three monitoring sites. Thus, in meat and milk produced in the studied territories, multiple excesses of the MPC of pesticides, such as α -HCH, β HCH, γ -HCH, δ -HCH, endosulfan 1, DDT, DDE, DDD, 2,4-DDD, deldrin, chlordane, chlorobenzylate, endrin, endosulfan 2, endosulfan sulfate, methoxychlor, hexabromobenzene was found. Exceeding the MPC for heavy metals can also contribute to the formation of genetic disorders, in addition to the effect of pesticides. It is difficult to separate the influence of these two factors [40]. Therefore, accumulating in the tissues of farm animals, these substances, through products of animal origin, along the food chain, enter the human body. People living in these settlements of the Almaty region are even more affected by unused and banned pesticides.

References

1. Экспресс-информация. Валовый выпуск продукции (услуг) сельского, лесного и рыбного хозяйства в Республике Казахстан в январе-декабре 2019 года. № 36-5/29 14 января 2020 г. [Электрон. ресурс]. -2020. -URL: <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6> (дата обращения: 13.05.2020).
2. Peshin R. Economic benefits of pest management. In D. Pimentel (Ed.) Encyclopedia of Pest Management. - Boca Raton-London-New York: CRC Press. -2007. -728 p.
3. F-4 Внесение пестицидов. [Электрон. ресурс]. -2020. URL: <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6> (дата обращения: 13.05.2020).
4. Урожайность [Электрон. ресурс]. -2020. URL: <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6> (дата обращения: 13.05.2020).
5. Швайкова М.Д. Токсикологическая химия. - М.: Медицина. -1975. -376 с.
6. Durmuşoğlu, E., Tiryaki, O., Canhilal, R. Pesticide use in Turkey Ruins and durability problems.// 7th Turkey Agricultural Engineering Technical Congress, Ankara, 2010. P. 589-607.
7. Joy V.C., Pramanik R., Sarkar K. Biomonitoring insecticide pollution using non-target soil microarthropods.// Journal of Environmental Biology. -2005. -Vol. 26, No 3, -P. 571-577.
8. Абилев С. К., Глазер В. М. Генетическая токсикология: итоги и проблемы// Генетика. - 2013. -Т.49. № 1. -С. 81-93.

9. Chiu BC, Blair A. Pesticides, chromosomal aberrations, and non-Hodgkin's lymphoma.// *Agromedicine*. - 2009. Vol. 14, No 2, - P. 250-255. DOI: 10.1080/10599240902773140.
10. Larsen K.D., Jalal S.M. DDT induced chromosome mutations in mice - further testing.// *Canadian Journal of Genetics and Cytology*. - 1974. Vol. 16, No 3, - P. 491-497. DOI: 10.1139/g74-055.
11. Clark J.M. Mutagenicity of DDT in mice, *Drosophila melanogaster* and *Neurospora crassa*.// *Australian Journal of Biological Sciences*. - 1974. Vol. 27, No 4, - P. 427-440. DOI: 10.1071/bi9740427 .
12. Demirhan O., Akbaba M., Çelik S., Uslu N., Çetinel N., et al. Chromosomal Aberrations in agricultural farmers exposed to pesticides // *Advances in Toxicology and Toxic Effects*. - 2019. Vol. 3, No 1, - P. 015-022. DOI: [https://dx.DOI.org/10.17352/atte.000005](https://dx.doi.org/10.17352/atte.000005).
13. Ramel C., Drake J., Sugimura T. An evaluation of the genetic toxicity of dichlorvos.// *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*. - 1980. Vol. 76., P. 297-309.
14. Lander B.F., Knudsen L.E., Gamborg M.O., Järventaus H., Norppa H. Chromosome aberrations in pesticide-exposed greenhouse workers.// *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. -2000. -Vol. 26, No 5, -P. 436-442. DOI:10.5271/sjweh.565.
15. Perumalla Venkata R, Rahman MF, Mahboob M, et al. Assessment of genotoxicity in female agricultural workers exposed to pesticides// *Biomarkers*. -2017. -Vol. 22, No 5, -P. 446-454. DOI: 10.1080/1354750X.2016.1252954.
16. Hutter HP, Khan AW, Lemmerer K, Wallner P, Kundi M, Moshhammer H. Cytotoxic and Genotoxic Effects of Pesticide Exposure in Male Coffee Farmworkers of the Jarabacoa Region, Dominican Republic// *International Journal of Environmental Research and Public Health*. -2018. Vol. 15, No 86, -P. 1641. DOI:10.3390/ijerph15081641.
17. Bianco, G.E., Suarez, E., Cazon, L. et al. Prevalence of chromosomal aberrations in Argentinean agricultural workers. // *Environmental Science and Pollution Research*. -2017. -Vol. 24, - P. 21146-21152. DOI:10.1007/s11356-017-9664-3.
18. Yahia D, Ali M.F. Assessment of neurohepatic DNA damage in male Sprague-Dawley rats exposed to organophosphates and pyrethroid insecticides// *Environmental Science and Pollution Research*. -2018. -Vol. 25, No 16, -P. 15616-15629. DOI: 10.1007/s11356-018-1776-x.
19. Kopjar N., Žunec S., Mendaš G., et al. Evaluation of chlorpyrifos toxicity through a 28-day study: Cholinesterase activity, oxidative stress responses, parent compound/metabolite levels, and primary DNA damage in blood and brain tissue of adult male Wistar rats// *Chemico-Biological Interactions*. - 2018. -Vol. 279, -P. 51-63. DOI: 10.1016/j.cbi.2017.10.029.
20. Doha Yahia, Marwa F. Ali. Cytogenetic and genotoxic effects of penconazole and chlorpyrifos pesticides in bone marrow of rats// *Journal of Advanced Veterinary Research*. - 2019. - Vol. 9, No 2, -P. 29-38.
21. Doha Yahia, Marwa F. Ali, Doaa S. Abd El-Maguid. Estimation of Bone Marrow DNA Damage Induced by Lambda cyhalothrin and Dimethoate Insecticides using Alkaline Comet Assay// *Journal of Advanced Veterinary Research*. -2019. -Vol. 9, No 1, -P. 23-28.
22. Saber T.M., Abo-Elmaaty A.M.A, Abdel-Ghany H.M. Curcumin mitigates mancozeb-induced hepatotoxicity and genotoxicity in rats// *Ecotoxicology and Environmental Safety*. -2019. -Vol. 183, -P. 109467. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109467.
23. Ansari S.M., Saquib Q., Attia S.M., et al. Pendimethalin induces oxidative stress, DNA damage, and mitochondrial dysfunction to trigger apoptosis in human lymphocytes and rat bone-marrow cells// *Histochemistry and Cell Biology*. -2018, -Vol. 149, No 2, -P. 127-141. DOI: 10.1007/s00418-017-1622-0.
24. Bagri P., Jain S. K. Assessment of acetamiprid-induced genotoxic effects in bone marrow cells of Swiss albino male mice// *Drug and Chemical Toxicology*. -2018. -Vol. 42, No 4, -P. 357-363.
25. Stivaktakis P.D., Kavvalakis M.P., Tzatzarakis M.N., et al. Long-term exposure of rabbits to imidacloprid as quantified in blood induces genotoxic effect// *Chemosphere*. -2016. -Vol. 149, -P. 108-113. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.040.

26. Çelik A., Güler G., Aktaş C., Yalin S. Genotoxic action of Luna Experience-SC 400 fungicide on rat bone marrow// *Biomarkers*. -2019. -Vol. 24, No 7, -P.720-725. DOI:10.1080/1354750X.2019.1658804.
27. Medina-Buelvas D., Estrada-Muñiz E., Flores-Valadez M., Vega L. Genotoxic and immunotoxic effects of the organophosphate metabolite diethyldithiophosphate (DEDTP) in Vivo// *Toxicology and Applied Pharmacology*. - 2019. -Vol. 366, -P. 96-103. DOI: 10.1016/j.taap.2019.01.023.
28. Galdíková M., Holečková B., Šivíková K., Schwarzbacherová V., Koleničová S. Evaluating the genotoxic damage in bovine whole blood cells in vitro after exposure to thiacloprid// *Toxicology in Vitro*. -2019. -Vol. 61, -P. 104- 616. DOI: 10.1016/j.tiv.2019.104616.
29. Schwarzbacherová V., Wnuk M., Deregowaska A., Holečková B., Lewinska A. In vitro exposure to thiacloprid-based insecticide formulation promotes oxidative stress, apoptosis and genetic instability in bovine lymphocytes// *Toxicology in Vitro*. -2019. -Vol. 61, -P. 104654. DOI: 10.1016/j.tiv.2019.104654.
30. Galdíková M., Šivíková K., Holečková B., Dianovský J., Drážovská M., Schwarzbacherová V. The effect of thiacloprid formulation on DNA/chromosome damage and changes in GST activity in bovine peripheral lymphocytes// *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. -2015. -Vol. 50, No 10, -P. 689-707. DOI: 10.1080/03601234.2015.1048102.
31. Постановление Правительства Республики Казахстан от 18 января 2008 года № 29 «О запрещении использования в Республике Казахстан экологически вредных пестицидов и порядке их захоронения».
32. Результаты инвентаризации непреднамеренно образующихся и новых стойких органических загрязнителей в Казахстане. [Электрон. ресурс]. -2017. - URL:<http://iacoos.gov.kz/wp-content/uploads/2017/08/2017-08-23.pdf>.
33. Verma G., Mukhopadhyay C.S., Verma R., Singh B., Sethi R.S. Long-term exposures to ethion and endotoxin cause lung inflammation and induce genotoxicity in mice // *Cell and Tissue Research*. -2019, -Vol. 375, No 2, -P. 493-505. DOI: 10.1007/s00441-018-2912-0.
34. Drážovská M., Šivíková K., Holečková B., Dianovský J., Galdíková M., Schwarzbacherová V. Evaluation of potential genotoxic/cytotoxic effects induced by epoxiconazole and fenpropimorph-based fungicide in bovine lymphocytes in vitro// *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. -2016. Vol. 51, No 11, -P. 769-776. DOI: 10.1080/03601234.2016.1198643.
35. Šivíková K., Dianovsky J., Holečková B. Induction of SCEs and DNA fragmentation in bovine peripheral lymphocytes by in vitro exposure to tolylfluanid-based fungicide// *Genetics and Molecular Biology*. -2011. -Vol. 34, No 1, -P. 110-115. DOI: 10.1590/S1415-47572010005000097.
36. Sutiaková I., Kovalkovicová N., Pistl J., et al. Chromosomal aberrations and frequency of micronuclei in sheep subchronically exposed to the fungicide Euparen Multi (tolylfluanid)// *Ecotoxicol Environ Saf*. -2006. -Vol. 64, No 3, -P. 312-320. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2005.04.011.
37. Mathew, J., Thoppil, John. Genotoxicity of methyl parathion and antimutagenic activity of *Salvia Officinalis* L. (Sage) extracts in Swiss albino mice// *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. -2012. -Vol. 5, -P. 164-170.
38. Ловинская А.В., Колумбаева С. Ж., Коломиец О. Л., Абилев С. К. Генотоксическое действие пестицида фипронила на соматические и генеративные клетки мышей// *Генетика*. -2016. -Т. 52. № 5. -С. 561-568.
39. Бегимбетова Д.А., Колумбаева С.Ж., Бланшо Э., Ловинская А.В. Изучение содержания фипронил-сульфона в тканях крыс при остром и подостром воздействии// *Вестник Казну. Серия экологическая*. -2009. -Т. 1. № 24. -С. 59-64.

40. Research report "Comprehensive assessment of the impact of unused and banned pesticides on the genetic status and health of the population of the Almaty region" (interim), state registration No. 0118RK00749, - 2019.

41. Рябоконь Н.И. Биологические эффекты в природных популяциях мелких грызунов на территориях, загрязненных радионуклидами. Частота полиплоидных клеток костного мозга у рыжей полевки в разные годы после Чернобыльской катастрофы// Радиационная биология. Радиоэкология. -1999. -Т. 39. №6. -С. 613-618.

42. Восстановительные процессы при радиационных поражениях. / Сб. статей под ред. Н.А. Краевского, А.В. Лебединского. -Москва: Атомиздат. -1964. -244 с.

43. Левицкий Е.Л., Марченко А.Н., Губский Ю.И. Механизмы генотоксичности фосфорорганических соединений// Современные проблемы токсикологии. -1998. -№1. -С. 47-50.

**Р.Ж. Жапбасов¹, А.А. Корнилова², А.М. Жомартов¹, К.Ж. Досыбаев¹,
Л.Б. Джансугурова¹, Б.О.Бекманов¹**

1. Жалпы генетика және цитология институты, Алматы, Қазақстан

2. Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Алматы облысының жойылмаған және тыйым салынған пестицидтермен ластанған аумағында ұсталатын қойлардың цитогенетикалық бұзылулары

Аңдатпа: Мақалада Алматы облысының аумағындағы елді мекендерде орналасқан тыйым салынған және жойылмаған пестицидтердің қоймалары бар жерлерде өсірілетін ауыл шаруашылық малдарына осы пестицидтердің генотоксикалық әсерлері зерттелді. Үш мониторингтік нүктелерден 27 қойдың қан үлгілеріндегі жеке жасушаларда геномдық мутациялар мен хромосомдық аберрациялардың болуына талдау жүргізілді. Жасушаларды өсіру және препараттарды дайындау стандартты цитогенетикалық әдістермен жүргізілді.

Жануарлардың эксперименталды топтарының қан жүйесінде геномдық мутациялардың туындау жиілігін бақылау тобында орташа есеппен 1,98 есе, ал хромосомдық аберрациялар - 4,1 есе артты. Гиподиплоидты жасушалардың үлесі геномдық мутациялардың жалпы санының 70% құрады. Полиплоидия - 27,9% дейін, ал гипердиплоидия жеке жасушаларда кездесті. Жалпы цитогенетикалық тұрақсыздық көрсеткіштерін есептеу гипердиплоидия мен хромосомдық аберрация осы көрсеткіштің негізгі компоненттері болып табылатынын көрсетті, ол орташа есеппен үш мониторингтік учаскелер бойынша бақылау деректерінен 4,14 есе асып түсті. Деректерді статистикалық өңдеу қой ағзасына тыйым салынған және жойылмаған пестицидтердің кластогенді, анеогенді және мутагенді жағынан әсер ететінін көрсетті.

Түйін сөздер: қойлар, пестицидтер, перифериялық қанның лимфоциттері, хромосомдық аберрациялар, геномдық мутациялар, цитогенетика.

