

*Журнал «Научное обозрение»
Биологические науки»
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57454
ISSN 2500-3399*

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,366
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,262**

*Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

*Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 410056, Саратовская
область, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56*

**Founder, publisher and edition:
LLC SPC Academy of Natural History**

**Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address: 410056,
Saratov region, Saratov, Chapaev V.I. street, 56**

*Подписано в печать 30.09.2022
Дата выхода номера 31.10.2022
Формат 60×90 1/8*

*Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, Саратовская область,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 30.09.2022
Release date 31.10.2022
Format 60×90 8.1**

**Typography
LLC SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov region,
Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Доронкина Е.Н.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2022/3
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: Н.Ю. Стукова

Editor in Chief: N.Yu. Stukova

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2022 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
статьи проблемного
и научно-практического характера***

***The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles***

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев Абдуманон (Душамбе), д.т.н., к.ф.-м.н., проф. Айдосов Аллаярбек (Алматы), д.м.н., проф. Аксенова В.А. (Москва), д.м.н., проф. Аллахвердиев А.Р. (Баку), д.б.н., проф. Аллахвердиев С.Р. (Москва), д.м.н., проф. Ананьев В.Н. (Москва), д.т.н., проф. Артюхова С.И. (Пушино), д.м.н., доцент Барышева Е.С. (Оренбург), д.б.н., к.с.-х.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи), д.б.н., проф. Белых О.А. (Иркутск), д.м.н., проф. Бриль Г.Е. (Саратов), д.б.н., проф. Буданцев А.Ю. (Пушино), д.б.н., проф. Бударков В.А. (Вольгинский), д.б.н., проф. Ворсанова С.Г. (Москва), д.м.н. Гансбургский А.Н. (Ярославль), д.б.н. Гемеджиева Н.Г. (Алматы), д.м.н., проф. Герасимова Л.И. (Чебоксары), д.б.н., доцент Годин В.Н. (Москва), д.б.н., проф. Гречитаева М.В. (Белгород), д.с.-х.н., к.б.н., проф. Дементьев М.С. (Ставрополь), д.м.н., доцент Евстропов В.М. (Ростов-на-Дону), д.м.н. Извин А.И. (Тюмень), д.б.н. Кавцевич Н.Н. (Мурманск), д.б.н., проф. Калаев В.Н. (Воронеж), д.м.н., к.т.н., проф. Кику П.Ф. (Владивосток), д.б.н., доцент Князева О.А. (Уфа), д.м.н. Косарева П.В. (Пермь), д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов), д.б.н. Лебедева С.Н. (Улан-Удэ), д.б.н., д.м.н. Медведев И.Н. (Москва), д.б.н. Мосягин В.В. (Курск), д.б.н. Околелова А.А. (Волгоград), д.с.-х.н., проф. Партоев Курбонали (Душамбе), д.б.н. Петраш В.В. (Санкт-Петербург), д.т.н. Похиленко В.Д. (Оболенск), д.м.н., проф. Пучиньян Д.М. (Саратов), д.б.н. Романова Е.Б. (Нижний Новгород), д.м.н. Самигуллиева А.Э. (Бишкек), д.б.н., проф. Сафонов М.А. (Оренбург), д.м.н., проф. Сентюрова Л.Г. (Астрахань), д.б.н. Симонович Е.И. (Ростов-на-Дону), д.б.н. Смирнов А.А. (Магадан), д.б.н., проф. Соловых Г.Н. (Оренбург), д.м.н., проф. Сомова Л.М. (Владивосток), д.б.н., проф. Тамбовцева Р.В. (Москва), д.б.н., доцент Хацаева Р.М. (Москва), д.м.н., доцент Хворостухина Н.Ф. (Саратов), д.б.н. Хованский И.Е. (Хабаровск), д.б.н. Шабдарбаева Г.С. (Алматы), д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек), д.б.н., проф. Юров И.Ю. (Москва)

СОДЕРЖАНИЕ

Биологические науки

СТАТЬИ

| | |
|--|----|
| ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИЙ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У СТУДЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ <i>Алесич Р.С., Чуб И.С.</i> | 5 |
| ВСТРЕЧАЕМОСТЬ НАЗЕМНЫХ ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫХ (HETEROPTERA) В РАЗНООБРАЗНЫХ БИОТОПАХ <i>Ганджаева Л.А., Абдуллаев И.И., Бобожонова Х.М., Искандаров А.И.</i> | 10 |
| УРОВЕНЬ НАТРИЕМИИ В АДАПТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ У ОКУНЯ <i>PERCA FLUVIATILIS</i> L. (PERCIDAE) <i>Запруднова Р.А., Гарина Д.В.</i> | 16 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД <i>Курманбаев А.А., Жатканбаев Е.Е., Садыков А.М., Хасенова Э.Ж., Молдагулова А.К., Кульмагамбетова Р.Х., Усенова А.А., Шойынбаева А.С., Куртибай К.А.</i> | 21 |
| ВЫДЕЛЕНИЕ И СКРИНИНГ МИКРООРГАНИЗМОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРИ СОЗДАНИИ НА ИХ ОСНОВЕ ЗАКВАСОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА ИЗ СТОЧНОЙ ВОДЫ <i>Нагызбекқызы Э., Молдагулова Э.Б., Сарсенова А.С., Данлыбаева Г.А., Ануарбекова С.С., Молдагулова Н.Б., Курманбаев А.А.</i> | 27 |
| ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РИЗОБАКТЕРИЙ, ИММОБИЛИЗИРОВАННЫХ ФЛОКУЛЯНТОМ ГИПАН <i>Хужаназарова М.К., Муродова С.С.</i> | 34 |
| ЖАРО- И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОГО ДЕРЕВА, ИНТРОДУЦИРОВАННОГО НА АПШЕРОНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ АЗЕРБАЙДЖАНА <i>Асадов Г.Г., Багирова С.Б., Кулиев Ф.А., Бабаев М.И.</i> | 39 |
| ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО И СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЕВ В МЕСТАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫМ НЕФТЕПРОВОДОМ «ТЕНГИЗ – НОВОРОССИЙСК» <i>Денисенко О.С., Добрица К.В.</i> | 46 |
| ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕКОТОРЫХ ФЛАВОНОИДОВ НА АССИМИЛЯЦИЮ УГЛЕВОДОВ У КРЫС <i>Кучкарова Л.С., Каюмов Х.Ю., Эргашев Н.А., Эшбакова К.А.</i> | 51 |
| ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫЕ В АГРОЦЕНОЗАХ ТРИТИКАЛЕ <i>Юсупова С.К., Ганджаева Л.А., Досчанов Ж.С.</i> | 57 |
| НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ | |
| ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ L. PLANTARUM ДЛЯ ФЕРМЕНТАЦИИ ФРУКТОВЫХ СОКОВ <i>Бурак Л.Ч.</i> | 63 |
| РОЛЬ ЭНДОТЕЛИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ В РЕГУЛЯЦИИ ФУНКЦИЙ ПОЧЕК И АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ <i>Чаулин А.М., Григорьева Ю.В., Суворова Г.Н.</i> | 72 |

CONTENTS

Biological sciences

ARTICLES

| | |
|--|----|
| PECULIARITIES OF EXTERNAL RESPIRATORY FUNCTIONS IN STUDENTS WHEN USING INDIVIDUAL PROTECTION MEANS <i>Alesich R.S., Chub I.S.</i> | 5 |
| OCCURRENCE OF THE TRUE BUGS (HETEROPTERA) IN A VARIETY OF HABITATS <i>Gandjaeva L.A., Abdullayev I.I., Bobojonova X.M., Iskandarov A.I.</i> | 10 |
| THE LEVEL OF NATREMIA IN THE ADAPTATION PROCESSES IN <i>PERCA FLUVIATILIS</i> L. (PERCIDAE) <i>Zaprudnova R.A., Garina D.V.</i> | 16 |
| USING VEGETABLE-MICROBIAL FUEL CELL ELEMENTS TO OBTAIN ELECTRICAL CURRENT AND WASTEWATER TREATMENT <i>Kurmanbayev A.A., Zhatkanbayev Ye.Ye., Sadykov A.M., Khassenova E.Zh., Moldagulova A.K., Kulmagambetova R.Kh., Ussenova A.A., Shoiynbayeva A.S., Kurtibay K.A.</i> | 21 |
| ISOLATION AND SCREENING OF MICROORGANISMS PROMISING FOR THE DEVELOPMENT OF STARTERS FOR OBTAINING BIOGAS FROM WASTEWATER <i>Nagyzbekkyzy E., Moldagulova E.B., Sarsenova A.S., Danlybaeva G.A., Anuarbekova S.S., Moldagulova N.B., Kurmanbayev A.A.</i> | 27 |
| TECHNOLOGY OF OBTAINING BIOPREPARATIONS ON THE BASIS OF RHIZOBACTERIA, IMMOBILIZED IN GIPAN <i>Khuzhanazarova M.K., Murodova S.S.</i> | 34 |
| HEAT AND DROUGHT RESISTANCE OF THE IRON TREE INTRODUCED TO THE ABSHERON PENINSULA OF AZERBAIJAN <i>Asadov G.G., Bagirova S.B., Kuliev F.A., Babaev M.I.</i> | 39 |
| HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER BODIES OF FISHERY IMPORTANCE ON THE TERRITORY OF KRASNODAR AND STAVROPOL KRAI AT THE INTERSECTIONS OF THE TENGIZ – NOVOROSSIYSK TRUNK OIL PIPELINE <i>Denisenko O.S., Dobritsa K.V.</i> | 46 |
| PREVENTIVE EFFECT OF SOME FLAVONOIDS ON THE ASSIMILATION OF CARBOHYDRATES IN RATS <i>Kuchkarova L.S., Kayumov Kh.Yu., Ergashev N.A., Eshbakova K.A.</i> | 51 |
| TRUE BUGS IN TRITICALE AGROCENOSES <i>Yusupova S.K., Gandzhaeva L.A., Doschanov Zh.S.</i> | 57 |
| REVIEWS | |
| PROSPECTS FOR THE USE OF LACTIC BACTERIA <i>L. PLANTARUM</i> FOR FRUIT JUICE FERMENTATION. REVIEW <i>Burak L.Ch.</i> | 63 |
| THE ROLE OF ENDOTHELIN RECEPTORS IN THE REGULATION OF KIDNEY FUNCTION AND BLOOD PRESSURE <i>Chaulin A.M., Grigoreva Yu.V., Suvorova G.N.</i> | 72 |

СТАТЬИ

УДК 612.2

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИЙ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У СТУДЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Алесич Р.С., Чуб И.С.

*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: alesich.r@edu.narfu.ru*

В настоящее время нагрузка на дыхательную систему с каждым годом возрастает, помимо действия климатических условий Европейского севера, на неё может влиять длительное ношение СИЗ. В статье представлены результаты обследования на выборке 10 студенток в возрасте от 20 до 23 лет. В исследовании определялось влияние длительного ношения масок (4 часа) на функцию внешнего дыхания с использованием методов спирометрии и функциональной дыхательной пробы – пробы Штанге. Исследование проводилось с разными типами СИЗОД, таких как тканевая и медицинская маска. Для контроля и сравнения результатов взяты показания – без использования маски. Вторым периодом исследования являлось изучение динамики изменений функций внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии у студенток через год после первого. Исследование показало, что функции внешнего дыхания по истечении 4 часов непрерывного ношения СИЗ изменяются незначительно. Происходит снижение ЖЕЛ на 2-4%, мгновенной объемной скорости 50% форсированного выдоха на 5-7%. Длительное ношение СИЗ (4 часа) в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функций внешнего дыхания. Годовая динамика параметров демонстрирует, что выраженные негативные изменения касаются устойчивости к гипоксии.

Ключевые слова: параметры внешнего дыхания, спирометрия, проба Штанге, средства индивидуальной защиты (СИЗ), студентки

PECULIARITIES OF EXTERNAL RESPIRATORY FUNCTIONS IN STUDENTS WHEN USING INDIVIDUAL PROTECTION MEANS

Alesich R.S., Chub I.S.

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: alesich.r@edu.narfu.ru*

Currently, the load on the respiratory system is increasing every year, in addition to the climatic conditions of the European North, it can be affected by long-term wearing of RPE. The article presents the results of a survey on a sample of 10 female students aged 20 to 23 years. The study determined the effect of prolonged wearing of masks (4 hours) on the function of external respiration using spirometry methods and a functional respiratory test - the Stange test. The study was conducted with different types of RPE, such as fabric and medical masks. To control and compare the results, readings were taken - without using a mask. The second period of the study was to study the dynamics of changes in the functions of external respiration and resistance to hypoxia in students a year after the first. The study showed that the functions of external respiration after 4 hours of continuous wearing of PPE change slightly. There is a decrease in VC by 2-4%, instantaneous volumetric velocity of 50% forced exhalation by 5-7%. Prolonged wearing of PPE (4 hours) is more reflected in the change in resistance to hypoxia than in the parameters of external respiration functions. The annual dynamics of parameters demonstrates that pronounced negative changes relate to resistance to hypoxia.

Keywords: external respiration parameters, spirometry, Stange test, personal protective equipment (PPE), students

Газообмен является главной из всех выполняемых системой дыхания человека функций, основной ее задачей является обеспечение организма кислородом и выделением углекислого газа. Немаловажную роль играют негазообменные функции, такие как защита, терморегуляция, выделение воды и хранение воздуха для последующего его использования в голосообразовании.

Суровые природно-климатические условия оказывают существенное влияние на функцию внешнего дыхания. Низкие температуры и пониженная влажность воздуха требуют от организма мобилизации кардиореспираторной системы для минимизации воздействия агрессивной среды и поддержания гомеостаза организма. Из-

вестно, что охлажденный сухой воздух воздействует на верхние дыхательные пути и бронхиальное дерево, приводит к снижению температуры слизистых респираторных путей и рефлекторному сужению просвета бронхов. В результате проходимость воздухоносных путей становится меньше, это приводит к напряжению дыхания и появлению «полярной одышки». Студенты, проживающие в условиях Европейского севера, являются одной из самых уязвимых групп из-за комплекса факторов, воздействующих на них каждый день. Продуктивность когнитивной деятельности человека напрямую связана с газообменными процессами органов дыхания человека, поэтому длительное пребывание в слабопрветриваемом поме-

щении способствует развитию у людей гипоксии, в результате чего может наблюдаться снижение работоспособности [1].

В 2021 году в связи с массовым распространением коронавирусной инфекции COVID-19 на территории нашей страны был введен обязательный масочный режим. Медицинские маски, как и другие средства индивидуальной защиты органов дыхания, являются дополнительной резистивной нагрузкой, что может приводить к значительному напряжению органов внешнего дыхания. Мускулатура дыхательной системы человека для нормального функционирования органов дыхания должна преодолевать сопротивление как эластических структур органов дыхания, так и резистивную нагрузку, такую как сопротивление воздушного потока, проходящего по дыхательным путям человека (неэластическое сопротивление) [2]. Барьер, создаваемый масками, увеличивает дополнительное респираторное сопротивление, вследствие чего наблюдается снижение легочной и альвеолярной вентиляции. Снижение легочной вентиляции вызывает увеличение концентрации углекислого газа в крови (гиперкапнию), что приводит к развитию гипоксии [3]. Гипоксия и гиперкапния, вызванная длительным ношением СИЗ органов дыхания, приводит к ухудшению переносимости дополнительного резистивного сопротивления, т.к. из-за постоянного напряжения происходит утомление мускулатуры органов дыхания.

Цель исследования: проанализировать особенности функций внешнего дыхания у студентов при использовании СИЗ.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в 2021-2022 годах на выборке 10 студентов женского пола в возрасте от 20 до 23 лет, обучающихся в САФУ им. М.В. Ломоносова (г. Архангельск). В исследовании определялось влияние длительного ношения масок (4 часа) на функцию внешнего дыхания (ФВД) с использованием методов спирометрии и функциональной дыхательной пробы – пробы Штанге (ПШ). Исследование было лонгитюдным, т.е. предусматривающим наблюдение за группой объектов в течение определённого времени, что обуславливает индивидуально-типологический подход и допускает малый объем выборки. Исследование проводилось с разными типами СИЗОД, таких как тканевая и медицинская маска. Для контроля и сравнения результатов взяты показатели без использования маски. Вторым периодом исследования являлось изучение динамики изменений функций внешнего дыха-

ния и устойчивости к гипоксии у студентов через год после первого.

Организация исследования. Первый период (2021 год) включал в себя 3 этапа. 1-й – с использованием медицинской маски, 2-й – с использованием тканевой маски, 3-й – без использования масок (контроль). Второй период (2022 год) включал в себя только один этап – без СИЗ. Показания регистрировались утром и по истечении 4 часов учебной деятельности. В ходе 1-го периода исследования каждый испытуемый выполнял одинаковые дыхательные манёвры: сначала тест на устойчивость к гипоксии (проба Штанге), далее проводили дыхательный манёвр форсированного выдоха (измерялись такие показатели, как жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ) вдоха и форсированная жизненная ёмкость лёгких выдоха (ФЖЕЛ)). Выбор системы должных величин осуществлялся на основании рекомендаций Европейского общества стали и угля (EGKS). Дыхательные манёвры повторяли трижды для выбора лучшей попытки, критерием выбора были: время пиковой объёмной скорости не выше 0,2 с, максимально приближённые к должным значения ЖЕЛ и ФЖЕЛ, визуально оценивали кривую поток-объём.

Спирометрические исследования проводились в весенний период на АПК «Валента» (Нео). Все испытуемые были обследованы в один и тот же промежуток времени в первой половине дня. Утренние часы были выбраны, чтобы исключить влияние на результаты усталости, накапливающейся в течение учебного процесса.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием пакета программ SPSS Statistics 22.0. Статистическая обработка данных включала в себя проверку на нормальность распределения, описательную непараметрическую статистику (данные представлены в виде медиан), а также использование критерия Вилкоксона для сравнения зависимых выборок. Различия считались достоверными при величине ошибки менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ параметров внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии после 4 часов учебной деятельности с использованием СИЗ, в виде медицинской маски, продемонстрировал статистически значимые изменения некоторых параметров относительно исходного состояния. Так, происходит уменьшение времени произвольной задержки дыхания на 32,97% с 46,96 до 31,50 с ($p=0,005$). Заметим,

что снижение более выраженное, чем в контроле (32,97% против 16,57%). Отмечается тенденция уменьшения объема ЖЕЛ на 4,32% ($p=0,103$). При ношении СИЗ в пространстве между областью рта и маской, которая является резистивной нагрузкой на органы дыхания, возникает область с высоким содержанием углекислого газа и повышенным уровнем влажности. Такие условия должны оказывать влияние в сторону адаптации путем увеличения минутного объема дыхания, который является суммой дыхательного объема (ДО) и частоты дыхания (ЧД). Полученные данные показывают обратный эффект, а именно, уменьшение ЖЕЛ не адаптивно, так как ведет к уменьшению ДО. Вероятно, что компенсация негативных эффектов от длительного ношения СИЗ заключалась в увеличении ЧД, однако мы не можем проверить данный факт по причине искусственности дыхания через мундштук в ходе обследования на спирометре.

Мгновенная объемная скорость на участке 50% форсированного выдоха (МОС50) также снижается по сравнению с исходным состоянием на 7,42% ($p=0,333$). Показатели МОС 25, 50 и 75 могут свидетельствовать об уровне обструкции на уровне крупных, средних и мелких бронхов. В нашем исследовании (рис. 1) наблюдается тенденция уменьшения МОС на участке в 50% ФЖЕЛ, что может свидетельствовать о сниженной проходимости на уровне средних бронхов. Отмечается уменьшение ФЖЕЛ на 6,7% ($p=0,203$).

Такие изменения показателей функции внешнего дыхания могут быть связаны с дополнительной резистивной нагрузкой на органы дыхания, которые могут приводить к общему напряжению дыхательной системы. Уменьшение времени произвольной задержки дыхания может быть связано с длительным пребыванием в слабопрветриваемых помещениях, длительной когнитивной нагрузкой, требующей большого количества кислорода и повышающей уровень углекислого газа в крови, а также вынужденным ношением медицинской маски, ухудшающей газообмен.

На 2-м этапе исследования определяли показатели у группы с использованием тканевой маски (рис. 2). Установлено, что после ношения данного вида СИЗ происходит уменьшение времени произвольной задержки дыхания на 31,21%, с 40,45 до 27,825 с ($p=0,005$). Отмечается увеличение ФЖЕЛ на 2,12% ($p=0,036$). Также отмечается тенденция к уменьшению объема ЖЕЛ на 2,02% ($p=0,075$). МОС50 также снижается по сравнению с исходным состоянием на 5,14% ($p=0,508$).

При длительном ношении тканевой маски, как и в случае с медицинской маской, изменения показателей функций внешнего дыхания могут быть связаны с дополнительной резистивной нагрузкой на органы дыхания, но в отличие от маски, используемой на первом этапе, тканевая маска является более слабым барьером для воздуха, что может приводить к менее значительным изменениям показателей функции внешнего дыхания.

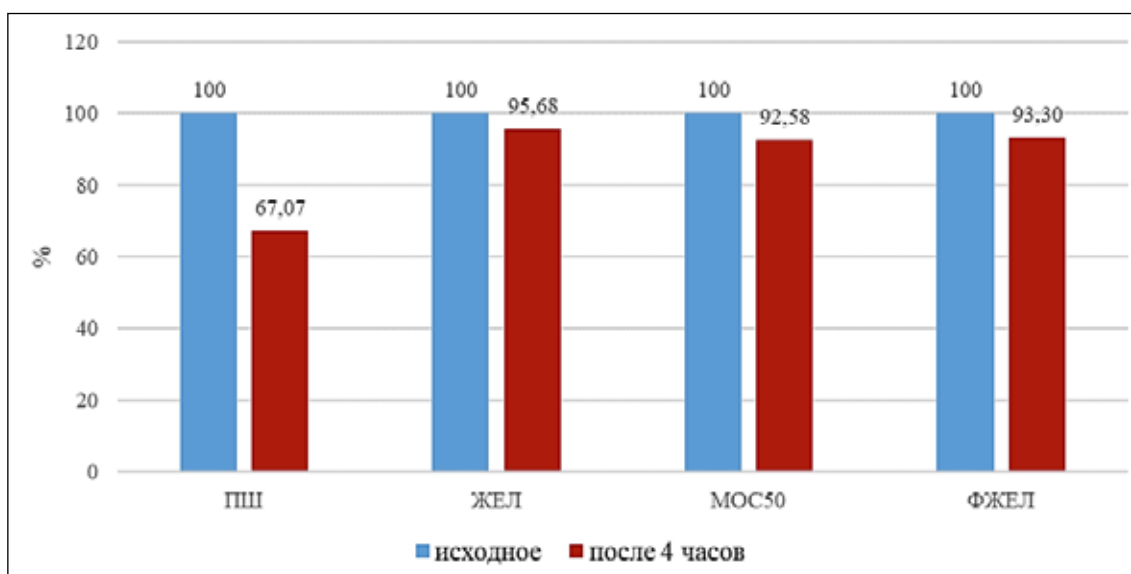


Рис. 1. Динамика параметров ФВД и устойчивости к гипоксии в процессе использования медицинской маски

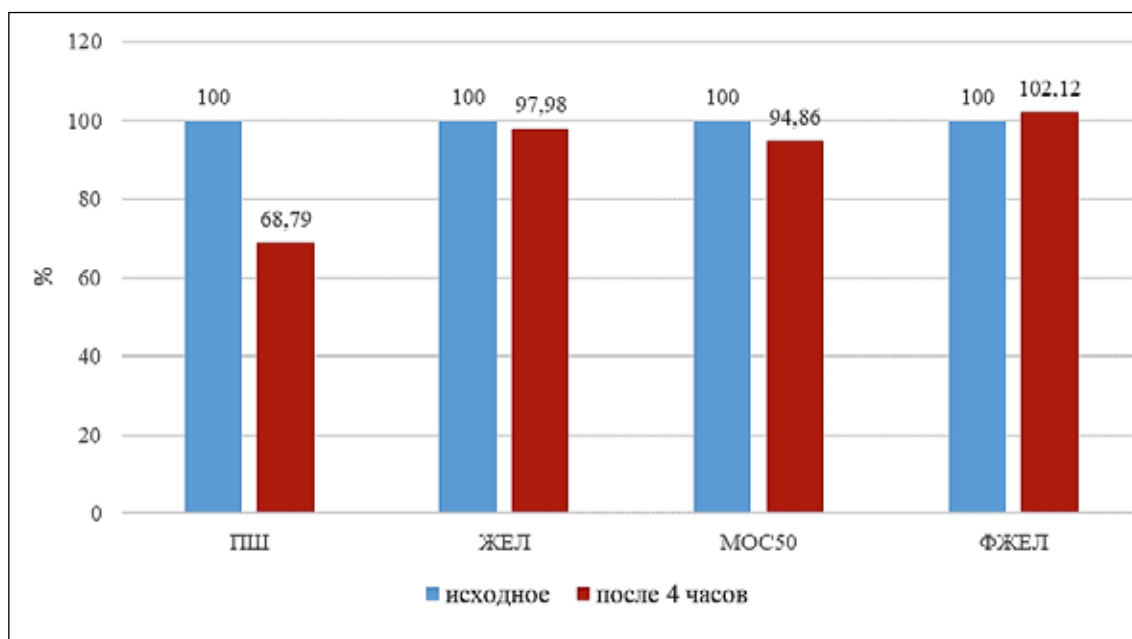


Рис. 2. Динамика параметров ФВД и устойчивости к гипоксии в процессе использования тканевой маски

Анализ параметров внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии после 4 часов учебной деятельности при отсутствии СИЗ продемонстрировал статистически значимые изменения некоторых исследуемых параметров относительно исходного состояния. В частности, происходит уменьшение времени произвольной задержки дыхания с 43,56 до 36,34 ($p=0,005$). Также происходит увеличение объема ЖЕЛ с 3,545 до 3,585 л ($p=0,022$). МОС50 достоверно снижается по сравнению с исходным состоянием на 4,5% ($p=0,14$). Отмечается тенденция уменьшения ФЖЕЛ на 2,09% ($p=0,059$).

Таким образом, учебная деятельность в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функции внешнего дыхания. Можно предположить, что снижение продолжительности произвольной задержки дыхания может быть связано с низким уровнем двигательной активности студентов и/или нахождением в вынужденном полувертикальном положении. Также на показатели функции внешнего дыхания могут оказывать воздействие условия проживания на Европейском севере. В северных широтах воздух сухой, и в процессе его увлажнения может возникать значительная потеря влаги через легкие, что в свою очередь приводит к ухудшению диффузии газов в легких. Происходит разнонаправленная диффузия воды и кислорода в альвеоляр-

ной мембране, что ухудшает газообмен, вызывая недостаток кислорода [4]. Снижение показателей функций внешнего дыхания может быть связано с большими затратами кислорода на когнитивную деятельность и повышением углекислого газа в крови.

II период нашего исследования заключался в изучении динамики изменения параметров внешнего дыхания за годовой период. Для изучения годовой динамики изучались те же параметры, что и в I периоде исследования: функциональная дыхательная проба Штанге, ЖЕЛ, ФЖЕЛ, МОС (25, 50, 75% ФЖЕЛ), пиковая объемная скорость (ПОС).

Годовая динамика устойчивости к гипоксии показывает тенденцию к изменению: по истечении 4 часов нахождения без СИЗ показания к исходным уменьшились на 11,7%, тогда как в I-м периоде исследования продолжительность произвольной задержки дыхания уменьшалась на 18,7%. Несмотря на то что мы наблюдаем положительную динамику в 2022 г., увеличилась доля студентов с низкой толерантностью к гипоксии с 14 до 29%.

К 2022 году уменьшается доля испытуемых с ЖЕЛ, соответствующих норме, с 71 до 43%. Также прослеживается негативная динамика увеличения доли студентов с показателем ФЖЕЛ, не соответствующим должным значениям, в отличие от I периода, когда 100% нашей выборки имели нормальные показатели. Таким об-

разом, у обследованных студентов снижаются как объёмные, так и скоростно-объёмные характеристики ФЖЕЛ. Оказалось, что лишь в первом периоде только один испытуемый характеризовался значениями ФЖЕЛ в пределах нормы, во втором периоде (2022) такого не наблюдается. Отклонение от нормальных значений показателей можно объяснить возможным влиянием негативных факторов на дыхательную систему в условиях крайнего Севера, а также влиянием длительного ношения СИЗ.

Наблюдается негативная годовая динамика параметров функций внешнего дыхания, которая объясняется влиянием комплекса факторов. Но если говорить о влиянии разных типов СИЗ, то длительное ношение СИЗОД в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функции внешнего дыхания. Ношение СИЗ вызывает вентиляционную недостаточность, что приводит к гиперкапнии – повышению уровня углекислого газа в крови. Можно предположить, что изменение толерантности к гипоксии связано с тем, что ношение масок – резистивная нагрузка на органы дыхания человека, которая оказывает сопротивление как вдоху, так и выдоху; немаловажную роль в этом играют длительное пребывание в вертикальном сидячем положении, низкий уровень двигательной активности и слабопроветриваемые помещения.

Выводы

1. Исследование показало, что функции внешнего дыхания по истечении 4 часов непрерывного ношения СИЗ изменяются незначительно. В процессе непрерывного ношения СИЗ происходит снижение ЖЕЛ на 2-4%, мгновенной объёмной скорости 50% форсированного выдоха на 5-7%.

2. Длительное ношение (4 часа) СИЗ в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функции внешнего дыхания. В эксперименте с медицинской маской проба Штанге уменьшилась на 32,93%. В случае с тканевой маской этот показатель уменьшился на 31,21%. Сравнение изменения параметров функции внешнего дыхания продемонстрировало более выраженное уменьшение объёмных и скоростных характеристик функции дыхания после ношения медицинской маски по сравнению с тканевой.

3. Годовая динамика исследуемых параметров функций внешнего дыхания демонстрирует, что более выраженные негативные изменения касаются устойчивости к гипоксии. Во II период исследования

происходит более выраженное снижение устойчивости к гипоксии, чем в I периоде.

В настоящее время нагрузка на дыхательную систему с каждым годом возрастает, теперь, помимо действия климатических условий Европейского севера, на неё может влиять длительное ношение СИЗОД.