**Р.Ж. Жапбасов¹, А.А. Корнилова², А.М. Жомартов¹, К.Ж. Досыбаев¹,
Л.Б. Джансугурова¹, Б.О.Бекманов¹**

¹Институт общей генетики и цитологии, Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Цитогенетические нарушения у овец, содержащихся на территории Алматинской области, загрязненной неутилизированными и запрещенными пестицидами

Аннотация. На территории Алматинской области имеются склады с запрещенными и неутилизированными пестицидами, активные вещества и метаболиты которых загрязняют пастбища сельскохозяйственных животных, располагающихся рядом. Был проведен анализ образцов крови 27 овец с трех мониторинговых точек Алматинской области на предмет наличия геномных мутаций и хромосомных aberrаций. Культивирование клеток и приготовление препаратов производилось стандартными цитогенетическими методиками.

Частота возникновения геномных мутаций в системе крови экспериментальных групп животных превысила аналогичный показатель в контрольной группе в среднем в 1,98 раз, а хромосомных aberrаций - в 4,1 раза. Доля гиподиплоидных клеток составила 70% от общего количества геномных мутаций. На полиплоидию пришлось до 27,9%, а гипердиплоидия встречалась в единичных клетках. Расчет показателей общей цитогенетической нестабильности показал, что гипердиплоидия и хромосомные aberrации являются основными компонентами данного показателя, который, в среднем по трем мониторинговым участкам, превысил контрольные данные в 4,14 раз. Статистическая обработка данных позволяет сделать вывод о генотоксическом действии запрещенных и неутилизированных пестицидов на организм овец, которые оказывают кластогенный, анеугенный и мутагенный эффект.

Ключевые слова: овцы, пестициды, лимфоциты периферической крови, хромосомные aberrации, геномные мутации, цитогенетика.

References

1. Ekspres-informaciya. [Express information]. Valovyj vypusk produkcii (uslug) sel'skogo, lesnogo i rybnogo hozyajstva v Respublike Kazahstan v yanvare-dekabre 2019 goda. [Gross output of products (services) of agriculture, forestry and fisheries in the Republic of Kazakhstan in January-December 2019]. [Electronic resource]. Available at: <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6> (Accessed: 13.05.2020) [in Russian].
2. Peshin R. Economic benefits of pest management. In D. Pimentel (Ed.) Encyclopedia of Pest Management. (CRC Press., Boca Raton-London-New York, 2007, 728 p.)
3. F-4 Vnesenie pesticidov [F-4 Pesticide Application] [Electronic resource]. Available at: <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6> (Accessed: 13.05.2020) [in Russian].
4. Urozhajnost' [Yield] [Electronic resource]. Available at: <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6> (Accessed: 13.05.2020)
5. SHvajkova M.D. Toksikologicheskaya himiya [Toxicological chemistry] (Medicina, Moskva, 1975, 376 p.) [in Russian].
6. Durmusoglu, E., Tiryaki, O., Canhilal, R. Pesticide use in Turkey Ruins and durability problems. 7th Turkey Agricultural Engineering Technical Congress. Ankara, 2010. P. 589-607.
7. Joy V.C., Pramanik R., Sarkar K. Biomonitoring insecticide pollution using non-target soil microarthropods. Journal of Environmental Biology. 26(3), 571-577 (2005).
8. Abilev S. K., Glazer V. M. Geneticheskaya toksikologiya: itogi i problemy [Genetic toxicology: results and problems], Genetika [Genetics], 49(1), 81-93 (2013) [in Russian].

9. Chiu BC, Blair A. Pesticides, chromosomal aberrations, and non-Hodgkin's lymphoma. *Agromedicine*. 14(2), 250-255 (2009). DOI:10.1080/10599240902773140.
10. Larsen K.D., Jalal S.M. DDT induced chromosome mutations in mice - further testing. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*. 16(3), 491-497 (1974). DOI:10.1139/g74-055.
11. Clark J.M. Mutagenicity of DDT in mice, *Drosophila melanogaster* and *Neurospora crassa*. *Australian Journal of Biological Sciences*. 27(4), 427-440 (1974). DOI:10.1071/bi9740427.
12. Demirhan O., Akbaba M., Çelik S., Uslu N., Çetinel N., et al. Chromosomal Aberrations in agricultural farmers exposed to pesticides. *Advances in Toxicology and Toxic Effects*. 3(1), 15-22 (2019). DOI: <https://dx.DOI.org/10.17352/atte.000005>.
13. Ramel C., Drake J., Sugimura T. An evaluation of the genetic toxicity of dichlorvos. *Mutation Research. Reviews in Genetic Toxicology*. 76, 297-309 (1980).
14. Lander B.F., Knudsen L.E., Gamborg M.O., Järventaus H., Norppa H. Chromosome aberrations in pesticide-exposed greenhouse workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 26(5), 436-442 (2000). DOI:10.5271/sjweh.565
15. Perumalla Venkata R, Rahman MF, Mahboob M, et al. Assessment of genotoxicity in female agricultural workers exposed to pesticides. *Biomarkers*. 22(5), 446-454 (2017). DOI:10.1080/1354750X.2016.1252954
16. Hutter H.P., Khan A.W., Lemmerer K., Wallner P., Kundi M., Moshhammer H. Cytotoxic and Genotoxic Effects of Pesticide Exposure in Male Coffee Farmworkers of the Jarabacoa Region, Dominican Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(86), 1641 (2018). DOI:10.3390/ijerph15081641
17. Bianco G.E., Suarez E., Cazon L. et al. Prevalence of chromosomal aberrations in Argentinean agricultural workers. *Environmental Science and Pollution Research*. 24, 21146-21152 (2017). DOI:10.1007/s11356-017-9664-3
18. Yahia D, Ali M.F. Assessment of neurohepatic DNA damage in male Sprague-Dawley rats exposed to organophosphates and pyrethroid insecticides. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(16), 15616-15629 (2018). DOI:10.1007/s11356-018-1776-x.
19. Kopjar N., Žunec S., Mendaš G., et al. Evaluation of chlorpyrifos toxicity through a 28-day study: Cholinesterase activity, oxidative stress responses, parent compound/metabolite levels, and primary DNA damage in blood and brain tissue of adult male Wistar rats. *Chemico-Biological Interactions*. 279, 51-63 (2018). DOI:10.1016/j.cbi.2017.10.029.
20. Doha Yahia, Marwa F. Ali. Cytogenetic and genotoxic effects of penconazole and chlorpyrifos pesticides in bone marrow of rats. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 9(2), 29-38 (2019).
21. Doha Yahia, Marwa F. Ali, Doaa S. Abd El-Maguid. Estimation of Bone Marrow DNA Damage Induced by Lambda cyhalothrin and Dimethoate Insecticides using Alkaline Comet Assay. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 9(1), 23-28 (2019).
22. Saber T.M., Abo-Elmaaty A.M.A, Abdel-Ghany H.M. Curcumin mitigates mancozeb-induced hepatotoxicity and genotoxicity in rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 183, 109-467 (2019). DOI:10.1016/j.ecoenv.2019.109467.
23. Ansari S.M., Saquib Q., Attia S.M., et al. Pendimethalin induces oxidative stress, DNA damage, and mitochondrial dysfunction to trigger apoptosis in human lymphocytes and rat bone-marrow cells. *Histochemistry and Cell Biology*. 149(2), 127-141 (2018). DOI:10.1007/s00418-017-1622-0.
24. Bagri P., Jain S. K. Assessment of acetamiprid-induced genotoxic effects in bone marrow cells of Swiss albino male mice. *Drug and Chemical Toxicology*. 42(4), 357-363 (2018).
25. Stivaktakis P.D., Kavvalakis M.P., Tzatzarakis M.N., et al. Long-term exposure of rabbits to imidacloprid as quantified in blood induces genotoxic effect. *Chemosphere*. 149, 108-113 (2016). DOI:10.1016/j.chemosphere.2016.01.040.

26. Çelik A., Güler G., Aktaş C., Yalin S. Genotoxic action of Luna Experience-SC 400 fungicide on rat bone marrow. *Biomarkers*. 24(7), 720-725 (2019). DOI:10.1080/1354750X.2019.1658804
27. Medina-Buelvas D., Estrada-Muñiz E., Flores-Valadez M., Vega L. Genotoxic and immunotoxic effects of the organophosphate metabolite diethyldithiophosphate (DEDTP) in Vivo. *Toxicology and Applied Pharmacology* 366, 96-103 (2019). DOI:10.1016/j.taap.2019.01.023.
28. Galdíková M., Holečková B., Šivíková K., Schwarzbacherová V., Koleničová S. Evaluating the genotoxic damage in bovine whole blood cells in vitro after exposure to thiacloprid. *Toxicology in Vitro*. 61, 104-616 (2019). DOI:10.1016/j.tiv.2019.104616.
29. Schwarzbacherová V., Wnuk M., Deregowaska A., Holečková B., Lewinska A. In vitro exposure to thiacloprid-based insecticide formulation promotes oxidative stress, apoptosis and genetic instability in bovine lymphocytes. *Toxicology in Vitro*. 61, 104-654 (2019). DOI:10.1016/j.tiv.2019.104654.
30. Galdíková M., Šivíková K., Holečková B., Dianovský J., Drážovská M., Schwarzbacherová V. The effect of thiacloprid formulation on DNA/chromosome damage and changes in GST activity in bovine peripheral lymphocytes. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 50(10), 689-707 (2015). DOI:10.1080/03601234.2015.1048102.
31. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 18 yanvarya 2008 goda № 29 «O zapreshchenii ispol'zovaniya v Respublike Kazahstan ekologicheskii vrednykh pesticidov i poryadke ih zahoroneniya» [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated January 18, 2008 No. 29 "On the prohibition of the use of environmentally harmful pesticides in the Republic of Kazakhstan and the procedure for their burial"] [in Russian].
32. Rezul'taty inventarizatsii neprednameremno obrazuyushchihsiya i novykh stojkih organicheskikh zagryaznitelej v Kazahstane [Results of the inventory of unintentionally generated and new persistent organic pollutants in Kazakhstan] [Electronic resource]. Available at: <http://iacoos.gov.kz/wp-content/uploads/2017/08/2017-08-23.pdf> (Accessed: 13.05.2020) [in Russian].
33. Verma G., Mukhopadhyay C.S., Verma R., Singh B., Sethi R.S. Long-term exposures to ethion and endotoxin cause lung inflammation and induce genotoxicity in mice. *Cell and Tissue Research*. 375(2), 493-505 (2019). DOI:10.1007/s00441-018-2912-0.
34. Drážovská M., Šivíková K., Holečková B., Dianovský J., Galdíková M., Schwarzbacherová V. Evaluation of potential genotoxic/cytotoxic effects induced by epoxiconazole and fenpropimorph-based fungicide in bovine lymphocytes in vitro. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 51(11), 769-776. (2016). DOI:10.1080/03601234.2016.1198643.
35. Šivíková K., Dianovsky J., Holečková B. Induction of SCEs and DNA fragmentation in bovine peripheral lymphocytes by in vitro exposure to tolylfluanid-based fungicide. *Genetics and Molecular Biology*. 34(1), 110-115 (2011). DOI:10.1590/S1415-47572010005000097.
36. Sutiaková I., Kovalkovicová N., Pistl J., et al. Chromosomal aberrations and frequency of micronuclei in sheep subchronically exposed to the fungicide Euparen Multi (tolylfluanid). *Ecotoxicol Environ Saf*. 64(3), 312-320 (2006). DOI:10.1016/j.ecoenv.2005.04.011.
37. Mathew, J., Thoppil, John. Genotoxicity of methyl parathion and antimutagenic activity of *Salvia Officinalis* L. (Sage) extracts in Swiss albino mice. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 5, 164-170 (2012).
38. Lovinskaya A.V., Kolumbaeva S. ZH., Kolomic O. L., Abilev S. K. Genotoksicheskoe dejstvie pesticida fipronila na somaticheskie i generativnye kletki myshej [Genotoxic effect of the pesticide fipronil on somatic and generative cells of mice] *Genetika* [Genetics]. 5(52), 561-568 (2016) [in Russian].
39. Begimbetova D.A., Kolumbaeva S.ZH., Blansho E., Lovinskaya A.V. Izuchenie sodержaniya fipronil-sul'fona v tkanyah krysa pri ostrom i podostrom vozdejstvii [Study of the content of fipronil sulfone in the tissues of rats with acute and subacute exposure] *Vestnik Kaznu. Seriya*

ekologicheskaya [Bulletin of Kaznu. The series is ecological]. 1(24), 59-64 (2009) [in Russian].

40. Research report "Comprehensive assessment of the impact of unused and banned pesticides on the genetic status and health of the population of the Almaty region" (interim), state registration No. 0118RK00749, 2019.

41. Ryabokon' N.I. Biologicheskie efekty v prirodnyh populyaciyah melkih gryzunov na territoriyah, zagryaznennyh radionuklidami. CHastota poliploidnyh kletok kostnogo mozga u ryzhej polevki v raznye gody posle CHernobyl'skoj katastrofy [Biological effects in natural populations of small rodents in areas contaminated with radionuclides. The frequency of polyploid bone marrow cells in the bank vole in different years after the Chernobyl disaster] Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya [Radiation biology. Radioecology.] 6(39), 613-618 (1999) [in Russian].

42. Vosstanovitel'nye processy pri radiacionnyh porazheniyah [Recovery processes in radiation injuries] Sb. statej pod red. N.A. Kraevskogo, A.V. Lebedinskogo [Collection of articles edited by N.A. Kraevsky, A.V. Lebedinsky] (Atomizdat, Moskva, 1999, 244 p.) [in Russian].

43. Levickij E.L., Marchenko A.N., Gubskij YU.I. Mekhanizmy genotoksichnosti fosfororganicheskikh soedinenij [Mechanisms of genotoxicity of organophosphorus compounds] Sovremennye problemy toksikologii [Modern problems of toxicology]. 1, 47-50 (1998) [in Russian].

Information about the authors:

Жанбасов Р.Ж. - биология ғылымдарының докторы, Жалпы генетика және цитология институтының бас ғылыми қызметкері, Әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан.

Корнилова А.А. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің докторанты, Сатапаев көшесі 2, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Жомартов А.М. - ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Жалпы генетика және цитология институтының аға ғылыми қызметкері, Әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан. E-mail: zh.arman@list.ru.

Досыбаев К.Ж. - Жалпы генетика және цитология институтының кіші ғылыми қызметкері, Әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан.

Джансугурова Л.Б. - биология ғылымдарының кандидаты, Жалпы генетика және цитология институтының бас директоры, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан.

Бекманов Б.О. - биология ғылымдарының кандидаты, Жалпы генетика және цитология институты бас директорының орынбасары, Әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан.

Zhapbasov R.Zh. - Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Institute of General Genetics and Cytology, 93 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan.

Kornilova A.A. - Doctoral student of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satapayeva str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Zhomartov A.M. - Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Institute of General Genetics and Cytology, 93 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan.