Наше исследование показало, что длительное ношение каких бы то ни было средств индивидуальной защиты органов дыхания приводит к изменениям показателей функций внешнего дыхания. Несмотря на то что ношение масок приводит к снижению показателей функций внешнего дыхания, в основном использование СИЗ сказывается на устойчивости к гипоксии у студентов. Барьер, создаваемый масками, увеличивает дополнительное респираторное сопротивление, вследствие чего наблюдается снижение легочной и альвеолярной вентиляции. Снижение легочной вентиляции вызывает увеличение концентрации углекислого газа в крови (гиперкапнию), что приводит к уменьшению времени произвольной задержки дыхания. Гипоксия и гиперкапния, вызванные длительным ношением СИЗ, приводят к ухудшению переносимости дополнительного резистивного сопротивления, т.к. из-за постоянного напряжения происходит утомление мускулатуры органов дыхания.

Периода в один год оказалось недостаточно для полного восстановления показателей даже до уровня первого периода, что может быть связано с другими негативными факторами, оказывающими влияние на дыхательную систему студентов. Низкая двигательная активность, длительное пребывание в плохо проветриваемых помещениях, проживание в климатических условиях Европейского севера снижают адаптивные возможности организма [5].

Список литературы

- 1 Литвицкий П.Ф. Гипоксия // Вопросы современной педиатрии. 2016. №15(1). С. 45-58.
- 2 Голов А.В., Симаков С.С. Математическая модель регуляции легочной вентиляции при гипоксии и гиперкапнии // Компьютерные исследования и моделирование. 2017. Т. 9. № 2. С. 297-310.
- 3 Сегизбаева М.О., Александрова Н.П. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 2. С. 115-127.
- 4 Бяловский Ю.Ю., Кирюшин В.А., Прохоров Н.И., Ракина И.С., Чудинин Н.В. Газовый состав альвеолярного воздуха и переносимость средств индивидуальной защиты органов дыхания // Гигиена и санитария. 2020. № 1. С. 51-55
- 5 Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А., Богданов М.Ю. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Арктики. Обзор литературы // Морская медицина. 2017. Т. 3. № 1. С. 7-13.

УДК 595.754

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ НАЗЕМНЫХ ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫХ (HETEROPTERA) В РАЗНООБРАЗНЫХ БИОТОПАХ

^{1,2}Ганджаева Л.А., ^{1,2}Абдуллаев И.И., ²Бобожонова Х.М., ²Искандаров А.И.

¹Хорезмская академия Мамуна, Хива, e-mail: tulipa_83@mail.ru, a_ikrom@mail.ru;

²Ургенчский государственный университет, Ургенч,

e-mail: xulkar@mail.ru, iskandarovabdulla@gmail.com

Нынешняя исследовательская работа была проведена с целью определения биотопа у наземных клопов на различных агроценозах в Северо-Западной части Узбекистана. Экспериментальные исследования выполнялись в течение 2017-2021 гг., были направлены на уточнение биотопа полужесткокрылых в регионах Нижней Амударьи, которая охватывает различные агроценозы и природные ландшафты на территории Хорезма и Каракалпакстана. Лабораторные работы проводились в Хорезмской академии Мамуна. По нашим данным, полученным при наблюдении, выяснилось, что во всех типах биотопов более половины видов предпочитают влажные места обитания. Поэтому в группе разных мезофитных биотопов доля этих видов выше. Большинство видов чаще встречается на полях, где растет много различных растений, частота их встречаемости особенно выше на участках с полянами, лугами, опушками леса. Наименьшее количество видов определено в степной и полустепной зоне, где мало кормовых растений и много открытых мест. Анализ биотопов показал, что особое место занимают мезофильные виды, которые важны для формирования фаунистических экосистем на разных растениях. По данным установлено, что биотопы играют роль в распространении видов и обеспечивают формирование фаунистических комплексов полужесткокрылых.

Ключевые слова: биотоп, мезофиты, мезо-ксерофиты, ксерофиты, Heteroptera

OCCURRENCE OF THE TRUE BUGS (HETEROPTERA) IN A VARIETY OF HABITATS

^{1,2}Gandjaeva L.A., ^{1,2}Abdullayev I.I., ²Bobojonova X.M., ²Iskandarov A.I.

¹Khorezm Mamun Academy, Khiva, e-mail: tulipa_83@mail.ru, a_ikrom@mail.ru;

²Urgench State University, Urgench, e-mail: xulkar@mail.ru, iskandarovabdulla@gmail.com

The current research work was carried out to determine the biotope of the true bugs in different agroecosystems in the North-West part of Uzbekistan. Experimental studies were carried out during 2017-2021 aiming to clarify the biotope in the Lower Amudarya regions, which covers different agroecosystems and natural landscapes in Khorezm and Karakalpakstan. The laboratory work was carried out in the Khorezm Academy of Ma'mun. According to our observation data it turned out that in all types of biotopes more than half of the species prefer wet habitats. Therefore, in the group of different mesophytic biotopes the share of these species is higher. Most of the species are more often found in fields where there are many mixed plants, especially their frequency of occurrence is higher in areas with glades, meadows and forest edges. The smallest number of species is detected in the steppe and semi-steppe zone, where there are few fodder plants and many open places. Biotope analysis has shown that mesophilic species which are important for faunal ecosystem formation on different plants occupy a special place. The data show that biotopes play a role in species distribution and provide formation of faunal complexes of true bugs.

Keywords: biotope, mesophytes, meso-xerophytes, xerophytes, Heteroptera

Среди животного мира насекомых клопы отряда Heteroptera занимают особое место по всему миру. Полужесткокрылые насекомые представляют самый крупный отряд животных с неполным превращением. Heteroptera принадлежит подотряду насекомых Hemiptera, ранее рассматривался в качестве самостоятельного отряда [1-3].

Некоторые эколого-фаунистические исследования, а также генетическая идентификация на различных видах клопов были замечены в литературе разных стран, например в США, Китае, Германии, Чехии, Испании, Франции, России, Турции, Узбекистане [4-6].

Литературы, посвященной сведениям о фауне наземных полужесткокрылых в разных биотопах Республики Узбекистан, немного [7-9]. Есть только краткая инфор-

мация о некоторых видах клопов, которая встречается также в научно-исследовательских работах по изучению и распределению видов фауны полужесткокрылых в Центральной Азии, в основном в южных регионах, охватывающих территории Самаркандской, Бухарской, Ташкентской, Андижанской, Ферганской, Кашкадарьинской, Сурхандарьинской областей, которые посвящены изучению фауны наземных полужесткокрылых Республики Узбекистана [10-12].

Изучение фауны и распространения клопов имеет важное теоретическое значение. Познание фауны изучаемых нами клопов, несомненно, важно и для практики, поскольку многие являются вредителями культурных овощных растений в сельском хозяйстве. Изучение региональных энтомо-

фаун является актуальным научным исследованием по всему миру. Решить эту задачу наиболее эффективно можно только в результате проведения многолетних исследований природных комплексов с использованием максимально возможного числа методов [13-15].

В связи с тем что исследования по изучению фауны полужесткокрылых в разных биотопах Хорезмской области и Республики Каракалпакстан в Северо-Западной части Узбекистана не проводились, в этой научной работе показано изучение и биотопический анализ фауны Heteroptera Узбекистана.

Целью данного исследования является определение клопов на различных биотопах в Северо-Западной части Узбекистана.

Материалы и методы исследования

Для сбора коллекции и анализа биотопа полужесткокрылых мы проводили научные работы по следующим методикам: А.Н. Кириченко (1957) [16]; М.А. Козлов и Е.М. Нинбург (1971) [17].

Мы выбрали более общепринятые методы для исследований, исходя из наших технических, а также экономических возможностей [16; 17].

Учетные регистрации клопов велись с марта по ноябрь, т.е. от начала дня пробуждения и до зимней паузы полужесткокрылых [18-20].

Изучение биотопа у наземных клопов нами проводилось в лабораторных, лабораторно-полевых и полевых условиях.

Экспериментальные исследования выполнялись в течение 2017-2021 гг., были направлены на уточнение биотопа полужесткокрылых в регионах Нижней Амударьи, которая охватывает различные агроценозы и природные ландшафты на территории Хорезма и Каракалпакстана.

Для коллекции собраны экземпляры клопов с разных полей в ф/х «Одилбек», «Амир Темур», «Гулрухбегим», «Олтин Кала», расположенных в Ургенском районе, в ф/х «Дилдора Божимон» и в ф/х «Буз Ос Еп», а также на учебно-опытной станции Учхоз УрГУ Янгибазарского района, в ф/х «Зироат-21» Кушкупирского района, в ф/х «Рахимберган Хожи Анбар» Хивинского района, в ф/х «Отабек гарчак» и «Гулканд Истикболли боги» Хонкинского района и в естественных ландшафтах Хорезмской области, а также в фермерских хозяйствах «Зарипбой», «Килчинок» и «Янгир» Элликалинского района Республики Каракалпакстан и заповеднике «Бадай-Тугай», а также на горе Каратау, Берунийский район, Республика Каракалпакстан.

Под полевые наблюдения были выбраны разные агроценозы: пшеница (сорта «Кума», «Асп» и «Гром»), хлопчатник (сорта «Хоразм 127», «Хоразм 150», «Мехнат»), капуста (сорта «Июньская» и «Судья Узбекский»), люцерна (сорта «Хива», «Хоразм 2»), фруктовые деревья – яблони (сорта «Гранит», «Голден», «Скарлет»), груши (сорта «Санта», «Мария»), в фермерских хозяйствах и естественных ландшафтах: тугайные деревья (тополь (*Populus*), туранга (*Turanga*), джида (*Elaeagnus*)) и кустарники.

Лабораторные работы проводились в Хорезмской академии Мамуна. Анализ для изучения особенностей распределения по биотопам у наземных клопов проводился на основании собственных наблюдений на растениях [21; 22].

Результаты исследования и их обсуждение

По указанным ранее в литературе и собранным автором данным, видовой состав содержит 149 видов наземных полужесткокрылых для территории Нижней Амударьи.

Наземные полужесткокрылые, в зависимости от их биологических и экологических особенностей, населяют определенные биотопы: степные и полупустынные мезофитные биотопы, лесные мезофитные биотопы, хорошо прогреваемые солнцем биотопы и умеренно влажные и сухие мезофитные биотопы, мезо-ксерофитные биотопы, ксерофитные биотопы и др.

Зоны биотопа определяются абиотическими (температура) и биотическими факторами. Биотопическое распределение наземных полужесткокрылых на территории Нижней Амударьи показано в таблице и на рисунке.

Как видно из данных таблицы и рисунка, наземные полужесткокрылые населяют 9 типов различных объектов на территории Нижней Амударьи.

Наибольшее количество видов отмечено в различных мезофитных биотопах, расположенных на опушках лесного массива и в других подобных биотопах, в разных степных и предгорных зонах; в этих биотопах было отмечено самое большое количество видов, что составляет 47 видов, или 31,54%.

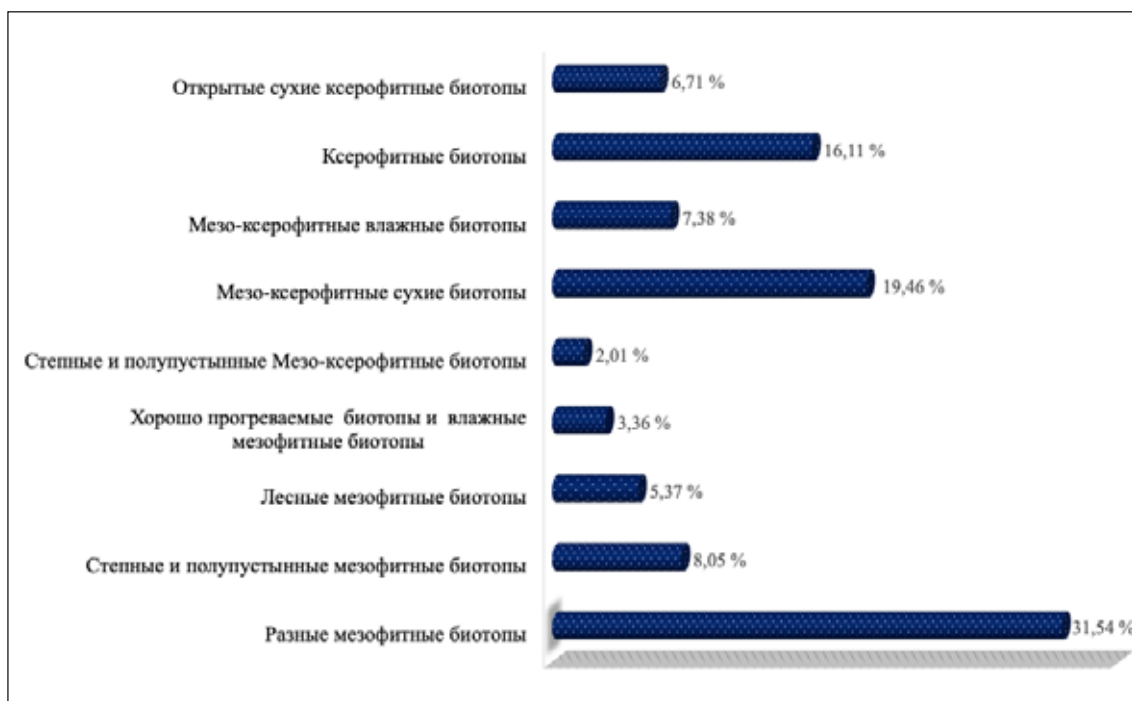
По полученным данным установлено, что следующими по разнообразию видов являются мезо-ксерофитные сухие биотопы, хорошо прогреваемые солнцем, и другие открытые биотопы по сухим скалам гор и в полупустынях, в степях; количество видов в этой зоне составило 29, или 19,46%, а в ксерофитных биотопах число видов составило 24 вида, или 16,11%.

Встречаемость наземных полужесткокрылых в разнообразных биотопах

| № | Типы биотопов | Виды | Кол-во видов | |
|----|---|---|--------------|-------|
| | | | Число видов | в % |
| 1. | Разные мезофитные биотопы: на опушках в разных лесных зонах | <i>Anthocoris pilosus</i> , <i>Orius ribauti</i> , <i>Deraeocoris punctulatus</i> , <i>Deraeocoris serenus</i> , <i>Agnocoris rubicundus</i> , <i>Brachycoleus decolor</i> , <i>Lygus punctatus</i> , <i>Lygus rugulipennis</i> , <i>Megacoelum brevirostre</i> , <i>Adelphocoris lineolatus</i> , <i>Adelphocoris seticornis</i> , <i>Orthops kalmi</i> , <i>Megaloceroea relicticornis</i> , <i>Stenodema calcarata</i> , <i>Stenodema laevigata</i> , <i>Trigonotylus ruficornis</i> , <i>Trigonotylus pulchellus</i> , <i>Campylomma annulicorne</i> , <i>Campylomma diversicorne</i> , <i>Campylomma verbasci</i> , <i>Heterocapillus tigripes</i> , <i>Macrotylus herrichi</i> , <i>Stephanitis pyri</i> , <i>Ectomocoris ululans</i> , <i>Camptopus lateralis</i> , <i>Coreus marginatus marginatus</i> , <i>Enoplops eversmanni</i> , <i>Corizus tetraspilus</i> , <i>Rhopalus parumpunctatus</i> , <i>Spilostethus rubriceps</i> , <i>Spilostethus pandurus</i> , <i>Beosus quadripunctatus</i> , <i>Emblethis denticollis</i> , <i>Emblethis griseus</i> , <i>Derula longipennis</i> , <i>Carpocoris pudicus</i> , <i>Dolycoris penicillatus</i> , <i>Holcostethus nitidus</i> , <i>Holcostethus strictus vernalis</i> , <i>Eurydema oleracea</i> , <i>Eurydema ornata</i> , <i>Eurydema wilkinsi</i> , <i>Eurydema maracandica</i> , <i>Eurydema ventralis</i> , <i>Graphosoma consimile</i> , <i>Graphosoma lineatum</i> , <i>Pyrrhocoris apterus</i> | 47 | 31,54 |
| 2. | Степные и полупустынные мезофитные биотопы: в предгорьях, пойменных тугаях на различных растениях | <i>Polymerus vulneratus</i> , <i>Polymerus cognatus</i> , <i>Notostira elongata</i> , <i>Orthotylus eleagni</i> , <i>Orthotylus flavosparsus</i> , <i>Tuponia elegans</i> , <i>Tuponia roseipennis</i> , <i>Tuponia pallida</i> , <i>Tingis leptochila</i> , <i>Stenolemus bogdanovii</i> , <i>Geocoris fedtschenkoi</i> , <i>Cellobius abdominalis</i> | 12 | 8,05 |
| 3. | Лесные мезофитные биотопы: лесная, лесостепная зоны | <i>Orius niger</i> , <i>Nabis viridis</i> , <i>Nabis rugosus</i> , <i>Lygus pratensis</i> , <i>Lygus pachynemus</i> , <i>Lygus gemellatus gemellatus</i> , <i>Palomena prasina</i> , <i>Apodiphus integriceps</i> | 8 | 5,37 |
| 4. | Хорошо прогреваемые солнцем биотопы и умеренно влажные мезофитные биотопы: в лесной зоне к берегам морей, рек, озер и в других открытых местах | <i>Nabis fesus</i> , <i>Nabis remanei</i> , <i>Stenodema trispinosa</i> , <i>Europiella alpina</i> , <i>Corizus hyoscyami hyoscyami</i> | 5 | 3,36 |
| 5. | Мезо-ксерофитные биотопы: в полупустынной, степной зонах, на пустошах, дорогах, в парках, а также на городских улицах | <i>Monosteira discoidalis</i> , <i>Bathysolen nubilus</i> , <i>Sehirus morio</i> | 3 | 2,01 |
| 6. | Мезо-ксерофитные сухие биотопы: на хорошо прогреваемых солнцем биотопах и в других открытых биотопах по сухим скалам гор и в полупустыне, степи | <i>Nabis sareptanus</i> , <i>Orthops basalis</i> , <i>Coranus aegyptius</i> , <i>Coranus subapterus</i> , <i>Reduvius testaceus</i> , <i>Oncocephalus brachymerus</i> , <i>Coriomeris vitticollis</i> , <i>Brachycarenum tigrinus</i> , <i>Corizus limbatus</i> , <i>Maccevethus corsicus persicus</i> , <i>Liorhyssus hyalinus</i> , <i>Rhopalus distinctus</i> , <i>Stictopleurus unicolor</i> , <i>Dicranocephalus ferghanensis</i> , <i>Dicranocephalus marginatus</i> , <i>Artheneis alutacea</i> , <i>Geocoris ater</i> , <i>Geocoris dispar</i> , <i>Geocoris lapponicus</i> , <i>Geocoris scutellatus</i> var. <i>Umbrosus</i> , <i>Engistus exsanguis exsanguis</i> , <i>Lygaeus equestris</i> , <i>Nysius graminicola graminicola</i> , <i>Ortholomus punctipennis</i> , <i>Emblethis verbasci</i> , <i>Aelia melanota</i> , <i>Codophila varia varia</i> , <i>Odontotarsus impictus</i> , <i>Scantius aegyptius rossii</i> | 29 | 19,46 |

Окончание табл.

| № | Типы биотопов | Виды | Кол-во видов | |
|---------------|---|---|--------------|------------|
| | | | Число видов | в % |
| 7. | Мезо-ксерофитные влажные биотопы: в солончаках, в поймах рек, в степной и полупустынной зонах, на обработанных полях и в степных биотопах | <i>Geocoris arenarius</i> , <i>Engistus salinus</i> , <i>Henestaris halophilus</i> , <i>Oxycarenus pallens</i> , <i>Emblethis ciliatus</i> , <i>Lamprodema maura</i> , <i>Aelia acuminata</i> , <i>Aelia furcula</i> , <i>Carpocoris fuscispinus</i> , <i>Desertomenida albula</i> , <i>Eurygaster integriceps</i> | 11 | 7,38 |
| 8. | Ксерофитные биотопы: в пустынной зоне, на опустыненных горных склонах | <i>Nabis palifer</i> , <i>Orius albidipennis</i> , <i>Stenodema turanica</i> , <i>Camptotylidea alba</i> , <i>Camptotylus meyeri</i> , <i>Reduvius christophi</i> , <i>Reduvius elegans</i> , <i>Reduvius fedtschenkianus</i> , <i>Reduvius semenovi</i> , <i>Oncocephalus termezanus</i> , <i>Megalotomus ornaticeps</i> , <i>Hyalocoris pilicornis</i> , <i>Aethus pilosus</i> , <i>Byrsinus fossor</i> , <i>Stibaropus hohlbecki</i> , <i>Amaurocoris candidus</i> , <i>Desertomenida quadrimaculata</i> , <i>Menaccarus deserticola</i> , <i>Tarisa elevata</i> , <i>Tarisa fraudatrix</i> , <i>Tarisa pallescens</i> , <i>Tarisa virescens</i> , <i>Odontotarsus angustatus</i> , <i>Centrocoris volxemi</i> | 24 | 16,11 |
| 9. | Открытые сухие ксерофитные биотопы: в пустынно-степной зоне, песчаной зоне, на предгорных участках и каменистых склонах гор | <i>Prostemma sanguineum</i> , <i>Rhynocoris monticola monticola</i> , <i>Rhynocoris nigronitens</i> , <i>Vachiria deserta</i> , <i>Reduvius disciger</i> , <i>Bothrostethus annulipes</i> , <i>Chorosoma schillingii</i> , <i>Bleteogonus beckeri</i> , <i>Microporus nigrita</i> , <i>Brachynema germari</i> | 10 | 6,71 |
| Всего: | | | 149 | 100 |



Разделение наземных полужесткокрылых в разнообразных биотопах

В степных и полупустынных мезофитных биотопах в предгорьях, пойменных тугаях на различных растениях количество видов составило 12, или 8,05%.

В зоне мезо-ксерофитных влажных биотопов на обработанных полях и в степных биотопах обитают 11 видов, что составляет 7,38% наземных клопов, и в этих биотопах преимущественно более галофильные виды достигают высокой численности.

В открытых сухих ксерофитных биотопах в пустыне, в степных, песчаных биотопах, предгорьях и на каменистых склонах число видов составило 10, или 6,71%.

Меньшее количество наземных клопов было в лесных мезофитных биотопах, и они составили 8 видов, или 5,37%, а в хорошо прогреваемых солнцем биотопах и умеренно влажных мезофитных биотопах в лесной зоне, по берегам морей, рек, озер число видов составило 5, или 3,36%.

Наименьшее число из всех видов отмечено в мезо-ксерофитных биотопах – 3 вида, или 2,01%, в полупустынных, степных зонах, на пустошах.

Выводы

Биоматериалы, собранные с природных территорий и агроценозов во все сезоны, были проанализированы для определения биотопа видов наземных полужесткокрылых, принадлежащих к разным семействам, которые распространены на территории Северо-Запада Узбекистана.

По результатам нашего эксперимента можно сделать вывод, что структура видов биотопического анализа связана с климатическими условиями и факторами, точнее засушливость, влажность и температура являются главными определяющими факторами для распространения видов в биотопах, и видовой состав флоры в биотопах тоже имеет значение.

Эти факторы контролируют динамику встречаемости наземных клопов в различных антропогенных и естественных зонах [23].

В общем, во всех типах биотопов более половины видов предпочитают влажные места обитания. Поэтому в группе разных мезофитных биотопов доля этих видов выше. Большинство видов чаще встречается на полях, где растет много смешанных растений, особенно их частота встречаемости выше на участках с полянами, лугами, опушками леса. Наименьшее количество видов определено в степной и полустепной зонах, где мало кормовых растений и много открытых мест.

Анализ биотопов показал, что особое место занимают мезофильные виды, кото-

рые важны для формирования фаунистических экосистем на разных растениях.

По данным установлено, что биотопы играют роль в распространении видов и обеспечивают формирование фаунистических комплексов.

Список литературы

- Henry T.J. Biodiversity of Heteroptera. In: Footitt R.G., Adler P.H. (Eds.). *Insect Biodiversity. Science and Society*. Vol. I. Second edition. Wiley-Blackwell Press. Oxford, 2017. 904 p.
- Panizzi A.R., Grazia J. Introduction to True Bugs (Heteroptera) of the Neotropics. 3-20 p. In: Panizzi A., Grazia J. (eds) *True Bugs (Heteroptera) of the Neotropics. Entomology in Focus*. Vol. 2. Springer, Dordrecht. 2015. [Электронный ресурс]. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9861-7_1 (дата обращения: 17.06.2022).
- Yu S., Wang Y., R Edei D., Xie Q., Bu W. Secondary structure models of 18S and 28S rRNAs of the true bugs based on complete rDNA sequences of *Eurydema maracandica* Oshanin, 1871 (Heteroptera, Pentatomidae) // *ZooKeys*. 2013. № 319. P. 363-377.
- Zhao W.Q., Zhao Q., Li M., Wei J., Zhang X.H., Zhang H.F. DNA barcoding of Chinese species of the genus *Eurydema* Laporte, 1833 (Hemiptera: Pentatomidae) // *Zootaxa*. 2017. № 4286. P. 151-175.
- Николаева А.М., Ручин А.Б., Трущицына О.С., Семшин Г.Б., Трапезникова И.В. Исследование фауны полужесткокрылых насекомых-дендробионтов (Insecta, Heteroptera) с использованием метода барьерных ловушек // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2019. Вып. 228. С. 120-134.
- Djaman K., Higgins Ch., O'Neill M., Begay Sh., Kou-dah K., Allen S. Population dynamics of six major insect pests during multiple crops growing seasons in Northwestern New Mexico // *Insects*. 2019. V. 10. No. 11. P. 1-16.
- Мусаев Д.М., Холматов Б.Р., Мусаева М.К. Фауна и биоэкология Hemiptera: Miridae в агробиоценозах Южного Узбекистана // *Научный вестник Наманганского государственного университета*. Наманган, 2019. No. 7. С. 90-97.
- Мусаев Д.М. Клопы мириды (Hemiptera: Miridae) Южного Узбекистана (фауна, экология, хозяйственное значение): Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора философии (Phd) в области биологических наук. Ташкент, 2020. 48 с.
- Мусаев Д.М., Саттаров Н.Р., Холматов Б.Р., Тошбадалов Б.Б. Фауна клопов мириды (Hemiptera: Miridae) в Сурхандарьинских хлопково-люцерновых агробиоценозах // *Вестник АН РУз «Молодые ученые»*. Ташкент, 2020. No. 1 (3). С. 83-87.
- Zokirov I.I., Azimov D.A. The Fauna of insects of vegetables and melons of Central Fergana, especially its distribution and ecology // *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2019. № 8(8). P. 930-937.
- Razzakov K.B., Abdullaev I.I., Sapparboev K.O., Al-laberganova M.M. Natural entomophages of *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) in Uzbekistan // *Int. J. Biol.* 2019. № 11(4). P. 42-50. DOI: 10.5539/ijb.v11n4p42.
- Сулаймонов Б.А., Болтев Б.С., Анорбев А.Р., Камиллов Ш.Г., Аблазова М.М., Махмудова Ш.А. Общая и сельскохозяйственная энтомология. Ташкент, 2019. 306 с.
- Гребенников К.А. Изучение биоразнообразия заповедников России в цифровой эпохе: опыт и перспективы // *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. 2016. № 1 (2). С. 1-10.
- Taszakowski A., Kim J., Damken C., Wahab R.A., Herczek A., Jung S. Two new genera and species of the Gigantometopini (Hemiptera, Heteroptera, Miridae, Isometopinae) from

Borneo with remarks on the distribution of the tribe // ZooKeys. 2020. № 941. P. 71-89.

15. Picker M.D., Griffiths C.L. Sycamore Tree Lace Bug (*Corythucha ciliata* Say) (Hemiptera: Tingidae) Reaches Africa // African Entomology, 2015. № 23(1). P. 247-249.

16. Кириченко А.Н. Методы сбора настоящих полужесткокрылых и изучения местных фаун. АН СССР, Зоол. ин-т. Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР, 1957. 123 с.

17. Козлов М.А., Нинбург Е.М. Ваша коллекция. М.: Просвещение. 1971. 160 с.

18. Ганджаева Л.А., Абдуллаев И.И., Абдуллаева С.И. Анализ динамики численности популяций среднеазиатских клопов на сельскохозяйственных культурах на территории реки Нижней Амударьи (*Heteroptera, Pentatomidae, Eurydema*) // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. №3. С. 94-100.

19. Ганджаева Л.А., Абдуллаев И.И., Раззаков К.Б. Характеристика идентифицированных видов насекомых на капусте в условиях Хорезмской области // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. №4. С. 7-12.

20. Ганджаева Л.А., Аллабергенова К.С. Весеннее пробуждение клопов с зимовки // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы теории и практики развития научных исследований». Екатеринбург, 2020. С. 267-270.

21. Gandjaeva L.A., Effect of temperature on embryonic development of the Central Asian Cabbage bug. I International Multidisciplinary Conference «Recent Scientific Investigation». Shawnee. USA. 2020. P. 6-9.

22. Gandjaeva L.A., Ismayilova I., Saidova S. The Central Asian Cabbage Bugs. Tendenze attuali della moderna ricerca scientifica: der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΟΓΟΣ» zu den Materialien der internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz. Stuttgart, Deutschland, 2020. Band 2. P. 122-123.

23. Gandjaeva L.A., Abdullaev I., Razzakov K., Allahbergenova K. Climate impact on the population dynamics of Cruciferae Bugs (Heteroptera, Pentatomidae, *Eurydema*). Journal «EurAsian Journal of BioSciences». Turkey. 2020. No. 14. P. 3349-3358.

УДК 574.24:597

УРОВЕНЬ НАТРИЕМИИ В АДАПТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ У ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* L. (PERCIDAE)

Запруднова Р.А., Гарина Д.В.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Ярославская область,
п. Борок, e-mail: darina@ibiw.ru

Концентрацию Na^+ в плазме крови окуня *Perca fluviatilis* L., обитающего в реке Волге, сопоставляли с таковой у 18 видов пресноводных костистых рыб и хрящевых ганоидов из того же водоема. Показано, что окунь по уровню натриемии превосходит всех известных, по нашим собственным и литературным данным, пресноводных и полупроходных рыб (более 30 видов). Поэтому электрохимический градиент по Na^+ на мембране клеток у окуня выше и, следовательно, выше интенсивность энергетических процессов, обеспечивающих общую (неспецифическую) устойчивость этого вида рыб к неблагоприятным факторам. Судя по литературным данным, вселенцы и проходные рыбы, характеризующиеся более высокой энергетикой, в пресной воде также имеют высокий уровень натриемии, сопоставимый с таковым у окуня. Кроме того, пресноводные хищные виды рыб имеют более высокие значения ионов натрия в плазме крови, чем мирные. Приводятся примеры повышенной устойчивости окуня к неблагоприятным факторам и анализируются некоторые специфические физиолого-биохимические механизмы этой устойчивости. Обсуждаются возможные причины некоторого отличия показателей концентрации Na^+ в плазме крови у одного и того же вида рыб, приводимых разными авторами.