Dosybaev K.Zh. - Junior Researcher, Institute of General Genetics and Cytology, 93 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan. Email: kairat1987_11@mail.ru.

Dzhansugurova L.B. - Candidate of Biological Sciences, General Director of the Institute of General Genetics and Cytology, 93 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan.

Bekmanov B.O. - Candidate of Biological Sciences, Deputy Director General of the Institute of General Genetics and Cytology, 93 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan.

Molybdenum and plant resistance to viral infection

Abstract. Molybdenum takes an active part in several physiological processes necessary for the growth and development of plants and other domains of life. Molybdenum participates in numerous biochemical reactions and lack of this metal may affect the total amount of proteins in plants. More than fifty Mo-containing enzymes are currently known, although most of them were found in bacteria. Plants contain Mo-containing enzymes such as nitrate reductase, sulfite oxidase, aldehyde oxidase, xanthine dehydrogenase, and mitochondrial amidoxime reductase. Tungsten is another heavy metal, which due to highly similar physico-chemical properties with Molybdenum may be incorporated instead of the latest as enzyme cofactor, leading to its inactivation. In this article, preliminary results from a pilot experiment are shown, demonstrating the effect of Molybdenum and Tungsten treatment on *Nicotiana benthamiana* plants infected with Tomato Bushy Stunt Virus, which refers to viruses parasitizing economically important crops. This virus infects more than 100 species of monocotyledonous and dicotyledonous plants from more than 20 different families. Infection of plants with a viral infection occurs through mechanical damage to the root system; virions in this case can be transmitted through soil or water. It was found that Molybdenum treatment may lead to mitigation of otherwise fatal for the host viral infection.

Key words: Molybdenum, TBSV, plant, virus, virus resistance, infection.

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-63-70

Introduction

Molybdenum (Mo) is an essential trace mineral for animals, plants and most microorganisms [1]. The importance of molybdenum for living organisms was discovered in 1939 using tomato plants grown in a specific nutrient solution [2]. Later, molybdenum was discovered as a pterin, a cofactor, in the active center of more than fifty enzymes involved in the main redox reactions of nitrogen and sulfur, phytohormone biosynthesis and detoxification of xenobiotics. This catalytic activity converts molybdenum into an essential trace element for almost all living things [3].

Molybdenum belongs to the rare elements of group VI of the Periodic table of elements. In nature, molybdenum occurs mainly in the form of an MoO_4^{2-} anion. In addition, in soils, the molybdate anion is also the only form of molybdenum available to plants, fungi and bacteria.

As noted above, molybdenum belongs to the group of trace elements, that is, the organism needs it only in the smallest quantities. However, exceeding a certain amount can lead to toxicity of molybdenum. About 100 molybdenum compounds are listed in the US Toxic Substances Control Act [4].

Molybdenum takes an active part in several physiological processes necessary for the growth and development of plants. Lack of molybdenum reduces the total amount of proteins in plants. Molybdenum is located in the active center of aldehyde oxidase and plays an important role in plant development and adaptation to environmental stresses [5]. In plant cells, the average concentration of molybdenum is 0.2 mg/kg^{-1} dry weight and depends on the presence of molybdate in soils [6]. Molybdenum is a part of metal-containing enzymes (molybdoenzymes), which perform an important

function both in the metabolism of each organism and in the cycles of carbon, nitrogen and sulfur [7]. More than fifty Mo-containing enzymes are currently known. Most of them were found in bacteria, while only seven have been identified in eukaryotes [8].

Plants contain Mo-containing enzymes such as nitrate reductase, sulfite oxidase, aldehyde oxidase, xanthine dehydrogenase, and mitochondrial amidoxime reductase [9]. In addition to pterin, there is another type of Mo-containing cofactor, which is found only in bacterial nitrogenase, forming the so-called iron-molybdenum cofactor [10].

Tungsten (W) is another heavy metal that belongs to the VI Group of the Periodic table of elements. Due to the highly similar physico-chemical properties of W and Mo, some enzymes, which use the latest as a cofactor, may incorporate W instead, leading to enzyme inactivation [11].

Although numerous researches demonstrated an important role of molybdenum in plants, still only a few of them are focused on the role of Mo in plants' resistance to viral infections. In this article, preliminary results from a pilot experiment are shown, demonstrating the effect of Mo and W treatment on *Nicotiana benthamiana* plants, infected with Tomato Bushy Stunt Virus (TBSV). TBSV is a member of the Tombusviridae family, genus Tombusvirus, group IV. Refers to viruses parasitizing economically important crops. This virus infects more than 100 species of monocotyledonous and dicotyledonous plants from more than 20 different families [12]. Infection of plants with a viral infection occurs through mechanical damage to the root system; virions, in this case, can be transmitted through soil or water.

Materials and methods

Plant material. *N. benthamiana* plants were grown in the growth room in conditions of long-day photoperiod (16-h light/8-h dark) and 75-80% relative humidity. Temperatures fluctuated from 20 to 27 C and the average temperature during the day was 25 C and 22 C at night. For lighting of growth room lamps with 2700 K and 6400 K spectrum were used.

Treatments. As treatments, 100 and 500 μM $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ solutions, as well as their mixture, were used.

Plant inoculation. For inoculation in vitro generated transcripts of full length TBSV cDNAs were used [13]. For this, plasmids containing the inserts were linearized at the 30-end of the viral cDNA sequence by restriction of the Sma1 enzyme digest. Transcripts were synthesized using T7 RNA polymerase, and these transcripts were used for inoculation of plants as previously described [14]. Control plants were mock-inoculated by using a phosphate buffer without viral RNA. Healthy and infected plants were grown separately in the same conditions.

TBSV detection. The leaves of *N. benthamiana* were analyzed for the presence of TBSV virions. Plant tissues were homogenized in TRIS/EDTA (TE) buffer in ratio 1/2 (sample/buffer) on ice, then centrifuged at 10.000 rpm for 20 min. After 15 μl of each sample was mixed with a 6X Loading buffer. Separation of macromolecules was performed in 1% agarose gel with ethidium bromide for 45 min with Tris/Borate/EDTA (1xTBE) buffer. UV light used to detect viral particles in agarose gel. Then capillary transfer was performed onto the nitrocellulose membrane with TBSV virus-specific polyclonal antibodies.

Results and discussion

To investigate, if Mo and W application may affect the natural counterplay between plants and plant viruses, one small pilot experiment was implemented in two biological repeats. In this experiment, 14 one-month-old *N. benthamiana* plants were selected for each repeat. Among selected plants, 7 were

infected with TBSV transcripts. Then, all plants were divided in pairs, one healthy and one infected in each. One pair was left untreated as a control, and to the rest the following treatments were applied: Mo 100 and 500 μM , W 100 and 500 μM , and a mixture of Mo and W 100 and 500 μM solutions. Each treated plant was daily poured with 25 ml of corresponding solution.

Usually, TBSV infection on *N. benthamiana* plants results in the appearance of first morphological signs of infection on 3 day past infection (dpi), and leads to almost complete collapse of the plant by 7 dpi. On Figure 1, photos of plants that were taken at 9 dpi are depicted.

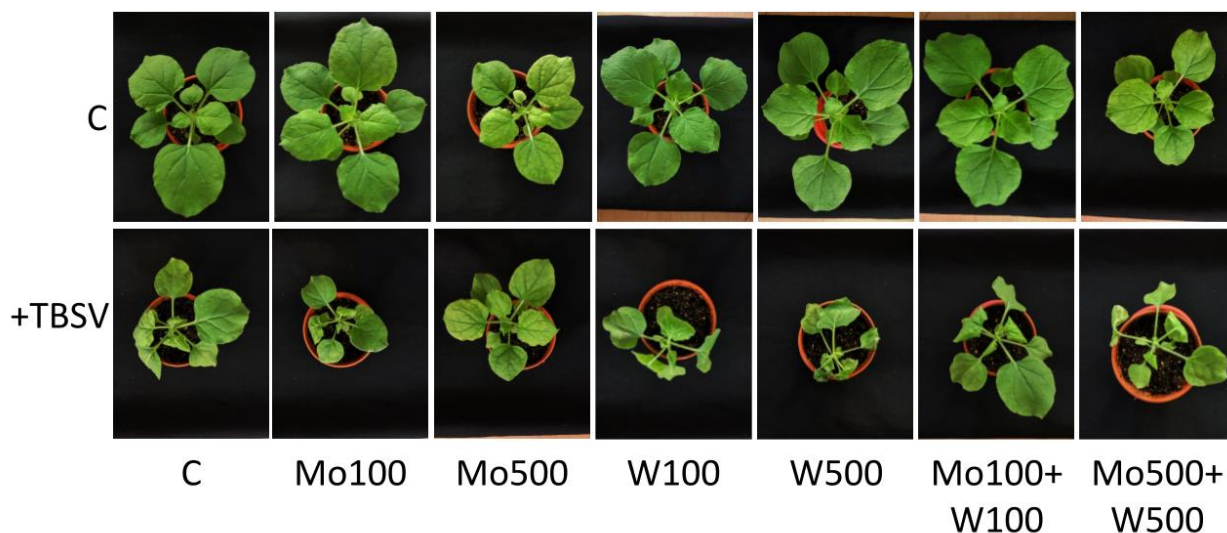


Figure 1. Photos of plants at 9 dpi. Upper and lower rows represent plants that were not infected and infected with TBSV accordingly. Treatments are indicated by columns under photos

As it shown on Figure 1, 500 μM Mo and Mo+W treatments resulted in retarded plant growth. But most interestingly, *N. benthamiana* plants, infected with TBSV and treated with 500 μM Mo, demonstrated no morphological signs of viral infection.

To test, if all inoculated with TBSV transcripts plants were successfully infected, an express method of TBSV detection in plant tissues was implemented (Figure 2) as we described earlier [15]. TBSV infection was found in all inoculated plants, although in plants, treated with 500 μM Mo the signal of virus presence in tissues was weaker by comparison with other treatments and positive control.

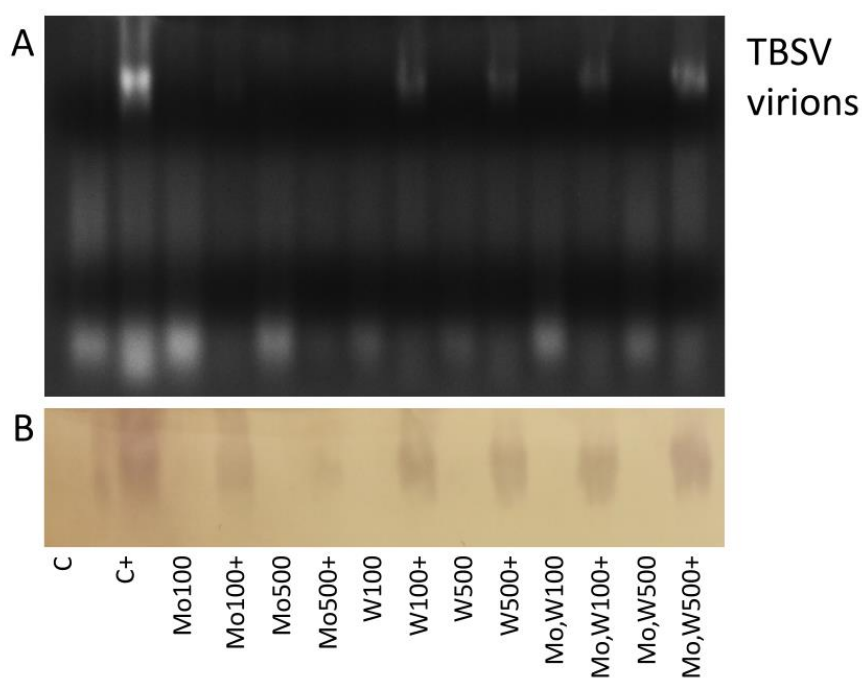


Figure 2. Express method of TBSV detection in plant tissues at 9 dpi. A) TBSV virions in agarose gel. B) Northern blot assay with TBSV antibodies for detection of TBSV virions

Over 3 weeks after inoculation, still no morphological symptoms were developed in plants infected by TBSV and treated with 500 μM Mo. Also, plants, treated with 100 and 500 μM Mo+W solutions, despite severe symptoms of infection started to recover (Figure 3). In addition, healthy plants treated with 500 Mo and 500 Mo+W solutions demonstrated some retardation in development.

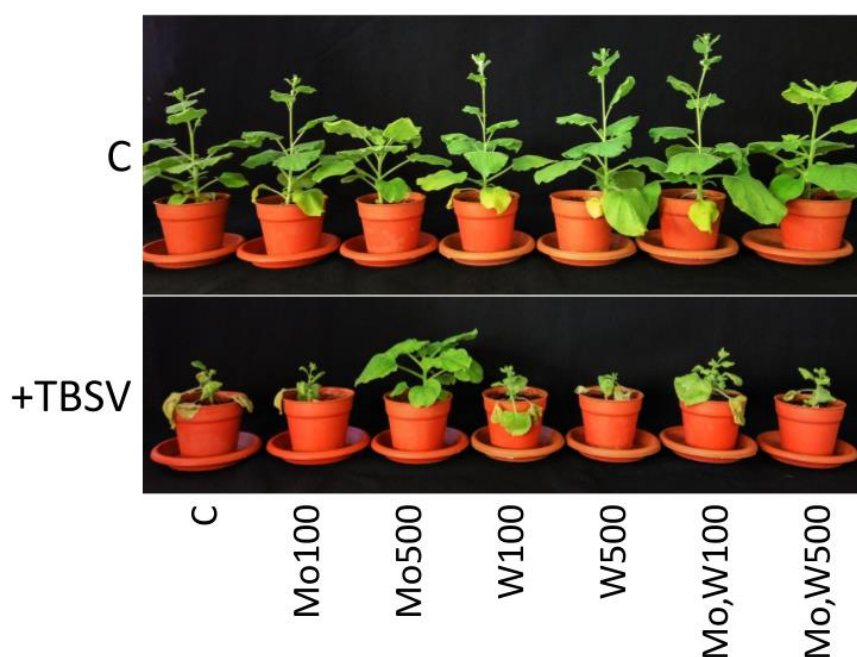


Figure 3. Photos of plants at 22 dpi

As shown on Figure 4, plant, treated with 500 μM Mo, was not affected by TBSV infection at 45 dpi (Fig. 4, B), and had no morphological differences compared to plant, treated with the same solution, but not infected with TBSV transcripts (Fig. 4, C). Both infected and non-infected 500 μM Mo treated plants flowered 3-4 days later than healthy control and healthy plants, treated with 100 μM Mo, 100 and 500 μM Mo and Mo+W solutions. Plants, treated with 100 μM Mo, and 100 and 500 μM Mo+W solutions despite severe symptoms survived TBSV infection, although demonstrated significant retardation in development. Positive control, or plant, infected with TBSV infection without any treatments, did not recover with time.