Ключевые слова: окунь, ионы натрия, плазма крови, энергетика, устойчивость

THE LEVEL OF NATREMIA IN THE ADAPTATION PROCESSES IN *PERCA FLUVIATILIS* L. (PERCIDAE)

Zaprudnova R.A., Garina D.V.

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
Borok, Yaroslavskaya oblast, e-mail: darina@ibiw.ru

The concentration of Na^+ in the blood plasma of perch *Perca fluviatilis* L. living in the Volga River has been compared with that of 18 species of freshwater teleosts and cartilaginous ganoids from the same reservoir. It has been shown that the level of natremia in perch surpasses that in all freshwater and semi-anadromous fish known from own and literature data (more than 30 species). Therefore, the electrochemical Na^+ gradient on the perch cell membrane is higher and, consequently, the intensity of energy processes is higher, which ensures the general (nonspecific) resistance of this fish species to adverse factors. Based on the literature data, invaders and migratory fish, which are characterized by higher energy, also have a high level of sodium ions in fresh water, comparable to that of perch. In addition, freshwater predatory fish species have higher plasma sodium values than peaceful ones. Examples of increased perch resistance to adverse factors are given and some specific physiological and biochemical mechanisms of this resistance are analyzed. Possible reasons for some differences in the concentration of Na^+ in the blood plasma in the same fish species given by different authors are discussed.

Keywords: perch, sodium ions, blood plasma, energy, sustainability

Речной окунь *Perca fluviatilis* L. широко распространен в водоемах Северного и Южного полушария, встречается практически во всех регионах России. В бассейнах всех крупных рек Сибири окунь является распространённым промысловым видом, он также широко представлен в водоемах европейской части России и Уральского региона, хотя и не имеет большого промыслового значения [1–3]. При интродукции окунь легко адаптируется к новому местобитанию [1; 3], устойчив к загрязняющим веществам антропогенной природы [1], нетребователен к условиям внешней среды во время нереста. В закисленных озерах этот вид рыб зачастую является единственным представителем ихтиофауны. Окунь также относительно устойчив к низкому содержанию кислорода в воде и используется в качестве объекта аквакультуры.

В современной экологии к числу наиболее важных направлений относится изучение физиолого-биохимических механизмов устойчивости животных к неблагоприятным условиям существования. Необходимо признать, что участию ионов в метаболизме у рыб уделяется недостаточно внимания.

Цель настоящего исследования – выяснить роль уровня натриемии в высокой жизнеспособности и широком диапазоне адаптивных реакций пресноводного окуня в изменяющихся условиях среды.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на окуне *Perca fluviatilis* L. (сем. окуневые Percidae). Рыб отлавливали неводом в летний период (с середины июня до начала сентября) преимущественно в Рыбинском водохранилище, небольшая часть материала была

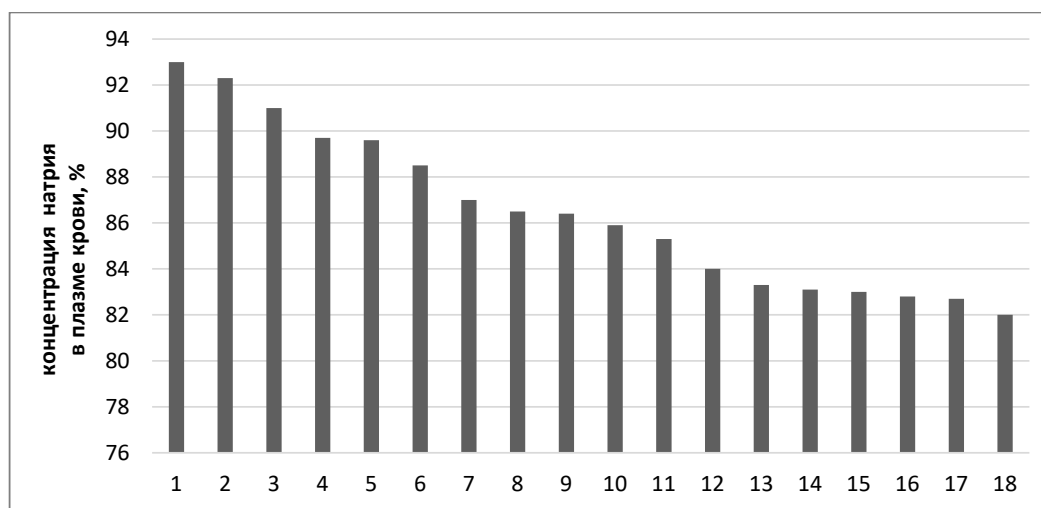
поймана в Волгоградском водохранилище. Было изучено 29 половозрелых особей (самцы и самки). Масса окуней, выловленных в Рыбинском водохранилище – 125 ± 4.0 г, в Волгоградском – 239 ± 7.0 г. Забор крови у рыб осуществляли сразу после отлова, продолжительностью не более 15 мин. Кроме того, концентрацию ионов натрия в плазме крови также определяли у половозрелых особей 18 видов рыб из Рыбинского, Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ. Из костистых рыб изучали представителей 5 семейств: сем. карповые Cyprinidae – серебряный карась *Carassius auratus gibelio* (Bloch) (n=13), линь *Tinca tinca* L. (n=17), лещ *Abramis brama* L. (n=62), плотва *Rutilus rutilus* L. (n=24), синец *Abramis ballerus* L. (n=16), сазан *Cyprinus carpio* L. (n=12), язь *Leuciscus idus* L. (n=6), чехонь *Pelecus cultratus* L. (n=7), жерех *Aspius aspius* L. (n=4), густера *Blicca bjoerkna* L. (n=9), белоглазка *Abramis sapa* (n=5); сем. окуневые Percidae – судак обыкновенный *Sander lucioperca* L. (n=9), ёрш *Acerina cernua* L. (n=4), берш *Sander volgensis* Gmelin (n=5); сем. щуковые Esocidae – щука *Esox lucius* L. (n=21); сем. налимовые Lotidae – налим *Lota lota* L. (n=18); сем. лососевые Salmonidae – ряпушка европейская *Coregonus albus* (n=5). Костные ганоиды представлены одним видом из сем. осетровые Acipenseridae: стерлядь *Acipenser ruthenus* L. (n=18). У нескольких из перечисленных видов рыб

была измерена также концентрация ионов натрия в мышцах.

Кровь отбирали из хвостовой вены после каудотомии, центрифугировали при 1800 г. Супернатант (плазму) разводили в 100 раз дистиллированной водой. Навески мышц растворяли в концентрированной азотной кислоте и разбавляли в 1000 раз дистиллированной водой. Концентрацию ионов натрия определяли с помощью пламенного фотометра Flapho-4 (Carl Zeiss, Jena, Германия) в воздушно-пропановом пламени. Результаты представлены в виде средних значений и ошибки средней. Проверку на нормальность распределения выборочных данных проводили с использованием теста Шапиро-Уилка. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента при $p < 0.05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Сразу после отлова концентрация Na^+ в плазме крови окуня составляла 156 ± 2 ммоль/л. По уровню натриемии окунь превосходил другие виды пресноводных рыб (рисунок); различия достоверны ($p < 0.05$). По литературным данным [4; 5], концентрация Na^+ в плазме крови окуня находится в диапазоне 154–159.3 ммоль/л. Однако уровень натриемии у окуня может быть и выше: 177 ммоль/л [6], что наблюдалось у половозрелых особей окуня лишь в период нереста.



Уровень натриемии у ряда видов пресноводных рыб

Примечание. Значения концентрации Na^+ в плазме крови рыб приводятся в сравнении с таковым у окуня, принятым за 100%.

Обозначения по оси ОХ: 1 – судак, 2 – щука, 3 – берш, 4 – язь, 5 – стерлядь, 6 – налим, 7 – густера, 8 – чехонь, 9 – ерш, 10 – жерех, 11 – сазан, 12 – лещ, 13 – плотва, 14 – карась, 15 – линь, 16 – синец, 17 – белоглазка, 18 – ряпушка

По литературным данным, концентрация Na^+ в плазме крови у некоторых из рассматриваемых в настоящей работе видов рыб, встречающихся как в Волге, так и в других пресных водоемах планеты, а также других видов пресноводных и полупроходных рыб уступает таковому у окуня. Так, изучены ещё толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix*, красноперка *Scardinius erythrophthalmus*, сом *Silurus glanis*, уклея *Alburnus alburnus*, полупроходная плотва *Rutilus rutilus caspicus*, радужная *Salmo gairdneri* и ручьевая форель *Salvelinus fontinalis*, золотой карась *Carassius carassius* [4; 5], а также мозамбикская тилапия (*Oreochromis mossambicus*), полупроходные рыбы *Masu salmon*, Аюи и пресноводные тропические рыбы [7; 8]. Уровень натриемии указанных видов рыб на 10–40 ммоль/л ниже, чем у окуня.

Таким образом, основываясь на собственных и литературных данных, можно заключить, что более 30 видов пресноводных и полупроходных рыб уступают окуню по уровню натриемии. При этом хищные рыбы (щука, судак, берш, налим, язь и др.) находятся ближе к окуню по значению концентрации ионов натрия в плазме крови (различия в 10–15 ммоль/л), чем мирные (карась, карп, плотва, лещ, синец, линь и др.) – на 20–30 ммоль/л. В результате концентрационный градиент по натрию между наружной (водой) и внутренней (плазмой крови) средой у окуня в 1.1–1.2 раза выше, чем у других видов пресноводных рыб.

После одинакового стрессового воздействия у окуня отмечена менее выраженная, чем у других видов рыб, гипонатриемия. Например, через сутки после отлова и транспортировки в лабораторию величина гипонатриемии у окуня равнялась 4.5%, а у щуки, леща и плотвы в аналогичных условиях составляла соответственно 7, 14 и 11%. Это может указывать на то, что ионные процессы окуня более лабильны, а скорость восстановления ионных параметров выше, чем у других пресноводных рыб.

Сразу после отлова концентрация ионов натрия в мышцах окуня равнялась 23.5 ± 1.7 ммоль/л. Значения концентрации ионов натрия в скелетной мышечной ткани у многих пресноводных рыб близки, например у щуки, плотвы и леща составляли соответственно 22.5 ± 1.6 , 22.9 ± 1.3 , 24.3 ± 1.4 ммоль/л, т.е. сходны с таковой у окуня. Полученные данные указывают на более высокий концентрационный (и электрохимический) градиент по Na^+ на клеточной мембране скелетных мышц у окуня, чем других видов рыб. Можно предположить аналогичные соотношения и для других тканей.

Общеизвестно, что натрий-зависимые системы котранспорта на мембране клеток у животных обеспечивают потребность клетки в различных веществах. Таким образом, ионные концентрационные градиенты на мембране клеток (эпителиальных, хрящевых, мозговых и других) можно рассматривать как резервуары свободной энергии, используемой в различных физиологических процессах, а также как механизм поддержания устойчивой неравновесности организма рыб в качестве живой системы.

Таким образом, полученные данные позволяют говорить о большей неравновесности организма окуня как живой системы и о более высоком энергетическом и, следовательно, жизненном потенциале окуня по сравнению с другими представителями пресноводных рыб. Известна повышенная в сравнении с другими видами пресноводных рыб способность окуня к утилизации и ресинтезу АТФ, сходная с таковой у агрессивных инвазионных видов: бычка песочника *Neogobius fluviatilis* и бычка кругляка *N. melanostomus* [1]. Рыбы семейства бычковые Gobidae, ранее обитавшие только в устье Днепра, расселились по всему его бассейну, а также активно заселяют многие пресноводные водоемы Европы и Северной Америки. Известно, что у вселенцев высокий уровень натрия в плазме крови (не менее 154 ммоль/л), высок он и соизмерим с таковым у окуня и у проходных видов рыб, много энергии расходуящих на миграцию (155.4 – 170 ммоль/л) [4]. Вероятно, по такому же принципу можно объяснить различия в уровне натриемии между хищными пресноводными и мирными рыбами: первые обладают более высокой энергетикой и, следовательно, имеют более высокое содержание натрия во внутренней среде.

Ранее [9] показаны изменения в системе водно-солевого равновесия у рыб при стрессе, вызываемом стрессорами разного качества и количества, и обоснована ведущая роль концентрационных градиентов Na^+ на мембране клеток в энергетике организма рыб при стрессе. Показано, что у рыб и высших позвоночных животных гипонатриемия свидетельствует о неблагополучии организма (патологический стресс или дистресс). При этом существует прямая зависимость между величинами гипонатриемии и неблагополучия. При физиологическом стрессе (или эустрессе), когда происходит повышение устойчивости организма к неблагоприятным факторам и усиление анаболических процессов, отклонения в плазме крови направлены в сторону повышения концентрационных градиентов Na^+ на клеточной мембране. Таким образом, и с дан-

ных позиций высокий уровень натриемии у окуня является показателем его высокой энергетики.

Хотя окунь превосходит всех пресноводных рыб по уровню натриемии, но в пределах одного вида (как окуня, так и других) возможны некоторые отличия в значениях концентрации Na^+ в плазме крови рыб, приводимых разными авторами. Основная причина здесь заключается в том, что уровень натриемии у животных зависит от состояния животного, а поимка, тем более транспортировка являются стрессорами. Отлов в зависимости от его силы и продолжительности, а также возраста рыб, температуры воды мог вызывать как физиологический, так и патологический стресс [9]. В наших опытах условия взятия крови унифицированы и стресс сведен к минимуму: кратковременный отлов и немедленное взятие крови у половозрелых особей при одинаковой или близкой температуре воды. Из литературных источников об условиях взятия проб крови у рыб иногда многое остается неясным. Можно предположить, что одна из причин особенно высокого уровня натриемии у ювенильных особей окуня в работе иностранных исследователей [6] могла быть связана со стрессовыми манипуляциями. У проходных осетровых (русского осетра *Acipenser guldenstadti* и севрюги *A. stellatus*) в пресной воде концентрация ионов натрия во внутренней среде ниже, чем у окуня: 121–129 ммоль/л [4]. У осетровых, возможно, это связано со стрессовым влиянием как отлова, так и длительной (несколько часов без воды) транспортировки крупных особей, предшествующей взятию у них крови. Однако нельзя исключить, что гипонатриемия у проходных осетровых рыб могла быть обусловлена и древним происхождением этих животных и поэтому несовершенством систем ионной регуляции, в частности жаберных ионообменных механизмов. У кижуча *Oncorhynchus kisutch* в пресной воде уровень натриемии не выше 110 ммоль/л [10]. У кижуча пробы крови могли быть собраны уже в предгибельном состоянии рыб, для которого характерна гипонатриемия.