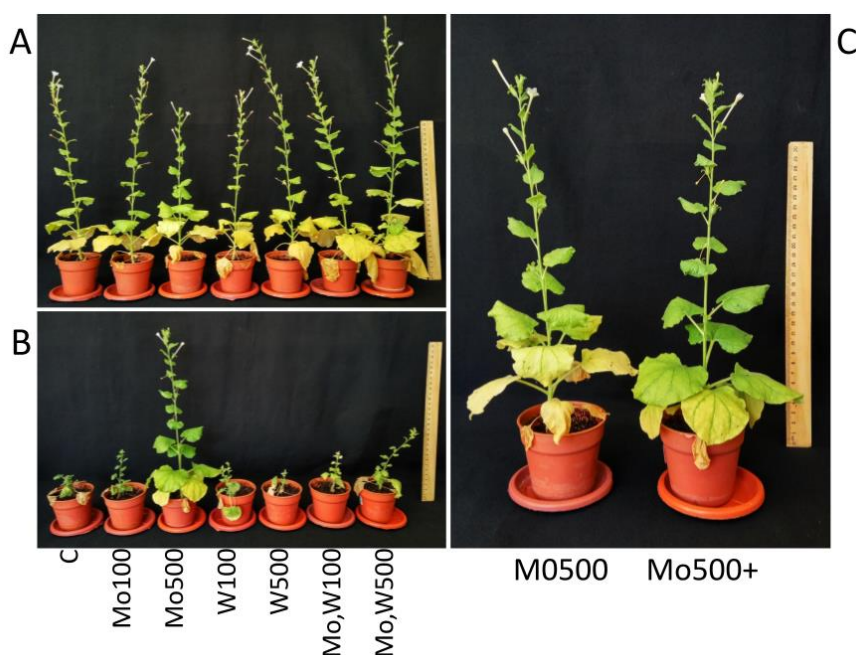


Figure 4. Photos of plants at 45 dpi. A) Healthy plants. B) Plants, inoculated with TBSV transcripts. C) Plants, treated with 500 μM Mo solution, healthy on the left side and infected with TBSV on the right

Conclusion

Molybdenum application may mitigate symptoms of otherwise fatal viral infections in plants. Additional experiments should be implemented to investigate the interactions between molybdenum applications, Mo-dependent enzymes and viral infections.

References

1. "Metals Ions in Biological System: Volume 39: Molybdenum and Tungsten: Their Roles in Biological Processes": Routledge & CRC Press [Electronic resource]. URL: <https://www.routledge.com/Metals-Ions-in-Biological-System-Volume-39-Molybdenum-and-Tungsten-Their/Sigel-Sigel/p/book/9780367396299> (Accessed: May 15, 2021).

2. Arnon D.I., Stout P.R. Molybdenum as an Essential Element For Higher Plants // *Plant Physiol.* - 1939. -Vol. 14. № 3. -P. 599-602. DOI: 10.1104/pp.14.3.599.
3. Tejada-Jiménez M., Chamizo-Ampudia A., Galván A., Fernández E., and Llamas Á. Molybdenum metabolism in plants // *Metallomics.* -2013. -Vol. 5. № 9. -P. 1191-1203. DOI: 10.1039/C3MT00078H.
4. Jonmaire P. Molybdenum in Industrial Toxicology. John Wiley & Sons Inc., 2015. 1340 p. DOI: 10.1002/9781118834015.ch24.
5. Naqib S.A., Jahan M.S. The Function of Molybdenum and Boron on the Plants // *Plants. J Agri Res.* -2017. -Vol. 2. -№ 3. -P. 1-8. DOI: 10.23880/OAJAR-16000136.
6. Gupta U. C. Boron, molybdenum and selenium status in different plant parts in forage legumes and vegetable crops // *J. Plant Nutr.* -1991. -Vol. 14. -№ 6. -P. 613-621. DOI: 10.1080/01904169109364228.
7. Stiefel E.I. The biogeochemistry of molybdenum and tungsten // *Met. Ions Biol. Syst.* -2002. -Vol. 39. -P. 1-29.
8. Hille R., Nishino T., Bittner F. Molybdenum enzymes in higher organisms // *Coord. Chem. Rev.* - 2011. -Vol. 255. -№ 9. -P. 1179-1205. DOI: 10.1016/j.ccr.2010.11.034.
9. Omarov R.T., Sagi M., Lips S.H. Regulation of aldehyde oxidase and nitrate reductase in roots of barley (*Hordeum vulgare L.*) by nitrogen source and salinity // *J. Exp. Bot.* -1998. -Vol. 49. -№ 322. -P. 897-902. DOI: 10.1093/jxb/49.322.897.
10. Mendel R.R. Cell biology of molybdenum in plants // *Plant Cell Rep.* -2011. -Vol. 30. -№ 10. -P. 1787-1797. DOI: 10.1007/s00299-011-1100-4.
11. Mendel R.R., Kruse T. Cell biology of molybdenum in plants and humans // *Biochim. Biophys. Acta.* -2012. -Vol. 1823. -№ 9. -P. 1568-1579 DOI: 10.1016/j.bbamcr.2012.02.007.
12. Martelli G. P., Gallitelli D., and Russo M., "Tombusviruses," in *The Plant Viruses: Polyhedral Virions with Monopartite RNA Genomes*, R. Koenig, Ed. Boston, MA: Springer US, 1988. -P. 13-72. DOI: 10.1007/978-1-4613-0921-5_2.
13. Knorr D.A., Mullin R.H., Hearne P.Q., Morris T.J. De novo generation of defective interfering RNAs of Tomato bushy stunt virus by high multiplicity passage // *Virology.* -1991. -Vol. 181. -№ 1. -P. 193-202. DOI: 10.1016/0042-6822(91)90484-5.
14. Hearne P.Q., Knorr D.A., Hillman B.I., Morris T.J. The complete genome structure and synthesis of infectious RNA from clones of Tomato bushy stunt virus // *Virology.* -1990. -Vol. 177. -№ 1. -P. 141-151. DOI: 10.1016/0042-6822(90)90468-7.
15. Suleimenova Zh. Z., Kutzhanova A., Yergaliyev T.M., Batyrshina Zh.S., Omarov R.T. The development of express method for detection viral diseases in plants // *Bull. LN Gumilyov Eurasian Natl. Univ. Biosci. Ser.* -2018. -Vol. 124. -P 65-69. DOI: 10.32523/2616-7034-2018-124-3-65-69.

Т. Ергалиев

Гогенгейм университеті, Штутгарт, Германия

Молибден және өсімдіктердің вирустық инфекцияға төзімділігі

Аңдатпа. Молибден өсімдіктердің және басқа салаларының өсуі мен дамуына қажетті бірнеше физиологиялық процестерге белсенді қатысады. Молибден көптеген биохимиялық реакцияларға қатысады және бұл металдың жетіспеуі өсімдіктердегі ақуыздардың жалпы санына әсер етуі мүмкін. Қазіргі уақытта құрамында Мо бар елуден астам ферменттер белгілі, дегенмен

олардың көпшілігі бактериялардан табылған. Өсімдіктерде нитратредуктаза, сульфитоксидаза, альдегидоксидаза, ксантин дегидрогеназа және митохондриялық амидоксимредуктаза сияқты Мо бар ферменттер бар. Вольфрам – да ауыр металл, ол молибденмен өзінің физикалық-химиялық қасиеттеріне байланысты өте ұқсас келеді. Мұндағы ферменттің жанама факторы ретінде соңғысының орнына қосылуы мүмкін, бұл оның инактивациясына әкеледі. Бұл мақалада пилоттық эксперименттің алдын-ала нәтижелері келтірілген.

Түйін сөздер: молибден, TBSV, өсімдік, вирус, вирусқа төзімділік, жұқпалылық.

Т. Ергалиев

Гогенгеймский университет, Штутгарт, Германия

Молибден и устойчивость растений к вирусной инфекции

Аннотация. Молибден принимает активное участие в нескольких физиологических процессах, необходимых для роста и развития растений и в других сферах жизни. Молибден участвует во многих биохимических реакциях, и недостаток этого металла может повлиять на общее количество белков в растениях. В настоящее время известно более пятидесяти ферментов, содержащих Мо, хотя большинство из них было обнаружено в бактериях. Растения содержат Мо-содержащие ферменты, такие как нитратредуктаза, сульфитоксидаза, альдегидоксидаза, ксантиндегидрогеназа и митохондриальная амидоксимредуктаза. Вольфрам - еще один тяжелый металл, который из-за очень схожих физико-химических свойств с молибденом может быть включен вместо последнего в качестве кофактора фермента, что приводит к его инактивации. В этой статье показаны предварительные результаты пилотного эксперимента, демонстрирующего влияние обработки молибденом и вольфрамом на растения *Nicotiana benthamiana*, зараженные вирусом томатного кустарника, который относится к вирусам, паразитирующим на экономически важных культурах. Этот вирус поражает более 100 видов однодольных и двудольных растений из более чем 20 различных семейств. Заражение растений вирусной инфекцией происходит через механическое повреждение корневой системы; вирионы в этом случае могут передаваться через почву или воду. Было установлено, что лечение молибденом может привести к смягчению последствий, в противном случае смертельных для хозяина вирусной инфекции.

Ключевые слова: молибден, TBSV, растение, вирус, вирусоустойчивость, инфекция.

References

1. "Metals Ions in Biological System: Volume 39: Molybdenum and Tungsten: Their Roles in Biological Processes": Routledge & CRC Press. [Electronic resource]. Available at: <https://www.routledge.com/Metals-Ions-in-Biological-System-Volume-39-Molybdenum-and-Tungsten-Their/Sigel/Sigel/p/book/9780367396299> (Accessed: 15.05.2021).
2. Arnon D.I., Stout P.R. Molybdenum as an Essential Element For Higher Plants. *Plant Physiol.* 14(3), 599-602 (1939) doi: 10.1104/pp.14.3.599.
3. Tejada-Jiménez M., Chamizo-Ampudia A., Galván A., Fernández E., and Llamas Á. Molybdenum metabolism in plants. *Metallomics.* 5(9), 1191-1203 (2013) doi: 10.1039/C3MT00078H.
4. Jonmaire P. Molybdenum in Industrial Toxicology. John Wiley & Sons Inc. 1340 (2015) doi: 10.1002/9781118834015.ch24.

5. Naqib S.A., Jahan M.S. The Function of Molybdenum and Boron on the Plants. *Plants. J Agri Res.* 2(3), 1-8 (2017). doi: 10.23880/OAJAR-16000136.
6. Gupta U. C. Boron, molybdenum and selenium status in different plant parts in forage legumes and vegetable crops. *J. Plant Nutr.* 14(6), 613-621 (1991) doi: 10.1080/01904169109364228.
7. Stiefel E.I. The biogeochemistry of molybdenum and tungsten. *Met. Ions Biol. Syst.* 39, 1-29 (2002).
8. Hille R., Nishino T., Bittner F. Molybdenum enzymes in higher organisms. *Coord. Chem. Rev.* 255(9-10), 1179-1205 (2011) doi: 10.1016/j.ccr.2010.11.034.
9. Omarov R.T., Sagi M., Lips S.H. Regulation of aldehyde oxidase and nitrate reductase in roots of barley (*Hordeum vulgare L.*) by nitrogen source and salinity. *J. Exp. Bot.* 49(322), 897-902 (1998) doi: 10.1093/jxb/49.322.897.
10. Mendel R.R. Cell biology of molybdenum in plants. *Plant Cell Rep.* 30(10), 1787-1797 (2011) doi: 10.1007/s00299-011-1100-4.
11. Mendel R.R., Kruse T. Cell biology of molybdenum in plants and humans. *Biochim. Biophys. Acta.* 1823(9), 1568-1579 (2012) doi: 10.1016/j.bbamcr.2012.02.007.
12. Martelli G. P., Gallitelli D., and Russo M., "Tombusviruses," in *The Plant Viruses: Polyhedral Virions with Monopartite RNA Genomes*, R. Koenig, Ed. Boston, MA: Springer US. 1988, pp. 13-72. doi: 10.1007/978-1-4613-0921-5_2.
13. Knorr D.A., Mullin R.H., Hearne P.Q., Morris T.J. De novo generation of defective interfering RNAs of Tomato bushy stunt virus by high multiplicity passage. *Virology.* 181(1), 193-202 (1991) doi: 10.1016/0042-6822(91)90484-S.
14. Hearne P.Q., Knorr D.A., Hillman B.I., Morris T.J. The complete genome structure and synthesis of infectious RNA from clones of Tomato bushy stunt virus. *Virology.* 177(1), 141-151 (1990) doi: 10.1016/0042-6822(90)90468-7.
15. Suleimenova Zh. Z., Kutzhanova A., Yergaliyev T.M., Batyrshina Zh.S., Omarov R.T. The development of express method for detection viral diseases in plants. *Bull. LN Gumilyov Eurasian Natl. Univ. Biosci. Ser.* 124, 65-69 (2018) doi: 10.32523/2616-7034-2018-124-3-65-69.

Сведения об авторе:

T. Yergaliev - PhD (Biology), postdoctoral researcher at the University of Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 6-10 70593, Stuttgart, Germany.

T. Ергалиев - PhD (Биология), Гогенгейм университетінің докторантурадан кейінгі зерттеушісі, Эмиль-Вульф-Стр. 6-10 70593, Штутгарт, Германия.

О.В. Будгакова*, Г.А. Токсобаева, А.А. Арипова, А.Ж. Каусбекова,
А.А. Кусаинова, Р.И. Берсимбай

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

*Автор для корреспонденции: ya.summer13@yandex.kz

Роль митохондрий в молекулярных и клеточных эффектах радона

Аннотация. Митохондрии являются уникальными органоидами клетки, обладающими собственной митохондриальной ДНК и вовлеченными в регуляцию множества процессов, таких как выживание клеток, апоптоз и клеточный метаболизм. Давно известно, что митохондрии играют ведущую роль в механизме злокачественной трансформации при развитии многих неоплазий. Радон, представляющий собой радиоактивный инертный газ, признан канцерогеном и по данным Всемирной Организации Здравоохранения является второй после курения причиной развития рака легкого. Радон содержится в почве, воде и воздухе в различных концентрациях. Радон мигрирует из почвы и горных пород в окружающий воздух, в результате чего накапливается в плохо вентилируемых или закрытых помещениях. Такие области представляют собой первичную среду, в которой люди подвергаются радиоактивному излучению радона. Радон проникает через трещины в земной коре и накапливается в нижних слоях атмосферы. Повышение концентрации радона в воздухе наблюдается в регионах, богатых урановыми месторождениями, а также вблизи урановых рудников. Однако на данный момент механизмы злокачественной трансформации, индуцированные радоном, все еще остаются не вполне ясными. В этом обзоре мы впервые рассматриваем наиболее современное понимание роли митохондрий в молекулярных и клеточных эффектах ионизирующего излучения, в том числе радона. Подобного рода знания могут иметь большое значение для повышения противоопухолевой эффективности лучевой терапии, а также для уменьшения повреждения здоровых клеток, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения и защиты населения, проживающего на территории, потенциально опасной по радонопроявлению.

Ключевые слова: радон, митохондриальная ДНК, молекулярные эффекты радона, клеточные эффекты радона.

DOI: 10.32523/2616-7034-2021-135-2-71-85

Введение

Как правило, под молекулярными эффектами радиационного воздействия на клетки млекопитающих в первую очередь подразумевается повреждение ядерной ДНК. Однако все больше данных на сегодняшний день свидетельствуют о том, что повреждением геномной ДНК невозможно объяснить очень многие процессы, происходящие в клетках при воздействии ионизирующего облучения.

Еще одним источником ДНК в клетке млекопитающих являются митохондрии. Митохондрии представляют собой уникальные органеллы, вовлеченные во множество жизненно важных процессов, осуществляемых в эукариотической клетке. Эти двухмембранные органеллы являются единственным источником энергии в клетке, играют ключевую роль в программируемой клеточной гибели, старении и патогенезе целого ряда заболеваний. Митохондрии - это органеллы, присущие всем эукариотическим клеткам, основной функцией которых является синтез АТФ для обеспечения всех процессов жизнедеятельности клетки. Однако роль митохондрий гораздо шире, чем «генератор энергии»: при осуществлении окислительного фосфорилирования митохондрии также способствуют образованию активных форм кислорода (АФК), регулируют гомеостаз кальция в клетке, принимают участие в терморегуляции и даже решают судьбу клетки, выступая в качестве ключевых регуляторов

апоптоза. Кроме того, они участвуют в антибактериальных, противовирусных и стрессовых реакциях на гипоксию и повреждение тканей [1]. with TBSV virus-specific polyclonal antibodies.

Считается, что митохондрии возникли из альфа-протеобактерии, захваченной эукариотическим предшественником. Хотя митохондрии млекопитающих сохранили некоторые бактериальные особенности, только небольшой процент митохондрий человека получен из исходного эндосимбионта. В то же время данные органеллы восприимчивы к противомикробным препаратам: например, тетрациклины могут блокировать происходящий в митохондриях процесс трансляции.

Помимо многообразия и сложности выполняемых ими функций следует отметить то, что митохондрии стоят особняком среди прочих клеточных органелл ввиду наличия собственного генетического материала - митохондриальной ДНК (мтДНК). Наш митохондриальный геном уникален и имеет исключительно материнское происхождение, т.к. у многих видов, включая *Homo sapiens*, отцовская мтДНК активно разрушается сразу после оплодотворения. мтДНК человека представляет собой двухцепочечную кольцевую молекулу, состоящую из 16 569 пар оснований и содержащую 37 генов, кодирующих две рРНК, 22 тРНК и 13 полипептидов [2]. Полипептиды, кодируемые мтДНК, являются субъединицами ферментных комплексов окислительной системы фосфорилирования.

Работа митохондриального генома в значительной степени подчинена ядерному контролю. Однако, как показывают результаты последних исследований, митохондрии в свою очередь могут регулировать экспрессию митохондриальных генов ядерной локализации. С этой целью используются особые белки так называемого ретроградного транспорта, у млекопитающих это белок GPS2 (анг. G protein pathway suppressor 2), которые могут проникать из митохондрий в ядро и изменять экспрессию генов преимущественно митохондриального происхождения, а также некоторых генов, принимающих участие в клеточном ответе на стресс [3]. Если GPS2 не может попасть в ядро, в отсутствие GPS2 белка промоторы его генов-мишеней блокируются за счет триметилирования по девятому остатку лизина гистона H3, что способствует созданию зоны гетерохроматина и ингибированию транскрипции. В результате деполяризации митохондриальной мембраны, возникающей при стрессовых условиях, белок GPS2 перемещается из митохондрий в ядро, где элиминирует репрессивную эпигенетическую метку, активируя тем самым транскрипцию соответствующих генов [3].

Структура и генная организация мтДНК очень консервативна среди млекопитающих. Поскольку мтДНК является относительно небольшой молекулой, она была излюбленной мишенью ранних проектов по секвенированию генома, и нуклеотидная последовательность мтДНК человека была первой зарегистрированной полной последовательностью митохондриального генома. Комплементарные цепи в мтДНК значительно различаются по удельной плотности в градиенте хлорида цезия, поскольку содержат неодинаковое количество пуриновых и пиримидиновых нуклеотидов. При этом цепь, в которой содержится большее количество пуриновых нуклеотидов, называется «тяжелой» цепью (H-цепь). «Легкая» цепь состоит преимущественно из пиримидиновых нуклеотидов (L-цепь). L- цепь кодирует восемь тРНК и один полипептид, а H-цепь представлена генами двух рРНК, 14 тРНК и 12 полипептидов [2]. мтДНК млекопитающих очень компактно организована, некоторые гены в ней перекрываются, интроны отсутствуют, за исключением одного регуляторного региона, спейсеры тоже, как правило, отсутствуют или представлены короткими последовательностями длиной в несколько пар оснований.

После секвенирования мтДНК, при сравнении полученных результатов с последовательностями митохондриальных белков, были выявлены отклонения от стандартного генетического кода. Так, кодон ATA кодирует в митохондриальном геноме метионин (вместо изолейцина в ядерной ДНК), кодоны AGA и AGG служат стоп-кодонами (в ядерной ДНК эти же кодоны кодируют аминокислоту аргинин), кодон TGA соответствует триптофану, а не является

как в геномной ДНК терминирующим кодоном [2]. Еще одной удивительной особенностью митохондриальной генетической системы является использование упрощенного механизма кодирования, позволяющего осуществлять трансляцию с использованием меньшего количества тРНК. мтДНК позвоночных содержит короткую трехцепочечную структуру, называемую D-петлей, в которой небольшой участок РНК, комплементарный L- цепи, вытесняет исходную комплементарную H-цепь с образованием петлеобразной структуры. Этот район содержит участки, отвечающие за процессы инициации репликации и транскрипции: точку инициации репликации (Он), промотор легкой цепи (ITL) и два промотора тяжелой цепи - ITN1, ITN2. Как показывают многочисленные исследования, данный регион характеризуется высокой частотой мутаций, которые ассоциированы с развитием злокачественных неоплазий [4,5].

Большое количество данных говорит о возможности воздействия ионизирующего излучения не только непосредственно на ядро клетки, но и на клеточные органеллы [6]. Было показано, что при воздействии ионизирующего излучения на митохондрии наблюдаются эффекты на различных уровнях, начиная от мутаций в митохондриальной ДНК (мтДНК) до развития окислительного стресса, изменения метаболизма клетки и программируемой клеточной гибели [6]. Одним из основных источников природного излучения является продукт распада урана, химически инертный радиоактивный газ - радон. Было установлено, что радон является второй после курения причиной развития рака легкого [7]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) эпидемиологические исследования предоставили убедительные доказательства связи между облучением радоном внутри помещений и раком легкого даже при относительно низком уровне радона, обычно встречающимся в жилых домах [8]. Высокие уровни радона наблюдаются в северных и восточных районах Казахстана из-за естественных источников радиации и длительной, крупномасштабной добычи урана [9]. На данный момент появляется все больше данных о том, что в молекулярных механизмах радон-индуцированного рака легкого лежат динамические изменения именно в митохондриях [10-14].

В этом обзоре мы раскрываем современное понимание роли митохондрий в молекулярных и клеточных эффектах ионизирующего излучения, в том числе радона. Подобного рода знания могут иметь большое значение для повышения противоопухолевой эффективности лучевой терапии, а также для уменьшения повреждения здоровых клеток, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения и защиты населения, проживающего на территории потенциально опасной по радонопроявлению.

1. Воздействие ионизирующей радиации на митохондриальную ДНК

Генетическая изменчивость мтДНК используется для оценки индивидуальной чувствительности к ионизирующему излучению. Давно известно, что у пациентов, получающих лучевую терапию, наблюдается высокий уровень точечных мутаций и делеции в мтДНК по сравнению с контрольной группой [15]. Кроме того, было показано, что высокий уровень мутаций в мтДНК был ассоциирован с осложнениями после лучевой терапии. Тогда как пациенты с отсутствием или минимальными фиброзными реакциями имели низкий уровень мутаций в мтДНК [16]. В 2011 году Schilling-Toth и колл. продемонстрировали дозозависимый радиационный эффект частоты делеции, известной как Δ мтДНК⁴⁹⁷⁷ или «область общей делеции» (анг. common deletion), представляющей собой участок мтДНК с 8470 по 13446 нуклеотид и связанной с рядом патологий и старением [17]. Yong Chen и др. показали, что при облучении тяжелыми ионами углерода клеток линии HeLa наблюдались не только делеции Δ мтДНК⁴⁹⁷⁷, но и множественные точечные мутации в области D -петли, так называемом D310 регионе [18].

Интересным является тот факт, что ионизирующее излучение способствует не только возникновению мутаций, но и увеличению числа копий мтДНК в различных типах клеток. Так,

Murphy и колл. показали почти двухкратное увеличение числа копий мтДНК при воздействии гамма-облучения в дозировке 0,5 Гр в клетках линии HPV-G [19]. Wang и др. (2007) наблюдали сходный эффект в клеточной линии Нер G2 после воздействия рентгеновского излучения в дозе 5 Гр. Кроме того, авторы сообщили, что, хотя число копий мтДНК при воздействии ионизирующей радиации и варьировало в разных клеточных линиях, однако стабильно характеризовалось повышением уровня ДНК в митохондриях вне зависимости от типа клеток, подвергавшихся воздействию радиации [20]. Zhou и др. также показали в своих экспериментах на клеточной линии MCF-7 увеличение числа копий мтДНК после воздействия рентгеновского излучения в дозе от 0,05 до 4 Гр [21].

В начале двухтысячных годов сразу несколькими исследовательскими группами было показано наличие мтДНК в пуле свободно-циркулирующих нуклеиновых кислот. Первоначально свободно-циркулирующую мтДНК связывали только с процессами клеточной гибели, и уровень ее рассматривался как биомаркер острой травмы.

На данный момент результаты ряда исследований свидетельствуют о возможной роли свободно-циркулирующей мтДНК в качестве биомаркера клеточного повреждения, вызванного хроническим воздействием низких доз радиации [22]. Исследования мочи крыс, облученных рентгеновскими лучами, показали значительное увеличение в течение двадцати четырех часов после воздействия, а затем снижение до нормальных уровней свободно-циркулирующей мтДНК. Кроме того, результаты данного эксперимента детектировали ряд мутаций в свободно-циркулирующей мтДНК после рентгеновского облучения, отсутствующих у особой контрольной группы, не подвергавшихся воздействию рентгеновских лучей [23]. Аналогичный результат был получен Газиевым А. и соавторами [24]. Их исследование показало, что рентгеновские лучи и метформин вызывают значительное увеличение свободно-циркулирующей мтДНК в моче старых крыс, вызванное активной гибелью клеток в тканях [24]. Более того, было показано, что мозг рыжих полевок из чернобыльской зоны отчуждения имел высокое число копий мтДНК и высокую частоту повреждений мтДНК, что согласуется с предполагаемыми эффектами радиационного воздействия и компенсаторным ответом для поддержания достаточного функционирования митохондрий [25].

Лучевая терапия онкологических заболеваний также приводит к увеличению уровня свободно-циркулирующей мтДНК в плазме больных и, следовательно, данный показатель может использоваться для мониторинга эффективности лечения ионизирующей радиацией онкологических больных [26].

Как уже было сказано выше, одним из видов радиоактивного распада урана является инертный газ радон. Liu X. и соавт. было показано, что облучение радоном связано с дозозависимым увеличением содержания мтДНК в клетках линии BEAS-2B [11].

Наши собственные исследования показывают, что уровень свободно-циркулирующей мтДНК значительно выше у пациентов с радон-индуцированным раком легкого по сравнению не только со здоровыми людьми из контрольной группы, но и с пациентами с раком легкого, проживающими в районах с концентрацией радона в помещении ниже 100 Бк/м³. Таким образом, облучение радоном дозозависимо увеличивает содержание мтДНК не только в эпителиальных клетках бронхов [11], но и в плазме крови.

Однако влияние факторов окружающей среды, в том числе и радиации на уровень свободно-циркулирующей мтДНК, на данный момент все еще остается неизученным вопросом.

Дальнейшие исследования в данной области могут способствовать развитию так называемой «превентивной диагностики», направленной на выявление потенциальных рисков для здоровья, связанных с влиянием неблагоприятной экологической обстановки. Таким образом, мтДНК представляется перспективным маркером для оценки воздействия радиационного излучения.

2. Развитие оксидативного стресса при ионизирующем излучении

Лучевая терапия стала одним из основных способов лечения всех видов онкологических заболеваний. Однако одним из осложнений при данном виде терапии является поражение сердечной мышцы. Предполагают, что потенциальной причиной радиационно-индуцированной кардиотоксичности является окислительный стресс [27]. Окислительный стресс представляет собой накопление АФК, что приводит к нарушению внутриклеточного гомеостаза за счет химической модификации, повреждения белков, липидов и ДНК.

Kubota Y. и соавт. показали, что супероксид-анион играет основную роль в радиационно-индуцированном апоптозе, по крайней мере, в макрофагах брюшной полости мышей линии СЗН [28].

Именно митохондрии в клетке производят большую часть АФК, в том числе и супероксид-анион, как в физиологических, так и в патологических условиях, что делает их ключевыми игроками в механизме развития окислительного стресса при радиационном воздействии.

В физиологических условиях на электронтранспортной цепи митохондрий примерно 2-3% кислорода не восстанавливается у млекопитающих, в результате чего возникает небольшое количество супероксид-аниона, который посредством супероксиддисмутазы (SOD2) превращается в перекись водорода (H_2O_2). Поскольку в митохондриях большинства типов клеток отсутствует каталаза, H_2O_2 может просачиваться в цитозоль, где он разлагается цитоплазматической каталазой [29].

Dayal D. и коллеги показали, что именно дисфункция митохондриального комплекса II была источником окислительного стресса, обнаруженного в нестабильном клоне, полученном из клеток GM10115, облученных рентгеновскими лучами в дозе 10 Гр [30].

Еще одно исследование *in vivo* было проведено по влиянию рентгеновских лучей на митохондрии кардиомиоцитов мышей линии C57BL / 6N. Облучение в дозе от 0,2 до 2 Гр привело к снижению на 13% активности митохондриального комплекса II по сравнению с контрольной группой [31]. Кроме того, авторами было показано увеличение продукции АФК митохондриями в случае облучения в дозе 2 Гр [31].