Высокий уровень энергетики окуня можно рассматривать в качестве неспецифического механизма его высокой жизнеспособности, обеспечивающей успешную адаптацию при вселении в новые водоёмы и активную конкуренцию с другими видами рыб. Высокий уровень энергетики окуня позволяет ему также обладать повышенной неспецифической устойчивостью к разного рода неблагоприятным факторам, таким как выбросы промышленных предприятий

и смывы с полей химических удобрений, что в конечном итоге способствует благополучному существованию этого вида рыб. У окуня выявлена более высокая по сравнению с другими видами пресноводных рыб устойчивость пищеварительных ферментов к токсикантам [11].

У окуня выявлена способность жить и размножаться в недостаточно благоприятных условиях искусственного содержания [6]. С его высоким энергетическим потенциалом может быть связана также повышенная скорость метаболических процессов. Помимо более высокой скорости в сравнении с другими рыбами восстановления натриевого гомеостаза после стресса, можно указать на более быстрый вывод продуктов распада введенных бактерий [12], что, в свою очередь, может свидетельствовать о большей устойчивости этого вида к болезням.

Окунь обладает высокой устойчивостью к низкому рН воды (до рН 3.5), которая обеспечивается, главным образом, специфическими физиолого-биохимическими механизмами адаптации. К таким механизмам относятся низкая чувствительность Na^+/H^+ обмена через жабры к закислению воды, высокий эффект Бора и низкое сродство гемоглобина к кислороду в кислой среде [13; 14], а также высокая способность Na^+/H^+ обмена через мембрану эритроцитов к защелачиванию внутриклеточной среды [15]. Возможно, другие не исследованные в сравнительном аспекте буферные системы у окуня также более эффективны, чем у других рыб.

Окунь относительно устойчив к недостатку кислорода в воде: нормальная жизнедеятельность его возможна при содержании кислорода до 3 мг/л. В низких температурах воды его потребности в кислороде столь же невелики, как у карася. В данном случае также приходится говорить о специфических механизмах устойчивости к гипоксии. У окуня высокое сродство гемоглобина к кислороду, такое же, как и у устойчивых к гипоксии карася, линя, угря, сома [13; 14]. У окуня, как у устойчивых к гипоксии рыб, в эритроцитах содержится высокий уровень ионов калия. Можно предположить у окуня более высокое содержание гемоглобина в крови и лучшее обеспечение организма кислородом по сравнению с другими видами рыб на основе более высокой величины гематокрита, чем у карповых и щуки [15].

Широкое расселение окуня в водоёмах планеты обусловлено, главным образом, сознательной антропогенной интродукцией. Окунь не принадлежит к типичным инвазионным видам, он не совершает длитель-

ных миграций в поисках пищи и других благоприятных условий для существования по причине своих высоких адаптивных возможностей, которые, в свою очередь, обеспечиваются как общими, так и специфическими физиолого-биохимическими механизмами адаптации.

Заключение

Показано, что уровень натриемии у окуня значительно превышает таковой у всех известных нам по собственным и литературным данным пресноводных полупроходных видов рыб. Высокая концентрация ионов натрия в плазме крови окуня свидетельствует о повышенном энергетическом потенциале этого вида рыб и рассматривается в качестве неспецифического механизма повышения общей жизнеспособности и устойчивости к различным неблагоприятным факторам. В работе также проанализированы специфические физиолого-биохимические механизмы повышенной устойчивости окуня к низкому рН среды и гипоксии.

Исследование выполнено в рамках госзадания, тема №121050500046-8.

Список литературы

1. Романенко В.Д., Потрохов А.С., Зиньковский О.Г. Влияние условий обитания некоторых инвазионных и абригенных видов рыб на активность ферментов их энергетического обмена // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов: материалы I Всероссийской конференции с международным участием (Борок, 12-16 сентября 2011 г.). М.: Акварос, 2011. Т. 2. С. 666–673.
2. Герасимов Ю.В., Иванова М.Н., Столбунов И.А., Павлов Д.Д. Окунь // Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология. Ярославль: Филигрань, 2015. С. 331–347.
3. Кудерский Л.А. Избранные труды. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам. Т.4. Аклиматизация рыб в водоемах: сборник научных трудов ФГНУ «ГосНИОРХ». Выпуск 343. СПб.-М.: Тов-во научных изданий КМК, 2015. 290 с.
4. Лаврова Е.А., Наточин Ю.В. Концентрация натрия и магния в среде обитания и водно-солевой обмен рыб // Экология. 1978. № 2. С. 49–54.
5. Флерова Г.И. Внутривидовые и межвидовые различия катионного состава плазмы крови и эритроцитов некоторых пресноводных рыб // Вопросы ихтиологии. 1983. Т. 23. № 1. С. 126–134.
6. Overton J.L., Bayley M., Paulsen H., Wang T. Salinity tolerance of cultured Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L.: effects on growth and on survival as a function of temperature. *Aquaculture*. 2008. Vol. 277. P. 283–286.
7. Robertson L.M., Val A.L., Almeida-Val V.F., Wood C.M. Ionoregulatory aspects of the osmoregulatory compromise during acute environmental hypoxia in 12 tropical and temperate teleosts. *Physiol Biochem Zool*. 2015. Vol. 88. P. 357–370. DOI: 10.1086/681265.
8. Seibel H., Baßmann B., Rebl A. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Front. Vet. Sci*. 2021. Vol. 8:616955. DOI: 10.3389/fvets.2021.616955.
9. Zaprudnova R. A. Level of natremia as an index of the condition of the organism of animals under stress. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12. No. 1. P. 103–108. DOI: 10.15421/022116.
10. Damsgaard C., McGrath M., Wood C.M., Richards J.G., Brauner C.J. Ion-regulation, acid/base-balance, kidney function, and effects of hypoxia in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, after long-term acclimation to different salinities. *Aquaculture*. 2020. Vol. 528. P. 735571. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735571.
11. Aminov A.I., Golovanova I.L. Effect of roundup on the activities of glycosidase in the intestines of typical and facultative ichthyophages as a function of temperature and pH. *Inland Water Biology*. 2020. Vol. 13. No. 2. P. 291–296. DOI: 10.1134/S1995082920020029.
12. Балабанова Л.В. Судьба парентерально введенных бактерий в организме рыб // Физиология и паразитология пресноводных животных. Труды ИБВВ АН СССР. Л., 1979. Вып. 38(41). С. 88–104.
13. Kamshilov I.M., Zaprudnova R.A., Chalov Yu.P. Functional properties of hemoglobin in perch (*Perca fluviatilis* L.). *Inland Water Biology*. 2014. Vol. 7. No. 4. P. 394–396. DOI: 10.1134/S1995082914040051.
14. Zaprudnova R.A., Kamshilov I.M., Chalov Yu.P. Functional properties of hemoglobin during the adaptation of fish to low environmental pH. *Inland Water Biology*. 2015. Vol. 8. No. 2. P. 188–194. DOI: 10.1134/S1995082915020157.
15. Запрудова Р.А. Эритроцитарные катионы в адаптационных процессах у окуня *Perca fluviatilis* L. (Percidae) // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 12. С. 57–62.

УДК 57:544.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Курманбаев А.А., Жатканбаев Е.Е., Садыков А.М., Хасенова Э.Ж., Молдагулова А.К., Кульмагамбетова Р.Х., Усенова А.А., Шойынбаева А.С., Куртибай К.А.

ТОО «Экостандарт.KZ», Нур-Султан, e-mail: wberel@gmail.com

В последнее время широкое применение получили топливные элементы на основе Constructed Wetlands осадочного типа. Одним из последних исследований является изучение возможности генерации электроэнергии в системах CW. Область применения: возобновляемые источники энергии, очистка водоемов, а также комбинирование процессов водоочистки канализационных очистных сооружений и генерации электроэнергии. Целью данной работы является определение оптимального дизайна растительно-микробных топливных элементов (РМТЭ), оценка электрогенной активности различных растений и проведение анализа состава микрофлоры. В работе приведены результаты по использованию комбинированных конструкций растительно-микробных топливных элементов, способных обеспечить очистку сточных вод и генерировать электроэнергию. Представлен дизайн разработанной конструкции – однокамерная установка РМТЭ, без применения мембран. Исследованы различные электрогенные параметры в зависимости от используемых электродных материалов, расстояния между электродами, формы, размера электродов и вида растений. Полученные результаты позволяют судить о высокой электрогенной активности микрофлоры на корнях водных растений пистии и эйхорнии. Оптимальным расстоянием между электродами является 100–200 мм. Также классическими микробиологическими методами проведен анализ состава микрофлоры на различных электродах, использованных на экспериментальных установках.

Ключевые слова: микробный топливный элемент, очистка, сточные воды, электроэнергия, микроорганизмы

USING VEGETABLE-MICROBIAL FUEL CELL ELEMENTS TO OBTAIN ELECTRICAL CURRENT AND WASTEWATER TREATMENT

Kurmanbayev A.A., Zhatkanbayev Ye.Ye., Sadykov A.M., Khassenova E.Zh., Moldagulova A.K., Kulmagambetova R.Kh., Ussenova A.A., Shoiynbayeva A.S., Kurtibay K.A.

LLP «Ecostandart.KZ», Nur-Sultan, e-mail: wberel@gmail.com

Recently, fuel elements based on Constructed Wetlands sedimentary type have received widely used. One of the latest studies is the possibility of generating electricity in CW systems. Scope: renewable energy sources, cleaning of water bodies, as well as combining the processes of water treatment of sewage treatment plants and electricity generation. The aim of this work is to determine the optimal design of plant-microbial fuel elements (RMTE), evaluate the electrogenic activity of various plants and conduct an analysis of the composition of microflora. The work provides results on the use of combined structures of plant-microbial fuel elements that can provide wastewater treatment and generate electricity. The design of the developed design is presented – a single-chamber installation of RMTE, without the use of membranes. Various electrogenic parameters are taken depending on the electrode materials used, the distance between the electrodes, the shape, the size of the electrodes and the type of plants. The results obtained allow us to judge the high electrogenic activity of microflora on the roots of aquatic plants of pistias and eichnorias. The optimal distance between the electrodes is 100 – 200 mm. Also, classic microbiological methods, an analysis of the composition of microflora on various electrodes used on experimental installations was carried out.

Keywords: microbial fuel cell, purification, wastewater, electricity, microorganisms, electrode

Резкое увеличение спроса на воду и энергию при одновременном их дефиците усиливает вероятность гуманитарного кризиса. Как ожидается, в следующем десятилетии нехватка доступной пресной воды и рост потребления энергии составят 40% и 36% соответственно, что потребует устойчивых решений этих проблем [1]. Существующие способы очистки сточных вод страдают от дисбаланса в соотношении работа-энергия в обеспечении стандартов очистки [2].

В настоящее время общепризнанно, что сточные воды являются возобновляемыми источниками энергии, удерживающими в химических связях органического ве-

щества энергию в несколько раз большую, чем требуется для их очистки [3]. Концепции преобразования отходов в энергию и разработки менее энергоемких технологий управления сточными водами развивались и широко исследовались во всем мире. Разработка экономичных и энергонейтральных технологий в настоящее время является наиболее востребованным подходом [4].

Водоемы, в которые попал избыток органических веществ (например, из канализации или из стоков скотоводческих ферм), становятся «мертвой зоной»: в них зацветает вода и гибнет рыба и фауна. Чтобы этого не допустить, необходимо очищать воды от органических загрязнений. В среднем

развитые страны ежегодно тратят на такие мероприятия до 3% всей вырабатываемой энергии.

Для повышения степени очистки и снижения потерь энергии используется биологическая доочистка. Наиболее простым и эффективным способом служит почвенная очистка по технологии полей орошения и фильтрации, а также ветланды. К биологическим способам очистки относятся и растительно-микробные топливные элементы (РМТЭ), которые позволяют минимизировать потери энергии, превратив очистку сточных вод из энергозатратного процесса в способ получения электроэнергии.

В настоящее время применение РМТЭ распространилось на экологически чистые инженерные системы [5], для выработки биоэлектричества из рисовых полей [6], водно-болотных угодий [7], зеленых крыш [8] и плавучих водоемов [9]. Кроме того, существует потенциал для РМФС-включения в сельскохозяйственные угодья без какого-либо воздействия на производство продуктов питания [10]. Растения, выращиваемые в помещении, зеленые крыши и сады на крышах также могут использоваться в РМФС для выработки биоэлектричества, поддерживать качество воздуха и оказывать экосистемные услуги [11].

Целью данной работы является определение оптимального дизайна растительно-микробных топливных элементов (РМТЭ), оценка электрогенной активности различных растений и проведение анализа состава микрофлоры.

Материалы и методы исследований

В качестве растений для создания растительно-микробных топливных элементов были подобраны представители водной фитофлоры, произрастающие в водоемах и заболоченных местностях: пистия, эйхорния толстоножковая, камыш, рис. Растения подрощены до стадии кушения: пистия (лист – 10 см, корень – 5 см), эйхорния (лист – 20 см, корень – 18 см), камыш (стебель – 30 см, корень – 13 см), рис (стебель – 15 см, корень – 7 см).

Конструкция безмембранная. Электроды, включенные в систему, замыкают электрическую цепь. В качестве электродов послужили: алюминиевая сетка 3,23.2×13.4×2.4 мм ПВС (ТУ У00236010.001-97), угольные (графитовые) электроды диаметром 8 мм (ГОСТ 10720-75), графитовый электрод, а также лист из нержавеющей стали 2 мм, анод выполнен из тех же материалов.

Расстояние между электродами – 5, 10, 20 см. Два электрода подключались к пор-

тативному цифровому мультиметру типа UT33C+ с помощью медных проводов или через сопротивление в 1000 Ом. Производительность системы определяется путем измерения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания.

В качестве сточной воды использовался имитат следующего состава (г/л): CH_3COONa – 256,41 мг/л; NH_4Cl – 76,43 мг/л; NaNO_3 – 30,36; KH_2PO_4 – 14,24 мг/л; CaCl_2 – 14,7 мг/л; MgCl_2 – 20,3 мг/л и раствор микроэлементов 10 мл/л [21]. На дно устройства нанесли болотный ил высотой не более 3 см. Синтетические сточные воды подавались на поверхность каждого CW-MFC. Изначальный показатель ХПК сточной синтетической воды в системе РМТЭ в среднем был в пределах 110-250 мгО₂/л.

Измерения вольт-амперных характеристик проводили с помощью аппарата мультиметр Fluke 8808A.

Выделение, очистку и идентификацию микроорганизмов проводили общепринятыми классическими методами.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Statistica 6,0, Microsoft Excel 97.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках создания модельных РМТЭ в CW проведена серия экспериментов по получению электроэнергии на различных установках с использованием растений: пистия, водяной гиацинт, камыш и рис. Выращенные культуры устанавливали в экспериментальные РМТЭ.

Экспериментальные РМТЭ созданы на основе трубы ПВХ (поливинилхлорид) диаметром 150 мм, толщиной 2 мм, высотой 37 см. Рабочий объем РМТЭ составил 6 литров (рис. 1).

При культивировании растений на экспериментальных установках корни и окисляемый субстрат находятся в аэробных условиях, аэрируются воздухом в катодной камере РМТЭ. В нижнем отсеке РМТЭ содержится анод, где создаются анаэробные условия (рис. 1).