На данный момент считается доказанным, что именно митохондрии являются одним из основных мест производства АФК и что супероксидные радикалы являются первичными радикалами, которые опосредуют повышение уровня АФК в клетках, подвергшихся воздействию ионизирующего облучения [29]. Однако в митохондриях имеется собственная система антиоксидантной защиты, представленная в первую очередь ферментом митохондриальной супероксиддисмутазой. Как уже было сказано выше, супероксиддисмутаза отвечает за превращение высокореактивных супероксидов в менее токсичные формы - воду и перекись водорода. Увеличение уровня мРНК супероксиддисмутазы при воздействии ионизирующего излучения позволяет сделать заключение об участии данного фермента в модуляции клеточного ответа на радиационно-индуцированный окислительный стресс как *in vivo*, так и *in vitro* [6]. Очень интересные данные были получены Yamaoka K. и соавт. об уровне супероксиддисмутазы у жителей района горячих родоновых источников Миасса (Misasa hot spring district). Так, авторами было показано увеличение активности супероксиддисмутазы на 15% у жителей данного региона по сравнению с контрольной группой лиц, проживающих на территориях с низким уровнем радонопроявления [32]. Эти результаты свидетельствуют о том, что воздействие радона на жителей района горячих источников Миасса в концентрации, примерно в 3 раза превышающей среднюю по стране [32], индуцирует генерацию АФК *in vivo*, усиливая экспрессию гена SOD и приводя тем самым к активации антиоксидантной защиты организма от окислительного стресса, вызванного воздействием радона.

В то же время Wu Q. и др., подвергнув воздействию радона мышей линии BALB/c в дозе от 5000 до 50 000 Бк/м³, получили противоположные результаты [33]. Согласно их данным, уровни SOD отрицательно коррелировали с уровнем АФК при воздействии радона. Однако облучение радоном увеличивало окислительный стресс в тканях легких у мышей линии [33]. Кроме того, авторы наблюдали дозо-зависимое увеличение уровней АФК в легочной ткани при облучении радоном. Эти результаты показали, что воздействие радона может вызвать окислительный стресс в тканях легких, проявляясь как повышение уровня АФК и снижение уровня активности супероксиддисмутазы [33].

На наш взгляд, противоречие в отношении активности супероксиддисмутазы при воздействии радона можно объяснить различием дозы в приведенных выше исследованиях. Вполне возможно, что низкие уровни радона могут приводить к активации супероксиддисмутазы и как следствие к активации антиоксидантной защиты организма, в то время как высокие уровни радона могут обладать угнетающим действием на данные системы, что опосредует более выраженные проявления оксидативного стресса.

Yamaoka K. и коллеги, помимо активации SOD, выявили и значительное увеличение уровня белка p53 в сыворотке лиц, проживающих в районе горячих источников Миасса [32]. Как известно, p53 является основным онкосупрессором и регулятором апоптоза в клетках млекопитающих.

3. Митохондриальный путь апоптоза и радон

Ген-супрессор опухолей *TP53* является наиболее изученным геном человека. Основная причина этого - критическая роль p53 в предотвращении развития рака, благодаря чему он широко известен как «хранитель генома». Считается, что роль p53 в подавлении опухоли обусловлена его способностью вызывать апоптоз, остановку клеточного цикла и старение предраковых клеток [34].

При повреждениях гена *TP53* в 50% случаев развиваются онкологические заболевания, т.к. недостаточное функционирование этого белка делает возможным клеточное деление даже при повреждениях ДНК. В итоге возрастает генетическая нестабильность и увеличивается частота мутаций, что приводит к накоплению дефектных супрессоров опухолей и онкогенов [35].

Наиболее распространены соматические мутации *TP53*, которые приводят к раку молочных желез, шейки матки, желудка, печени, легких, лимфоидной системы, яичников, простаты и кожи [36].

Мутации в гене *TP53* обычно расположены в функционально важных областях. Эти области расположены в экзонах 5-8 (кодоны 126-306) гена *TP53*.

Риск развития радон-индуцированного рака легкого ассоциирован с изменениями на генетическом уровне, прежде всего с мутациями в гене *TP53*, белковый продукт которого является один из ключевых онкосупрессоров [37]. Нами было показано, что полиморфизм rs1042522 в данном гене является фактором риска радон-индуцированного рака легкого в казахской популяции [38].

В дополнение к мутациям *TP53* мтДНК подвержена мутациям из-за отсутствия защитных гистоновых белков и эффективных механизмов восстановления. Хотя корреляция мутаций в гене *TP53* и генах мтДНК была исследована в некоторых солидных опухолях, количество исследований было недостаточным [39].

Achanta G. и др. [40] продемонстрировали связь между экспрессией p53, уровнем мтДНК и экзогенным повреждением клетки. Авторы также показали, что p53 играет роль в поддержании генетической стабильности митохондрий благодаря его способности транслоцировать к митохондриям и взаимодействовать с ДНК-полимеразой γ , тем самым усиливая ее функцию репликации ДНК в ответ на повреждение мтДНК. Кроме того, было

продемонстрировано, что потеря p53 приводила к значительному увеличению частоты мутаций мтДНК *in vivo* [40].

Чтобы исследовать роль митохондрий в индуцированном радоном канцерогенезе у людей *in vitro*, группой китайских ученых из Университета Сучжоу путем обработки клеток бронхиального эпителия человека (HBE) бромидом этидия была создана клеточная линия, частично истощенная мтДНК (ϱ-). Данная клеточная линия ϱ- характеризовалась выраженной дисфункцией митохондрий. Результаты облучения радоном ϱ-клеток показали, что апоптоз наблюдался как в ϱ-, так и в нормальных клетках бронхиального эпителия. Однако уровень апоптоза в ρ-клетках был значительно ниже, чем в HBE клетках. Кроме того, было обнаружено, что радон приводил к снижению потенциала митохондриальной мембраны ρ- клеток. Производство АФК было повышено в обоих типах клеток, подвергшихся воздействию радона. Таким образом, авторы предполагают, что индуцированные радоном изменения в легочной ткани объясняются снижением уровня апоптоза, что в свою очередь, может способствовать злокачественной трансформации клеток и повышать риск развития рака легкого [13].

Схожие результаты были получены и на другой клеточной линии BEAS-2B, которую подвергали воздействию радона 20 000 Бк/м³ в течение 30 минут перед каждым пассажем 5-ти или 10-тикратно. Результаты исследования показали, что апоптоз в клетках подавлялся длительным воздействием радона [10]. Как известно, именно раковые клетки характеризуются низким уровнем программируемой клеточной гибели.

Несмотря на это в литературе есть и противоположные данные о влиянии радона на уровень клеточной гибели. Так, Wu J. и колл. установили, что хроническое воздействие радона вызывает активацию гена miR-34a, продукт которого впоследствии усиливает апоптоз в клетках BEAS-2B [41]. miR-34a опосредованный апоптоз индуцируется через деградацию мРНК, кодирующих белки CDK4/6, Cyclin E2, MET и Bcl-2 [42]. Анти-апоптозные белки семейства Bcl-2 ингибируют каспазы за счёт предотвращения выхода цитохрома из митохондрий и/или за счёт связывания фактора, активирующего апоптоз — APAF1 [42]. Таким образом, miR-34a играет ведущую роль в регуляции митохондриального пути апоптоза. Следовательно, радон, приводящий к повышению экспрессии miR-34a, может опосредовать усиление клеточной гибели.

Ряд исследований свидетельствует, что изменение профиля микроРНК после индукции p53 происходит в сторону увеличения содержания микроРНК-34a, 34b и 34c [43]. Причем уровень данных микроРНК увеличивался в ответ на действие генотоксического стресса с вовлечением p53 как *in vitro*, так и *in vivo*. Транскрипция микроРНК-34a, 34b-и-34c в обоих локусах напрямую активируется p53. Интересно, что некоторые мутации p53, которые были ранее связаны с онкогенной прогрессией, подавляют экспрессию данных микроРНК [44].

Учитывая, что в сыворотке лиц, подверженных воздействию радона, наблюдается повышение уровня p53 [32], и что данный белок, регулируя проницаемость пор митохондриальной мембраны, является ключевым регулятором митохондриального пути клеточной гибели, мы склонны согласиться с выводами, согласно которым ионизирующее излучение, в том числе и радон, скорее должен активировать процессы клеточной гибели. В пользу данной гипотезы говорят и результаты исследования Ogura A. и колл., показывающие, что рентгеновское излучение в дозе 10 Гр вызывает увеличение продукции АФК, высвобождение цитохрома С из митохондрии и индукцию апоптоза в клетках A549 [45]. Кроме того, есть данные, что после воздействия радона в диапазоне от 1 до 5 МГр на клетки крови человека *in vitro* процент апоптотических клеток неуклонно рос с увеличением дозы через 24 и 48 часов после воздействия [46].

Безусловно, необходимы дальнейшие исследования, чтобы охарактеризовать роль митохондрий и митохондриального пути апоптоза в молекулярных и клеточных механизмах, индуцированных воздействием радона на клетки млекопитающих.

4. Изменения энергетического метаболизма, опосредованные радоном

p53 играет роль еще в одном важном процессе - регуляции энергетического метаболизма [47]. Известно, что экспрессия p53, ключевого регулятора гликолиза, снижается при канцерогенезе [47]. Было показано, что радон-индуцированная трансформация клеток бронхиального эпителия человека (HBE) приводит к изменениям в энергетическом метаболизме, опосредованном p53- метаболическим путем. В процессе культивирования уровни лактат и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и соотношение НАД (+) / НАДН постепенно увеличивались между облучениями радоном. Между пассажами 30 и 35 были значительно снижены синтез цитохрома с оксидазой 2 (SCO2), TP53-индуцированный гликолиз и экспрессия регулятора апоптоза (TGAR) [47]. Таким образом, связанные с p53 метаболические пути могут лежать в основе радон-опосредованной злокачественной трансформации.

Радон и его дочерние продукты были классифицированы IARC как канцерогены для человека. По данным ВОЗ, радон вызывает рак легкого и другие виды рака. Злокачественные клетки характеризуются эффектом Варбурга, т.е. способностью производить энергию преимущественно с помощью гликолиза с последующим образованием молочной кислоты, а не посредством медленного гликолиза и окисления пирувата в митохондриях с использованием кислорода как в большинстве нормальных клеток [11]. Liu X. и колл. показали, что эффект Варбурга, опосредованный субъединицей А сукцинатдегидрогеназы (SDHA), в клетках BEAS-2B может быть индуцирован длительным воздействием радона, о чем свидетельствует повышение уровней поглощения глюкозы, лактата и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) [11].

Приведенные выше данные позволяют сделать заключение, что одним из механизмов злокачественной трансформации, опосредованной воздействием радона, является изменение митохондриального энергетического метаболизма.

Заключение

Способность быстро адаптировать биоэнергетические способности клеток к меняющимся условиям окружающей среды является обязательной как для нормального функционирования клеток, так и для прогрессирования рака. Любая потеря этого адаптивного ответа может поставить под угрозу клеточную функцию и сделать клетку более восприимчивой к внешним стрессорам, таким как окислительный стресс, химиотерапевтические канцерогены, гипоксия и радиация, в том числе и радон. Митохондрии играют жизненно важную роль в биоэнергетических и биосинтетических путях и могут быстро приспосабливаться к метаболическим потребностям клетки. Эффективная работа митохондрий, включая генерацию различных сигналов митохондриального стресса, поддерживает биоэнергетический гомеостаз в большинстве условий. Но когда происходит нарушение регуляции работы митохондрий вследствие воздействия радона, в клетке возникают условия, способствующие развитию многих заболеваний [48]. Понимание процессов, вовлеченных в клеточную биоэнергетику и метаболическую адаптацию к радиационному воздействию, может дать новые знания, которые приведут к улучшению понимания патогенеза многих радон-индуцированных заболеваний.

Финансирование: Работа финансировалась министерством образования и науки, грант AP08856116.

Список литературы

1. Nunnari J, Suomalainen A. Mitochondria: in sickness and in health // Cell -2012. -V.148. №6. - P.1145-59. doi: 10.1016/j.cell.2012.02.035.

2. Taanman J.W. The mitochondrial genome: structure, transcription, translation and replication // *Biochim. Biophys. Acta.* -1999. - V.1410. №2. -P.103-123.
3. Cardamone M.D., Tanasa B., Cederquist C.T., Huang J., Mahdavian K. et. al. Mitochondrial Retrograde Signaling in Mammals Is Mediated by the Transcriptional Cofactor GPS2 via Direct Mitochondria-to-Nucleus Translocation// *Molecular Cell* -2018. - V.69. -P. 757-772.e7
4. Nomoto S., Yamashita K., Koshikawa K., Nakao A., Sidransky D. Mitochondrial D-loop mutations as clonal markers in multicentric hepatocellular carcinoma and plasma // *Clin Cancer Res.*-2002. -V.8. №2. -P. 481-487
5. Singh L., Saini N., Pushker N., Bakhshi S., Sen S., Nag TC., Kashyap S. Mutational Analysis of the Mitochondrial DNA Displacement-Loop Region in Human Retinoblastoma with Patient Outcome // *Pathol Oncol Res.* -2019. -V.25. №2. -P. 503-512. doi: 10.1007/s12253-018-0391-y.
6. Kam, W. W.Y., Banati, R. B. Effects of ionizing radiation on mitochondria // *Free Radical Biology and Medicine* -2013. -V.65. -P.607-619. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.024.
7. Lim S.M., Choi J.W., Hong M.H., Jung D., Lee C.Y., Park S.Y., Shim H.S., Sheen S., Kwak K.I., Kang D.R., Cho B.C., Kim H.R. Indoor radon exposure increases tumor mutation burden in never-smoker patients with lung adenocarcinoma // *Lung Cancer* -2019. -V.131. -P.139-146. doi: 10.1016/j.lungcan.2019.04.002.
8. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Zeeb H, Shannon F, editors. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2009.
9. Bersimbaev, R.I., Bulgakova, O. The health effects of radon and uranium on the population of Kazakhstan: / R.I. Bersimbaev, O. Bulgakova. *Genes Environ.*, -2015. -37:18p. doi:10.1186/s41021-015-0019-3.
10. Xu Q., Fang L., Chen B., et al. Radon induced mitochondrial dysfunction in human bronchial epithelial cells and epithelial-mesenchymal transition with long-term exposure // *Toxicol Res (Camb)* -2018. -V.8. №1. -P. 90-100. doi:10.1039/c8tx00181b.
11. Liu X., Zhou Z., Wang Z., Li X., Lu G., Tong J. SDHA-mediated Warburg effect in malignantly transformed human bronchial epithelial cells following long-term exposure to radon // *Environ Toxicol.* -2020 -V.35. №8. -P.861-866. doi: 10.1002/tox.22922.
12. Wu Q., Fang L., Yang Y., Wang A., Chen X., Sun J., Wan J., Hong C., Tong J., Tao S., Tian H. Protection of melatonin against long-term radon exposure-caused lung injury // *Environ Toxicol.* -2021 - V.36. №4. -P.472-483. doi: 10.1002/tox.23052.
13. Li B.Y., Sun J., Wei H., Cheng Y.Z., Xue L., Cheng Z.H., Wan J.M., Wang A.Q., Hei T.K., Tong J. Radon-induced reduced apoptosis in human bronchial epithelial cells with knockdown of mitochondria DNA// *J Toxicol Environ Health A.* - 2012. -V.75. №18. -P.1111-9. doi: 10.1080/15287394.2012.699841
14. Wang W., Sun J., Chen Y., Li B., Tong J. Role of mitochondrial DNA decrease in apoptosis of human bronchial epithelial cells induced by radon and its progeny // *Journal of Radiation Research and Radiation Processing* -2014. v. -V.32. №1. -p. 010204.1-010204.5.
15. Wardell T.M., Ferguson E., Chinnery P.F., Borthwick G.M., Taylor R.W., Jackson G., Craft A., Lightowers R.N., Howell N., Turnbull D.M. Changes in the human mitochondrial genome after treatment of malignant disease // *Mutat Res.* -2003. -V.525. №1-2. -P.19-27. doi: 10.1016/s0027-5107(02)00313-5.
16. Alsbeih G.A., Al-Harbi N.M., El-Sebaie M.M., Al-Rajhi N.M., Al-Hadyan K.S., Abu-Amero K.K. Involvement of mitochondrial DNA sequence variations and respiratory activity in late complications following radiotherapy // *Clin Cancer Res.* -2009. -V.15. №23. -P.7352-60. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-09-0960.
17. Schilling-Tóth B., Sándor N., Kis E., Kadhim M., Sáfrány G., Hegyesi H. Analysis of the common deletions in the mitochondrial DNA is a sensitive biomarker detecting direct and non-targeted cellular effects of low dose ionizing radiation // *Mutat Res.* -2011. -V.716. №1-2. -P.33-9. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2011.07.018.

18. Chen Y., Gao H., Ye W. Mitochondrial DNA Mutations Induced by Carbon Ions Radiation: A Preliminary Study // Dose Response -2018. -V.16. №3. -P.1559325818789842. doi:10.1177/1559325818789842.
19. Murphy J.E., Nugent J., Seymour S.; Mothersill C. Mitochondrial DNA point mutations and a novel deletion induced by direct low-LET radiation and by medium from irradiated cells // Mutat. Res. Gen. Tox. En. -2005. -V. 585. -P.127-136.
20. Wang L.; Kuwahara Y.; Li L.; Baba T.; Shin R. W.; Ohkubo Y.; Ono K.; Fukumoto M. Analysis of Common Deletion (CD) and a novel deletion of mitochondrial DNA induced by ionizing radiation // Int J Radiat Biol -2007. -V. 83. -P.433-442.
21. Zhou X.; Li N.; Wang Y.; Wang Y.; Zhang X.; Zhang H. Effects of X-irradiation on mitochondrial DNA damage and its supercoiling formation change // Mitochondrion -2011. -V.11. -P.886-892.
22. Borghini A., Mercuri A., Turchi S., Chiesa M.R., Piccaluga E., Andreassi M.G. Increased circulating cell-free DNA levels and mtDNA fragments in interventional cardiologists occupationally exposed to low levels of ionizing radiation // Environ. Mol. Mutagen -2015. -V.56. №3. -P.293-300.
23. Abdullaev S.A., Minkabirova G.M., Bezlepkin V.G., Gaziev A. Cell-free DNA in the urine of rats exposed to ionizing radiation // Radiat Environ Biophys. -2015. -V.54. №3. - P. 297-304.
24. Gaziev A., Abdullaev S., Minkabirova G., Kamenskikh K. X-rays and metformin cause increased urinary excretion of cell-free nuclear and mitochondrial DNA in aged rats // Journal of Circulating Biomarkers -2016. -V.5. doi:10.1177/1849454416670782.
25. Kesäniemi J., Lavrinienko A., Tukalenko E. et al. Exposure to environmental radionuclides alters mitochondrial DNA maintenance in a wild rodent // Evol Ecol -2020. -V.34. -P. 163-174. <https://doi.org/10.1007/s10682-019-10028-x>.
26. Cheng C., Omura-Minamiwa M., Kang Y., Hara T., Koike I., Inoue T. Quantification of circulating cell-free DNA in the plasma of cancer patients during radiation therapy // Cancer Sci. -2009. -V.100. №2. -P.303-309.
27. Ping Z., Peng Y., Lang H., Xinyong C., Zhiyi Z., Xiaocheng W., Hong Z., Liang S. Oxidative Stress in Radiation-Induced Cardiotoxicity // Oxid Med Cell Longev. -2020. -V.2020. -P. 3579143. doi: 10.1155/2020/3579143.
28. Kubota Y., Takahashi S., Sato H., Suetomi K. Radiation-induced apoptosis in peritoneal resident macrophages of C3H mice: selective involvement of superoxide anion, but not other reactive oxygen species // Int J Radiat Biol. -2005. -V.81. №6. -P.459-72. doi: 10.1080/09553000500172145.
29. Szumiel I. Ionizing radiation-induced oxidative stress, epigenetic changes and genomic instability: the pivotal role of mitochondria // Int J Radiat Biol. -2015. -V.91. №1. -P.1-12. doi: 10.3109/09553002.2014.934929. PMID: 24937368.
30. Dayal D., Martin S.M., Limoli C.L., Spitz D.R. Hydrogen peroxide mediates the radiation-induced mutator phenotype in mammalian cells // Biochem J -2008. -V.413. -P.185-191.
31. Barjaktarovic Z., Schmaltz D., Shyla A., Azimzadeh O., Schulz S., Haagen J., Dorr W., Sarioglu H., Schafer A., Atkinson M.J., Zischka H., Tapio S. Radiation-induced signaling results in mitochondrial impairment in mouse heart at 4 weeks after exposure to X-rays // PLoS One -2011. -V.6. -P.27811.
32. Yamaoka K. et al., The Elevation of p53 Protein Level and SOD Activity in the Resident Blood of the Misasa Radon Hot Spring District // Journal of Radiation Research -2005. -V.46. №1. -P. 21-24. doi: 10.1269/jrr.46.21.
33. Wu Q., Fang L., Yang Y., Wang A., Chen X., Sun J., Wan J., Hong C., Tong J., Tao S., Tian H. Protection of melatonin against long-term radon exposure-caused lung injury // Environ Toxicol. -2021. -V.36. №4. -P.472-483. doi: 10.1002/tox.23052.
34. Gnanapradeepan K., Basu S., Barnoud T., Budina-Kolomets A., Kung C.P., Murphy M.E. The p53 Tumor Suppressor in the Control of Metabolism and Ferroptosis // Front Endocrinol (Lausanne) - 2018. -V.9. №124. doi:10.3389/fendo.2018.00124.

35. Pitolli C., Wang Y., Mancini M., Shi Y., Melino G., Amelio I. Do Mutations Turn p53 into an Oncogene? // *Int J Mol Sci.* - 2019 - V. 20. № 24. - P.6241.
36. Joerger A.P., Fersht A.R. Structure-function-rescue: the diverse nature of common p53 cancer mutants // *Oncogene.* - 2007. - V. 26. - P. 2226-2242.
37. Bulgakova O., Kussainova A., Bersimbaev R. The cell cycle regulatory gene polymorphisms TP53 (rs1042522) and MDM2 (rs2279744) in lung cancer: a meta-analysis // *Vavilovskii Zhurnal Genet Seleksii* -2020. -V.24. №7. -P.777-784. doi: 10.18699/VJ20.673.
38. Bulgakova O., Kussainova A., Kakabayev A., Kausbekova A., Bersimbaev R., Association of polymorphism TP53 Arg72Pro with radon-induced lung cancer in the Kazakh population // *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii.* - 2019. - V. 23. № 5. — P. 594-599.
39. Kamp W.M., Wang P.Y., Hwang P.M. TP53 mutation, mitochondria and cancer // *Current Opinion in Genetics & Development.* - 2016. - V. 38. - P.16-22.
40. Achanta G. et al. Novel role of p53 in maintaining mitochondrial genetic stability through interaction with DNA Pol γ // *EMBO J.* - 2005. - V.24. №19. - P. 482-3492.
41. Wu J., Sun B., Zhang S., Zhang J., Tong J., Nie J., Li J. Effects of radon on miR-34a-induced apoptosis in human bronchial epithelial BEAS-2B cells // *J Toxicol Environ Health A.* -2019. -V.82. №16. -P.913-919. doi: 10.1080/15287394.2019.1665350.
42. Mohammady M., Ghetmiri S.I., Baharizade M., Morowvat M.H., Torabi S. Expanding the Biotherapeutics Realm via miR-34a: "Potent Clever Little" Agent in Breast Cancer Therapy // *Curr Pharm Biotechnol.* -2019. -V.20. №8. -P.665-673. doi: 10.2174/1389201020666190617162042. PMID: 31244419.
43. Xi Y., Shalgi R., Fodstad O., Pilpel Y., Ju J. Differentially regulated micro-RNAs and actively translated messenger RNA transcripts by tumor suppressor p53 in colon cancer // *Clin Cancer Res.* - 2006. -V.12. №7 Pt 1. -P.2014-24. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-05-1853. PMID: 16609010.
44. Suzuki H.I., Yamagata K., Sugimoto K., Iwamoto T., Kato S. and Miyazono, K. Modulation of microRNA processing by p53. // *Nature.* - 2009 - Vol. 460 - P. 529-533.
45. Ogura, A., Oowada, S., Kon, Y., Hirayama, A., Yasui, H., Meike, S., Kobayashi, S., Kuwabara, M., Inanami, O. Redox regulation in radiation-induced cytochrome c release from mitochondria of human lung carcinoma A549 cells // *Cancer Lett* -2009. -V.277. -P.64-71.
46. Meenakshi C., Mohankumar Mary N. Radon-induced DNA damage and apoptosis analyzed by flow cytometry // *IARP conference on radiological protection and safety in nuclear reactors and radiation installations, Mangalore, India, 2012.* -P.96.
47. Liu X., Wang X., Tong J. Radon-induced alterations in p53-mediated energy metabolism of malignantly transformed human bronchial epithelial cells // *J Toxicol Environ Health A.* -2016. -V. 79. № 9-10. -P. 436-41. doi: 10.1080/15287394.2016.1176629. PMID: 27267826.
48. Livingston K., Schlaak R.A., Puckett L.L., Bergom C. The Role of Mitochondrial Dysfunction in Radiation-Induced Heart Disease: From Bench to Bedside // *Front Cardiovasc Med.* -2020. -V.7. №20. - P.1-7. doi:10.3389/fcvm.2020.00020.

О.В. Булгакова, Г.А. Токсобеаева, А.А. Арипова, А.Ж. Қауысбекова,
А.А. Кусаинова, Р.И. Берсімбай

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Радонның клеткалық және молекулалық әсерлеріндегі митохондрияның рөлі

Аннотация. Митохондрия - бұл өзінің митохондриялық ДНҚ бар және клеткалардың тіршілік етуі, апоптоз және клетка метаболизмі сияқты көптеген процестерді реттеуге қатысатын клетканың ерекше органоиды. Митохондрия көптеген неоплазиялардың дамуындағы қатерлі трансформация механизмінде жетекші рөл атқаратыны бұрыннан белгілі. Радон- радиоактивті

инертті газ болып табылатын канцерогендерге жатады және Дүниежүзілік Денсаулық Сақтау ұйымының мәліметтері бойынша темекі шегуден кейінгі өкпе қатерлі ісігінің екінші себебі болып табылады. Радон топырақта, суда және ауада әртүрлі концентрацияда болады. Радон топырақтан және тау жыныстарынан қоршаған ауаға ауысады, нәтижесінде нашар желдетілетін немесе жабық жерлерде жиналады. Мұндай аймақтар адамдар радонның радиоактивті сәулеленуіне ұшырайтын бастапқы орта болып табылады. Радон жер қыртысындағы жарықтар арқылы өтіп, атмосфераның төменгі қабаттарында жиналады. Ауадағы радон концентрациясының жоғарылауы уран кен орындарына бай аймақтарда, сондай-ақ уран кен орындарының жанында байқалады. Алайда, қазіргі уақытта радон қоздырған қатерлі трансформация механизмдері әлі де айқын емес. Бұл шолуда біз алғаш рет митохондрияның иондаушы сәулеленудің, соның ішінде радонның молекулалық және клеткалық әсерлеріндегі рөлі туралы ең заманауи түсініктерді қарастырамыз. Мұндай білім радиациялық терапияның ісікке қарсы тиімділігін арттыру үшін, сондай-ақ, иондаушы сәулеленуге ұшыраған сау жасушалардың зақымдануын азайту және радон көрінісі бойынша ықтимал қауіпті аумақта тұратын халықты қорғау үшін үлкен маңызға ие болуы мүмкін.

Кілттік сөздер: радон, митохондриялық ДНК, радонның молекулалық әсері, радонның клеткалық әсері.

**O.V. Bulgakova, G.A. Toksabayeva, A.A. Aripova, A.Zh. Kausbekova,
A.A. Kusainova, R.I. Bersimbaev**

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

The role of mitochondria in the molecular and cellular effects of radon

Abstract. Mitochondria are unique cell organoids that have their own mitochondrial DNA. They are involved in the regulation of many processes, such as cell survival, apoptosis, and cellular metabolism. It has long been known that mitochondria play a leading role in the mechanism of malignant transformation in the development of many neoplasms. Radon is a radioactive inert gas, is recognized as a carcinogen and, according to the World Health Organization, it is the second cause of lung cancer after smoking. Radon is found in soil, water and air in various concentrations. Radon migrates from the soil and rocks into the surrounding air, as a result of which it accumulates in poorly ventilated or closed rooms. Such areas represent the primary environment in which people are exposed to radioactive radon radiation. Radon penetrates through cracks in the Earth's crust and accumulates in the lower layers of the atmosphere. An increase in the concentration of radon in the air is observed in regions rich in uranium deposits, as well as near uranium mines. However, at the moment, the mechanisms of malignant transformation induced by radon are still not completely clear. In this review, we consider for the first time the most modern understanding of the role of mitochondria in the molecular and cellular effects of ionizing radiation, including radon. This kind of knowledge can be of great importance for improving the antitumor effectiveness of radiation therapy, as well as for reducing damage to healthy cells exposed to ionizing radiation and protecting the population living in an area potentially dangerous for radon manifestations.