Предлагаемый РМТЭ не имеет в своей конструкции протонселективной мембраны. На аноде микроорганизмы ассимилируют органические вещества из воды, при этом свободные протоны диффундируют к катоду, где окисляются кислородом до воды. В качестве субстрата использована синтетическая сточная вода. Сточная вода подавалась с нижнего клапана со скоростью 6 л/сутки, таким образом, обновление объема осуществляется за 24 часа.

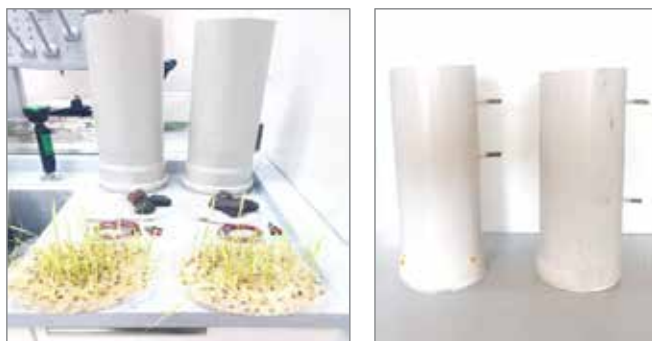


Рис. 1. Экспериментальные РМТЭ

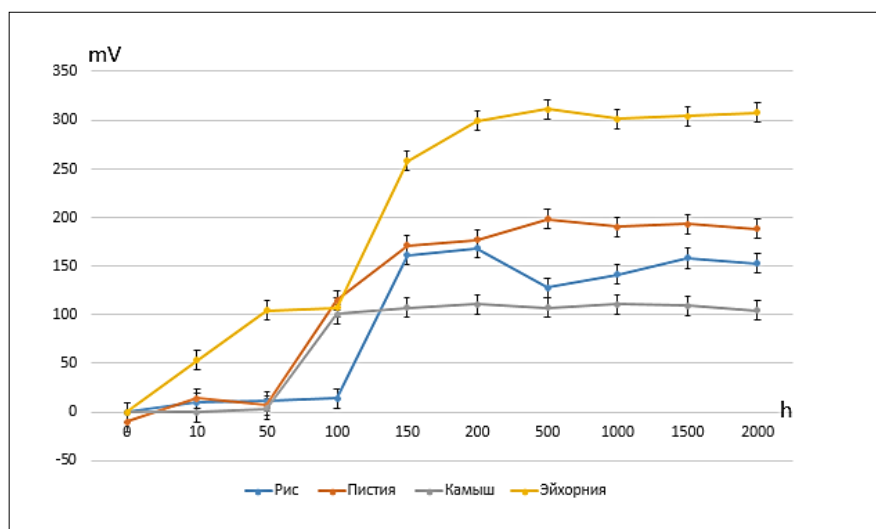


Рис. 2. Динамика электрогенной активности РМТЭ с различными растениями

Показатели напряжения, силы тока и разности потенциала определяли ежедневно с помощью мультиметра. Положительные показатели электрогенной активности получены при культивировании 50-100 ч, максимальные показатели достигались на 10-15-е сутки (рис. 2).

В рамках исследования высокую электрогенную активность проявили установки с графитовым электродом, где максимальный показатель напряжения достигнут на уровне 512 mV, при длительности культивирования 74 суток с использованием пистии, сила тока 1,61 mA (рис. 3).

Было исследовано РМТЭ с различными параметрами: расстояние между электродами (100-200 мм), растения (пистия, эйхорния, рис, камыш), форма и размеры электродов (классический графитовый электрод, графитовый стержневый электрод 8 мм), а также алюминиевая сетка.

В среднем между различным дизайном электродов существенных различий между

генерируемыми напряжением и силой тока РМТЭ в экспериментальных установках не наблюдалось (табл. 1). Однако важно отметить, что РМТЭ, содержащие электроды из нержавеющей стали, достигали наиболее высоких показателей напряжения тока 607 mV. При этом установки с графитом наиболее быстрее «запускались» и производили ток, в свою очередь электроды из алюминиевой сетки также показали высокий потенциал с максимальным показателем на уровне 468 mV.

Таким образом, анализ результатов, полученных в рамках исследования экспериментальных РМТЭ, позволил определить оптимальное расстояние между электродами в установке, которое составило 10 см. Наиболее высокий потенциал развивали электроды из нержавеющей стали и графита. Из растений более эффективными оказались пистия, затем рис и эйхорния, наименьшие показатели генерации тока отмечали при использовании камыша.

Таблица 1

Показатели электрогенной активности экспериментальных РМТЭ

| № п/п | Растения | Дизайн РМТЭ | Количество дней | Напряжение, мV | Сила тока, mA |
|-------|----------|--|-----------------|----------------|---------------|
| 1 | Рис | Образец 1, нерж. металл, 10 см | 74 | 405±1 | 0,15 |
| 2 | Рис | Образец 2, нерж. металл, 20 см | 74 | 220±1 | 0,15 |
| 3 | Рис | Образец 3, алюм. сетка, 10 см | 83 | 443±1 | 1,38 |
| 4 | Рис | Образец 4, алюм. сетка, 20 см | 83 | 222±1 | 1,10 |
| 5 | Рис | Образец 5, графитовый стержень, 10 см | 61 | 468±1 | 1,11 |
| 6 | Рис | Образец 6, графитовый стержень, 20 см | 61 | 222±1 | 1,17 |
| 7 | Рис | Образец 7, графитовый стержень, 5 см | 15 | 228±1 | 1,56 |
| 8 | Пистия | Образец 8, нерж. металл, 20 см | 74 | 431±1 | 1,00 |
| 9 | Пистия | Образец 9, алюм. сетка, 10 см | 83 | 478±1 | 1,11 |
| 10 | Пистия | Образец 10, алюм. сетка, 20 см | 83 | 408,4±1 | 1,05 |
| 11 | Пистия | Образец 11, графитовый стержень, 10 см | 61 | 447±1 | 1,27 |
| 12 | Пистия | Образец 12, графитовый стержень, 20 см | 61 | 88±1 | 0,58 |
| 13 | Пистия | Образец 13, графитовый стержень, 20 см | 15 | 180±1 | 1,58 |
| 14 | Камыш | Образец 14, нерж. металл, 10 см | 74 | 311±1 | 0,88 |
| 15 | Камыш | Образец 15, нерж. металл, 20 см | 74 | 180±1 | 0,58 |
| 16 | Камыш | Образец 16, алюм. сетка, 10 см | 83 | 444±1 | 0,53 |
| 17 | Камыш | Образец 17, алюм. сетка, 20 см | 83 | 428±1 | 0,71 |
| 18 | Камыш | Образец 18, графитовый стержень, 10 см | 61 | 401±1 | 0,25 |
| 19 | Камыш | Образец 19, графитовый стержень, 20 см | 61 | 103±1 | 0,21 |
| 20 | Эйхорния | Образец 20, нерж. металл, 10 см | 74 | 358±1 | 1,41 |
| 21 | Эйхорния | Образец 21, нерж. металл, 20 см | 74 | 301±1 | 1,15 |
| 22 | Эйхорния | Образец 22, алюм. сетка, 10 см | 83 | 468±1 | 0,75 |
| 23 | Эйхорния | Образец 23, алюм. сетка, 20 см | 83 | 388±1 | 0,38 |
| 24 | Эйхорния | Образец 24, графитовый стержень, 10 см | 61 | 408±1 | 0,97 |
| 25 | Эйхорния | Образец 25, графитовый стержень, 20 см | 61 | 255±1 | 0,57 |
| 26 | Эйхорния | Образец 26, графитовый стержень, 5 см | 15 | 270±1 | 0,44 |

По данным таблицы 2, наибольшим напряжением обладает вариант № 9, который состоит из электродов из нержавеющей стали, расположенных на расстоянии 10 см, с использованием пистии в качестве растительного элемента. Также высокое напряжение показали вариант № 5 (рис, графитовый стержень, 10 см) и № 8 (пистия, нержавеющая сталь, 20 см).

Проведена оценка электрогенного микробиоценоза, выделенного из электродов РМТЭ классическими методами. Для выделения микроорганизмов с электродов отбирали пробы методом смыва с дальнейшим проведением предельных разведений и посевом суспензий клеток на селективные питательные среды: СПА, МПА, Клигера, МРС и Сабуро (рис. 3).

В выделенных культурах доминировали бактерии с колониями бежевого цвета. Также встречались колонии желтого, розового

и черного цветов. Выявлено, что на электродах экспериментальных РМТЭ присутствовали грамотрицательные и грамположительные бактерии. Культуры чистые, имеют однородный рост по штриху посева, также клетки в мазке однородные.

По фенотипическим характеристикам и биохимическим свойствам большинство выделенных чистых жизнеспособных микроорганизмов были представителями рода *Bacillus*, остальные физиологические группы отнесены к следующим родам: *Shigella*, *Lactobacillus*, *Actinobacteria*, *Clostridium*, *Shewanella*, *Proteus*, *Pseudomonas*. Основное количество микроорганизмов выделены из аэробной зоны, из анаэробной только *Clostridium* и *Lactobacillus*.

Результаты химического анализа по определению ХПК на 15-е сутки показали снижение значения до 28 мгО₂/л.

Таблица 2

Вольт-амперные показатели различных вариантов РМТЭ

| № п/п | Вариант опыта | Измерения в открытом контуре | | Измерения через сопротивление, 989 Ом | | Мощность, Вт |
|-------|---------------|------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|--------------|
| | | Напряжение, мV | Сила тока, mA | Напряжение, мV | Сила тока, mA | |
| 1 | Образец 1 | 405 | 0,15 | 180 | 0,18 | 32,4 |
| 2 | Образец 2 | 220 | 0,15 | 87 | 0,08 | 6,96 |
| 3 | Образец 3 | 443 | 1,38 | 258 | 0,2 | 51,6 |
| 4 | Образец 4 | 222 | 1,1 | 98 | 0,09 | 8,82 |
| 5 | Образец 5 | 468 | 1,11 | 314 | 0,35 | 109,9 |
| 6 | Образец 6 | 222 | 1,17 | 100 | 0,1 | 10 |
| 7 | Образец 7 | 228 | 1,56 | 147 | 0,14 | 20,58 |
| 8 | Образец 8 | 431 | 1 | 305 | 0,3 | 91,5 |
| 9 | Образец 9 | 478 | 1,11 | 323 | 0,35 | 113,05 |
| 10 | Образец 10 | 408,4 | 1,05 | 178 | 0,18 | 32,04 |
| 11 | Образец 11 | 447 | 1,27 | 205 | 0,2 | 41 |
| 12 | Образец 12 | 88 | 0,58 | 14 | 0,01 | 0,14 |
| 13 | Образец 13 | 180 | 1,58 | 120 | 0,12 | 14,4 |
| 14 | Образец 14 | 311 | 0,88 | 179 | 0,18 | 32,22 |
| 15 | Образец 15 | 180 | 0,58 | 77 | 0,08 | 6,16 |
| 16 | Образец 16 | 444 | 0,53 | 286 | 0,29 | 82,94 |
| 17 | Образец 17 | 428 | 0,71 | 270 | 0,27 | 72,9 |
| 18 | Образец 18 | 401 | 0,25 | 174 | 0,17 | 29,58 |
| 19 | Образец 19 | 103 | 0,21 | 68 | 0,06 | 4,08 |
| 20 | Образец 20 | 358 | 1,41 | 220 | 0,22 | 48,4 |
| 21 | Образец 21 | 301 | 1,15 | 208 | 0,21 | 43,68 |
| 22 | Образец 22 | 468 | 0,75 | 300 | 0,3 | 90 |
| 23 | Образец 23 | 388 | 0,38 | 217 | 0,21 | 45,57 |
| 24 | Образец 24 | 408 | 0,97 | 304 | 0,3 | 91,2 |
| 25 | Образец 25 | 255 | 0,57 | 186 | 0,18 | 33,48 |
| 26 | Образец 26 | 270 | 0,44 | 113 | 0,11 | 12,43 |



Рис. 3. Первичное выделение культур микроорганизмов

Заключение

Таким образом, нам удалось создать однокамерную установку растительно-микробных топливных элементов и произвести отбор эффективных электродных

материалов. В нашем исследовании наибольшую эффективность показали РМТЭ из нержавеющей стали и графита с оптимальным расстоянием между электродами в установке 10 см. Из растений более эф-

фективными оказались пистия, рис и эйхорния, наименьшие показатели генерации тока отмечали при использовании камыша.

Наибольшим напряжением обладал вариант опыта № 9 (468 mV), который состоит из электродов из нержавеющей стали, расположенных на расстоянии 10 см, с использованием растения – пистии, вариант № 5 (468 mV, рис, графитовый стержень, 10 см) и вариант № 8 (431 mV, пистия, нержавеющая сталь, 20 см).

Микробиоценоз с поверхности электрода и сточных вод составили следующие таксономические группы бактерий: *Bacillus*, *Shigella*, *Lactobacillus*, *Actinobacteria*, *Clostridium*, *Shewanella*, *Proteus*, *Pseudomonas*.

Список литературы

1. Jingyu H., Miwornunyuie N., Ewusi-Mensah D., Koomson D.A. Assessing the factors influencing the performance of constructed wetland–microbial fuel cell integration. *Water Sci. Technol.* 2020. Vol. 81(4). P. 631-643.
2. Yang Z., Pei H., Hou Q., Jiang L., Zhang L., Nie C. Algal biofilm-assisted microbial fuel cell to enhance domestic wastewater treatment: nutrient, organics removal and bioenergy production. *Chem. Eng.* 2018. Vol. 332. P. 277-285.
3. Pandey P., Shinde V.N., Deopurkar R.L., Kale S.P., Patil S.A., Pant D. Recent advances in the use of different substrates in microbial fuel cells toward wastewater treatment and simultaneous energy recovery. *Appl. Energy.* 2016. Vol. 168. P. 706-723.
4. Reddy C.N., Nguyen H.T., Noori M.T., Min B. Potential applications of algae in the cathode of microbial fuel cells for enhanced electricity generation with simultaneous nutrient removal and algae biorefinery: Current status and future perspectives. *Bioresour. Technol.* 2019. Vol. 292. P. 122010.
5. Helder M., Strik D.P.B.T.B., Hamelers H.V.M., Kuhn A.J., Blok C., Buisman C.J.N. Concurrent bio-electricity and biomass production in three Plant-Microbial Fuel Cells using *Spartina anglica*, *Arundinella anomala* and *Arundo donax*. *Bioresour. Technol.* 2010. Vol. 101. Issue 10. P. 3541-3547.
6. Kazuko Takanezawa, Koichi Nishio, Souichiro Kato, Kazuhito Hashimoto, Kazuya Watanabe. Factors Affecting Electric Output from Rice-Paddy Microbial Fuel Cells. *Bio-science, Biotechnology, and Biochemistry.* 2010. Vol. 74. Issue 6. P. 1271–1273.
7. Sudirjo E., Buisman C.J.N., Strik D.P.B.T.B. Electricity generation from wetlands with activated carbon bioanode. *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2018. Vol. 131. P. 012-046.
8. Helder M., Chen W.S., Van Der Harst E.J., Strik D.P., Hamelers H.B.V., Buisman C.J., Potting J. Electricity production with living plants on a green roof: environmental performance of the plant-microbial fuel cell. *Biofuel Bioprod Biorefin.* 2013. Vol. 7(1). P. 52–64.
9. Wetser K., Liu J., Buisman C., Strik D. Plant microbial fuel cell applied in wetlands: spatial, temporal and potential electricity generation of *Spartina anglica* salt marshes and *Phragmites australis* peat soils. *Biomass Bioenergy.* 2015. Vol. 83. P. 543–550.
10. Wetser K., Sudirjo E., Buisman C.J., Strik D.P. Electricity generation by a plant microbial fuel cell with an integrated oxygen reducing biocathode. *Appl Energy.* 2015. Vol. 137. P. 151–157.
11. Tapia N.F., Rojas C., Bonilla C.A., Vargas I.T. Evaluation of sedum as driver for plant microbial fuel cells in a semi-arid green roof ecosystem. *Ecol Eng.* 2017. Vol. 108. P. 203–210.

УДК 579:628.385

ВЫДЕЛЕНИЕ И СКРИНИНГ МИКРООРГАНИЗМОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРИ СОЗДАНИИ НА ИХ ОСНОВЕ ЗАКВАСОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА ИЗ СТОЧНОЙ ВОДЫ

¹Нағызбекқызы Э., ¹Молдагулова Э.Б., ²Сарсенова А.С., ²Данлыбаева Г.А.,
¹Ануарбекова С.С., ¹Молдагулова Н.Б., ¹Курманбаев А.А.

¹ТОО «Экостандарт.kz», Нур-Султан, e-mail: elvira_29.04@mail.ru;

²ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Нур-Султан

Сточные воды являются ценным источником биогаза, биоэнергии и органических удобрений. Однако неадекватное управление ими приводит к множеству проблем, таких как загрязнение окружающей среды, эвтрофикация, выбросы парниковых газов, негативное влияние на здоровье человека и снижение экономической ценности отходов. Целями работы являются подбор микроорганизмов и создание на их основе консорциума для дальнейшей разработки метода биотехнологической переработки сточных вод в биогаз и органическое удобрение. Выполнение поставленных задач решает такие проблемы, как утилизация отходов, рентабельное производство биогаза и биоэнергии, а также получение органического биоудобрения. Проведен поиск микроорганизмов, перспективных при создании на их основе заквасок для получения биогаза из сточной воды. В результате выделения и изучения ферментативных свойств, идентификации микроорганизмов до вида нами отобраны 19 активных штаммов: *Bacillus cereus*, *megaterium*, *coagulans*, *subtilis*, *mojavensis*, *pumilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Lysinibacillus fusiformis/boronitolerans*, *Acineautobacter bannii*/ *Acinetobacter baumannii* и *Aeromonas veronii*. Эти штаммы микроорганизмов обладают очень хорошими показателями ферментативной активности и могут стать претендентами для создания на их основе эффективной закваски для получения биогаза.

Ключевые слова: биогаз, гидролизные бактерий, метаногены, сточные воды, скрининг микроорганизмов

ISOLATION AND SCREENING OF MICROORGANISMS PROMISING FOR THE DEVELOPMENT OF STARTERS FOR OBTAINING BIOGAS FROM WASTEWATER

¹Nagyzbekkyzy E., ¹Moldagulova E.B., ²Sarsenova A.S., ²Danlybaeva G.A.,
¹Anuarbekova S.S., ¹Moldagulova N.B., ¹Kurmanbayev A.A.

¹«Ecostandart.kz» LLP, Nur-Sultan, e-mail: elvira_29.04@mail.ru;

²«Scientific-production center of ecological and industrial biotechnology» LLP, Nur-Sultan

Wastewater is a valuable source of biogas, bioenergy, and organic fertilizers. However, inadequate management of them leads to many problems such as pollution, eutrophication, greenhouse gas emissions, and human health and reduces the economic value of waste. The work aims are to select the microorganisms and create a consortium on their basis for further method development of the biotechnological processing of wastewater into biogas and organic fertilizer. The implementation of the tasks set solves such problems as waste disposal, cost-effective production of biogas and bioenergy, and obtaining organic biofertilizer. We investigated the active microorganisms promising for biogas production from wastewater. As a result of the isolation and selection of microorganisms with high enzymatic activity and identification of these microorganisms, we selected 19 active strains belonging to the following species: *Bacillus cereus*, *megaterium*, *coagulans*, *subtilis*, *mojavensis*, *pumilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Lysinibacillus fusiformis/boronitolerans*, *Acineautobacter bannii*/ *Acinetobacter baumannii* and *Aeromonas veronii*. Selected strains of microorganisms have high indicators of enzymatic activity and can become candidates for an effective starter for biogas production development.

Keywords: Biogas, hydrolysis bacteria, methanogens, wastewater, screening of microorganisms

Переработка, обезвреживание и утилизация всех видов отходов, в том числе органических, – актуальная экологическая проблема не только Республики Казахстан, но и всего мира. Одним из направлений переработки отходов является получение биоэнергии и биогаза из любого типа органического материала – сточных вод, их осадков, отходов животноводства и др. Производство биоэнергии имеет множество преимуществ для общества и вносит важный вклад в устойчивое развитие страны.

В этом направлении перспективно развитие альтернативной энергетики, в частности биоэнергетики. Не утилизация, не сжигание, а именно биоконверсия накопившихся органических отходов в биоэнергию с последующим получением ценнейшего непосредственно для сельского хозяйства биоудобрения решила бы проблему избыточного накопления этих отходов и снизила бы зависимость потребителей от традиционных источников энергии, переводя их в экологически безопасный и полезный

продукт. Переход отходов в полезный продукт (или чистая экология) осуществляется благодаря микроорганизмам, участвующим в процессе биоконверсии, протекающей в специальных установках. Для предотвращения загрязнения окружающей среды, водных экосистем важно разработать и внедрить экологически чистые технологии для переработки органических отходов в биоэнергию или ценное органоминеральное биоудобрение с использованием потенциала микроорганизмов. В эффективном производстве биоэнергии немаловажную роль играют сообщества микроорганизмов. Бактерии являются основным источником биоэнергии, они используют органические отходы для своей жизнедеятельности. На сегодняшний день развитие технологий привело к тому, что эти отходы становятся источником сырья для переработки и получения ценных продуктов.

Альтернативным вариантом использования сточных вод может служить анаэробное брожение, в результате которого можно получить высокоэффективный вторичный продукт в качестве биогаза, электроэнергии и органического удобрения для сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, сточные воды являются ценным источником биогаза, биоэнергии и органических удобрений. Однако неадекватное управление ими приводит к множеству проблем, таких как загрязнение окружающей среды, эвтрофикация, выбросы парниковых газов, негативное влияние на здоровье человека и снижение экономической ценности отходов.

Настоящее исследование направлено на выделение микроорганизмов, продуцирующих гидролитические ферменты, и оценку их способности разлагать белки, жиры и углеводы в лабораторных условиях.

Цель исследования – выделение, скрининг микроорганизмов и создание на их основе консорциума для дальнейшей разработки метода биотехнологической переработки сточных вод в биогаз и органическое удобрение.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили биомассы 3 видов биогазовых установок из Алматинской области, а также пробы сточной воды КОС г. Нур-Султан, г. Форт-Шевченко, навоза КРС и почвы и выделенные из них микроорганизмы различных таксономических групп, а также коллекционные штаммы ТОО «Экостандарт.kz»: *Bacillus coagulans* 918, *Alcaligenes faecalis* 44, *Lysinibacillus sphaericus/Lysinibacillus*

fusiformis 559, *Escherichia coli* 914 и *Lysinibacillus fusiformis* 859.

Выделение и изучение фенотипических признаков выделенных микроорганизмов проводили стандартными микробиологическими методами. При идентификации бактериальных изолятов осуществляли сравнительный анализ их морфологических, культуральных, биохимических свойств. Определяли морфологию вегетативных клеток, спорообразование, подвижность, окраску по Граму, каталазную, оксидазную, амилалитическую, липолитическую, целлюлозолитическую, протеолитическую и сахаролитическую активность.

Чистые культуры микроорганизмов выделяли методом накопительных культур [1, 2] с последующим высевом на селективные среды. Инкубацию культур проводили при 37°C и 45°C в течение 24–72 часов. Оценку чистоты проводили с помощью иммерсионного микроскопа. Мазки окрашивали по Граму [1]. Принадлежность изучаемых культур к группе грамположительных или грамотрицательных бактерий определяли экспресс-методом Грезерсона (1979).

Культуральные особенности изолятов изучали путем проведения серийных разведений 10^{-1} – 10^{-10} и инокуляции штамма в соответствующие стерильные твердые среды. Чашки инкубировали в течение 24–72 ч и наблюдали характеристики колоний.

Способность исследуемых культур ферментировать углеводы изучали на универсальных средах Гисса (с арабинозой, фруктозой, меллибиозой, трегалозой, маннитом, галактозой, адонитом и сорбитолом) и Клигера (с глюкозой и лактозой). Визуально отмечали образование газа и кислоты, выделение сероводорода определяли на среде Клигера.

Изучение фенотипических признаков микроорганизмов-деструкторов проводили стандартными микробиологическими методами [1–3]. Определение каталазной активности проводили с 3%-ным раствором пероксида водорода.

Определяли титр жизнеспособных клеток микроорганизмов по Miles and Misra [4]. Определяли ферментативную активность микроорганизмов – активность гидролаз и оксидоредуктаз: целлюлолитическую, липолитическую, протеолитическую и амилолитическую активности [5–8].

Скрининг активных культур проводили путем изучения биологических свойств культур микроорганизмов.

Идентификацию культур микроорганизмов до вида проводили с использованием MALDI-ToF масс-спектрометра серии FLEX производства Bruker.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Выделение активных штаммов микроорганизмов, способных ферментировать биомассу из сточной воды в биогаз

Основу биогазовых технологий составляют сложные процессы биологического окисления органических веществ под воздействием особой группы анаэробных микроорганизмов. Учитывая, что в процессе разложения органических веществ участвуют разные группы микроорганизмов: гидролитические, кислотообразующие и метанообразующие бактерии, нами были проведены исследования по выделению ферментативно активных (амилолитических, протеолитических, целлюлозолитических и др.) микроорганизмов.

Результаты выделения микроорганизмов на плотных селективных и неселективных питательных средах СПА и МКС № 2 показаны на рисунке 1.

Выделение анаэробных культур микроорганизмов на жидких питательных средах Китта–Тароцци, СПБ, МРС под высоким столбиком вазелина и твердых питательных средах с применением биологического метода удаления кислорода по Фортнеру показано на рисунке 2.

При посеве по методу Фортнера на одну половину чашки засеивали коллекционный штамм ТОО «Экостандарт.kz» облигатный аэроб – *Ser. marcescens* 965, на вторую – исследуемую культуру. Культивирование проводили в эксикаторе. Изучены культурально-морфологические признаки – характер роста культур на плотных агаризованных средах.

В результате выделения чистых изолятов в работу взяты 24 культуры микроорганизмов. Наибольшее количество изолятов выделено из сточной воды КОС г. Нурсултан – 8, из сточной воды КОС г. Форт-Шевченко – 8 изолятов, из навоза КРС – 3, из почвы – 5 изолятов, а также отобраны 5 коллекционных штаммов.

Титр жизнеспособных клеток изученных культур был в пределах $10^7 - 10^9$ КОЕ/см³. У 6 из 29 (20,7%) культур микроорганизмов титр ЖСП – $1,5-7 \times 10^9$ КОЕ/см³. 10 (34,5%) культур микроорганизмов показали титр жизнеспособных клеток на уровне 10^7 КОЕ/см³. Титр ЖСП культур ниже 10^7 КОЕ/см³ считается недопустимым при разработке биопрепаратов и заквасок на основе промышленно ценных микроорганизмов, так как при воздействии неблагоприятных условий они могут потерять свою жизнеспособность до более низких титров.

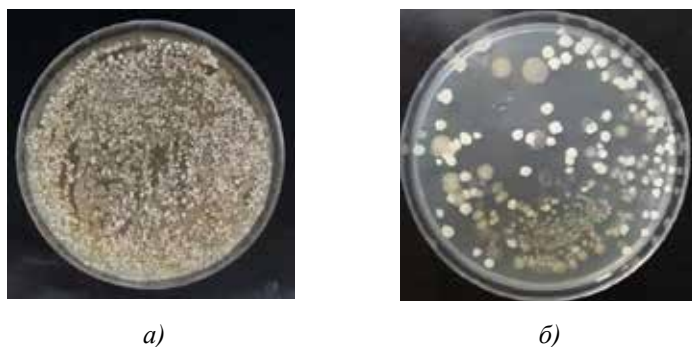


Рис. 1. Рост культур на плотных средах: а) агаровая МКС №2; б) питательный агар

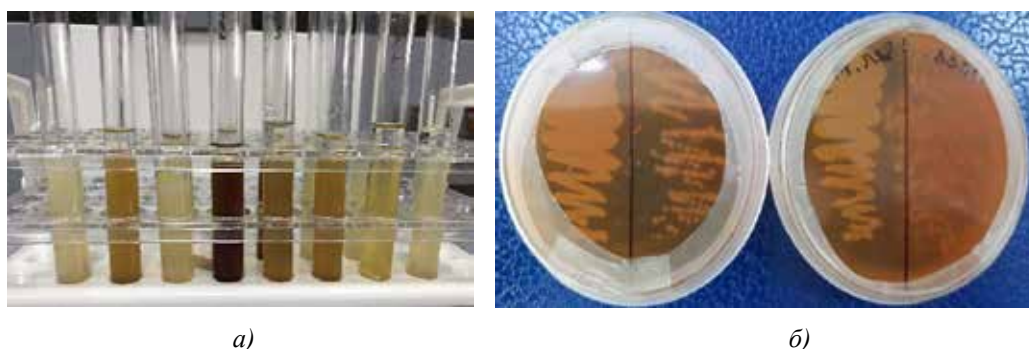


Рис. 2. Выделение анаэробных культур микроорганизмов: а) рост на среде СПБ и МРС под высоким столбиком вазелина; б) посев по Фортнеру

Скрининг и отбор наиболее активных изолятов

Биогаз – это конечный продукт жизнедеятельности бактерий, питающихся входным биodeградируемым сырьем в разной фазе анаэробного брожения (в фазе гидролиза – гидролитиками, в фазе ацидогенеза – ацидогенными бактериями, в фазе ацетогенеза – ацетогенными бактериями и в конечной фазе – метаногенами: метанообразующими бактериями и археями). Биологические свойства микроорганизмов, в частности ферментативная активность культур, являются важным критерием, требующимся при создании на их основе заквасок для получения биогаза. С целью проведения скрининга культур нами изучены основные показатели биологической активности культур микроорганизмов. Изучение ферментативных свойств проводили по способности разлагать углеводы, белок и жиросодержащие продукты, для этой цели у исследуемых культур определяли наличие амилолитической, протеолитической, липолитической и целлюлолитической активностей.

При изучении амилолитической активности отобраны культуры, образующие на крахмалсодержащей среде зону гидролиза, которая оставалась бесцветной или приобретала красно-бурую окраску при гидролизе крахмала до декстринов, тогда как культуры, не гидролизующие углевод, окрашивались в сплошной синий цвет. В результате проведенных экспериментов из числа выделенных были определены 4 активные культуры, способные гидролизовать крахмал, и 1 коллекционный штамм *Bacillus coagulans* 918. Однако культура С/в 1.5 показала высокую амилолитическую активность, образовав большие зоны гидролиза крахмала диаметром до $18,0 \pm 0,10