Key words: radon, mitochondrial DNA, molecular effects of radon, cellular effects of radon.

References

1. Nunnari J, Suomalainen A. Mitochondria: in sickness and in health. 148(6), 1145-1159 (2012). doi: 10.1016/j.cell.2012.02.035.
2. Taanman J.W. The mitochondrial genome: structure, transcription, translation and replication. *Biochim. Biophys. Acta.* 1410(2), 103-123 (1999).
3. Cardamone M.D., Tanasa B., Cederquist C.T., Huang J., Mahdaviani K. et. al. Mitochondrial Retrograde Signaling in Mammals Is Mediated by the Transcriptional Cofactor GPS2 via Direct Mitochondria-to-Nucleus Translocation. *Molecular Cell.* 69, 757-772.e7 (2018).
4. Nomoto S., Yamashita K., Koshikawa K., Nakao A., Sidransky D. Mitochondrial D-loop mutations as clonal markers in multicentric hepatocellular carcinoma and plasma. *Clin Cancer Res.* 8(2), 481-487 (2002).
5. Singh L., Saini N., Pushker N., Bakhshi S., Sen S., Nag TC., Kashyap S. Mutational Analysis of the Mitochondrial DNA Displacement-Loop Region in Human Retinoblastoma with Patient Outcome. *Pathol Oncol Res.* 25(2), 503-512 (2019). doi: 10.1007/s12253-018-0391-y.
6. Kam, W. W.Y., Banati, R. B. Effects of ionizing radiation on mitochondria. *Free Radical Biology and Medicine.* 65, 607-619 (2013). doi:10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.024
7. Lim S.M., Choi J.W., Hong M.H., Jung D., Lee C.Y., Park S.Y., Shim H.S., Sheen S., Kwak K.I., Kang D.R., Cho B.C., Kim H.R. Indoor radon exposure increases tumor mutation burden in never-smoker patients with lung adenocarcinoma. *Lung Cancer.* 131, 139-146 (2019). doi: 10.1016/j.lungcan.2019.04.002.
8. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Zeeb H, Shannon F, editors. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2009.
9. Bersimbaev, R.I., Bulgakova, O. The health effects of radon and uranium on the population of Kazakhstan: R.I. Bersimbaev, O. Bulgakova. *Genes Environ.,* 37, 18p. (2015). doi:10.1186/s41021-015-0019-3
10. Xu Q., Fang L., Chen B., et al. Radon induced mitochondrial dysfunction in human bronchial epithelial cells and epithelial-mesenchymal transition with long-term exposure. *Toxicol Res (Camb).* 8(1), 90-100 (2018). doi:10.1039/c8tx00181b
11. Liu X., Zhou Z., Wang Z., Li X., Lu G., Tong J. SDHA-mediated Warburg effect in malignantly transformed human bronchial epithelial cells following long-term exposure to radon. *Environ Toxicol.* 35(8), 861-866 (2020). doi: 10.1002/tox.22922.
12. Wu Q., Fang L., Yang Y., Wang A., Chen X., Sun J., Wan J., Hong C., Tong J., Tao S., Tian H. Protection of melatonin against long-term radon exposure-caused lung injury. *Environ Toxicol.* 36(4), 472-483 (2021). doi: 10.1002/tox.23052.
13. Li B.Y., Sun J., Wei H., Cheng Y.Z., Xue L., Cheng Z.H., Wan J.M., Wang A.Q., Hei T.K., Tong J. Radon-induced reduced apoptosis in human bronchial epithelial cells with knockdown of mitochondria DNA. *J Toxicol Environ Health A.* 75(18),1111-9 (2012). doi: 10.1080/15287394.2012.699841
14. Wang W., Sun J., Chen Y., Li B., Tong J. Role of mitochondrial DNA decrease in apoptosis of human bronchial epithelial cells induced by radon and its progeny. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing.* 32(1), 010204.1-010204.5 (2014).
15. Wardell T.M., Ferguson E., Chinnery P.F., Borthwick G.M., Taylor R.W., Jackson G., Craft A., Lightowers R.N., Howell N., Turnbull D.M. Changes in the human mitochondrial genome after treatment of malignant disease. *Mutat Res.* 525(1),19-27 (2003). doi: 10.1016/s0027-5107(02)00313-5.
16. Alsbeih G.A., Al-Harbi N.M., El-Sebaie M.M., Al-Rajhi N.M., Al-Hadyan K.S., Abu-Amero K.K. Involvement of mitochondrial DNA sequence variations and respiratory activity in late complications following radiotherapy. *Clin Cancer Res.* 15(23), 7352-60 (2009). doi: 10.1158/1078-0432.CCR-09-0960.
17. Schilling-Tóth B., Sándor N., Kis E., Kadhim M., Sáfrány G., Hegyesi H. Analysis of the common deletions in the mitochondrial DNA is a sensitive biomarker detecting direct and non-targeted cellular

effects of low dose ionizing radiation. *Mutat Res.* -2011. -V.716. №1-2. -P.33-9. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2011.07.018. БЫЛО НЕДОСТАТОЧНЫМ [39].

20. Wang L.; Kuwahara Y.; Li L.; Baba T.; Shin R. W.; Ohkubo Y.; Ono K.; Fukumoto M. Analysis of Common Deletion (CD) and a novel deletion of mitochondrial DNA induced by ionizing radiation. *Int J Radiat Biol.* 83, 433-442; (2007).

21. Zhou X.; Li N.; Wang Y.; Wang Y.; Zhang X.; Zhang H. Effects of X-irradiation on mitochondrial DNA damage and its supercoiling formation change. *Mitochondrion.* 11, 886-892 (2011).

22. Borghini A., Mercuri A., Turchi S., Chiesa M.R., Piccaluga E., Andreassi M.G. Increased circulating cell-free DNA levels and mtDNA fragments in interventional cardiologists occupationally exposed to low levels of ionizing radiation. *Environ. Mol. Mutagen.* 56(3), 293-300 (2015).

23. Abdullaev S.A., Minkabirova G.M., Bezlepkin V.G., Gaziev A. Cell-free DNA in the urine of rats exposed to ionizing radiation. *Radiat Environ Biophys.* 54(3), 297-304 (2015).

24. Gaziev A., Abdullaev S., Minkabirova G., Kamenskikh K. X-rays and metformin cause increased urinary excretion of cell-free nuclear and mitochondrial DNA in aged rats. *Journal of Circulating Biomarkers.* 5, (2016) doi:10.1177/1849454416670782.

25. Kesäniemi J., Lavrinienko A., Tukalenko E. et al. Exposure to environmental radionuclides alters mitochondrial DNA maintenance in a wild rodent. *Evol Ecol.* 34, 163-174 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10682-019-10028-x>.

26. Cheng C., Omura-Minamiwa M., Kang Y., Hara T., Koike I., Inoue T. Quantification of circulating cell-free DNA in the plasma of cancer patients during radiation therapy. *Cancer Sci.* 100(2), 303-309 (2009).

27. Ping Z., Peng Y., Lang H., Xinyong C., Zhiyi Z., Xiaocheng W., Hong Z., Liang S. Oxidative Stress in Radiation-Induced Cardiotoxicity. *Oxid Med Cell Longev* 2020, 3579143. (2020). doi: 10.1155/2020/3579143.

28. Kubota Y., Takahashi S., Sato H., Suetomi K. Radiation-induced apoptosis in peritoneal resident macrophages of C3H mice: selective involvement of superoxide anion, but not other reactive oxygen species. *Int J Radiat Biol.* 81(6), 459-72 (2005). doi: 10.1080/09553000500172145.

29. Szumiel I. Ionizing radiation-induced oxidative stress, epigenetic changes and genomic instability: the pivotal role of mitochondria. *Int J Radiat Biol.* 91(1), 1-12 (2015). doi: 10.3109/09553002.2014.934929. PMID: 24937368.

30. Dayal D., Martin S.M., Limoli C.L., Spitz D.R. Hydrogen peroxide mediates the radiation-induced mutator phenotype in mammalian cells. *Biochem. J.* 413, 185-191 (2008).

31. Barjaktarovic Z., Schmaltz D., Shyla A., Azimzadeh O., Schulz S., Haagen J., Dorr W., Sarioglu H., Schafer A., Atkinson M.J., Zischka H., Tapio S. Radiation-induced signaling results in mitochondrial impairment in mouse heart at 4 weeks after exposure to X-rays. *PLoS One.* 6, 27811 (2011).

32. Yamaoka K. et al., The Elevation of p53 Protein Level and SOD Activity in the Resident Blood of the Misasa Radon Hot Spring District. *Journal of Radiation Research.* 46(1), 21-24 (2005). doi: 10.1269/jrr.46.21.

33. Wu Q., Fang L., Yang Y., Wang A., Chen X., Sun J., Wan J., Hong C., Tong J., Tao S., Tian H. Protection of melatonin against long-term radon exposure-caused lung injury. *Environ Toxicol.* 36(4), 472-483 (2021). doi: 10.1002/tox.23052.

34. Gnanapradeepan K., Basu S., Barnoud T., Budina-Kolomets A., Kung C.P., Murphy M.E. The p53 Tumor Suppressor in the Control of Metabolism and Ferroptosis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 9(124), (2018). doi:10.3389/fendo.2018.00124.

35. Pitolli C., Wang Y., Mancini M., Shi Y., Melino G., Amelio I. Do Mutations Turn p53 into an Oncogene?. *Int J Mol Sci.* 20(24), 6241 (2019).

36. Joerger A.P., Fersht A.R. Structure-function-rescue: the diverse nature of common p53 cancer mutants. *Oncogene.* 26, 2226-2242 (2007).

37. Bulgakova O., Kussainova A., Bersimbaev R. The cell cycle regulatory gene polymorphisms TP53 (rs1042522) and MDM2 (rs2279744) in lung cancer: a meta-analysis. *Vavilovskii Zhurnal Genet Selektcii.* 24(7),

777-784 (2020). doi: 10.18699/VJ20.673.

38. Bulgakova O., Kussainova A., Kakabayev A., Kausbekova A., Bersimbaev R., Association of polymorphism TP53 Arg72Pro with radon-induced lung cancer in the Kazakh population. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*. 23(5), 594-599 (2019).

39. Kamp W.M., Wang P.Y., Hwang P.M. TP53 mutation, mitochondria and cancer. *Current Opinion in Genetics & Development*. 38, 16-22 (2016).

40. Achanta G. et al. Novel role of p53 in maintaining mitochondrial genetic stability through interaction with DNA Pol γ . *EMBO J*. 24 (9), 482-3492(2005).

41. Wu J., Sun B., Zhang S., Zhang J., Tong J., Nie J., Li J. Effects of radon on miR-34a-induced apoptosis in human bronchial epithelial BEAS-2B cells // *J Toxicol Environ Health A*. 82 (16), 913-919 (2019). doi: 10.1080/15287394.2019.1665350.

42. Mohammady M., Ghetmiri S.I., Baharizade M., Morowvat M.H., Torabi S. Expanding the Biotherapeutics Realm via miR-34a: "Potent Clever Little" Agent in Breast Cancer Therapy. *Curr Pharm Biotechnol*. 20(8), 665-673 (2019). doi: 10.2174/1389201020666190617162042. PMID: 31244419.

43. Xi Y., Shalgi R., Fodstad O., Pilpel Y., Ju J. Differentially regulated micro-RNAs and actively translated messenger RNA transcripts by tumor suppressor p53 in colon cancer. *Clin Cancer Res*. 12 (7), 2014-24 (2006). doi: 10.1158/1078-0432.CCR-05-1853. PMID: 16609010.

44. Suzuki H.I., Yamagata K., Sugimoto K., Iwamoto T., Kato S. and Miyazono, K. Modulation of microRNA processing by p53. *Nature*. 460, 529-533 (2009).

45. Ogura, A., Oowada, S., Kon, Y., Hirayama, A., Yasui, H., Meike, S., Kobayashi, S., Kuwabara, M., Inanami, O. Redox regulation in radiation-induced cytochrome c release from mitochondria of human lung carcinoma A549 cells. *Cancer Lett*. 277, 64-71 (2009).

46. Meenakshi C., Mohankumar Mary N. Radon-induced DNA damage and apoptosis analyzed by flow cytometry. *IARP conference on radiological protection and safety in nuclear reactors and radiation installations, Mangalore, India*, 96 (2012).

47. Liu X., Wang X., Tong J. Radon-induced alterations in p53-mediated energy metabolism of malignantly transformed human bronchial epithelial cells// *J Toxicol Environ Health A*. 79(9-10), 436-41 (2016). doi: 10.1080/15287394.2016.1176629. PMID: 27267826.

48. Livingston K., Schlaak R.A., Puckett L.L., Bergom C. The Role of Mitochondrial Dysfunction in Radiation-Induced Heart Disease: From Bench to Bedside. *Front Cardiovasc Med*. 7(20), 1-7 (2020). doi:10.3389/fcvm.2020.00020

Информация об авторах:

О.В. Булгакова - доцент кафедры общей биологии и геномики, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Г.А. Токсобаева - старший преподаватель кафедры общей биологии и геномики, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

А.А. Арипова - преподаватель кафедры общей биологии и геномики, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

А.Ж. Каусбекова - старший научный сотрудник Научно-исследовательского Института клеточной биологии и биотехнологии ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

А.А. Кусаинова - научный сотрудник Научно-исследовательского Института клеточной биологии и биотехнологии ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Р.И. Берсимбай - директор Научно-исследовательского Института клеточной биологии и биотехнологии ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, заведующий кафедрой общей биологии и геномики, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

O.V. Bulgakova - Associate Professor of the Department of General Biology and Genomics, L. N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

G.A. Toksobayeva - senior teacher of the Department of General biology and genomics, L. N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

A.A. Aripova - Teacher of the Department of General Biology and Genomics, L. N. Gumilyov ENU, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

A.Zh. Kausbekova - Senior Research Assistant of the Research Institute of Cell Biology and Biotechnology of the L. N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

A.A. Kussainova - Research Assistant of The Research Institute of Cell Biology and Biotechnology of L. N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

R.I. Bersimbay - Director of The Research Institute of Cell Biology and Biotechnology of L. N. Gumilyov Eurasian National University, Head of the Department of General Biology and Genomics, 2 Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Редакторы: **Р.І. Берсімбай**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында енгізілген: <http://bulbio.enu.kz/>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Биологиялық ғылымдар сериясы.
- 2(135)/2021 - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. – 86 б.
Шартты б.т. – 6,68. Таралымы - 12 дана.
Басуға қол қойылды: 30.06.2021
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulbio.enu.kz>

Мазмұнына тирпография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Нұр-Сұлтан қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды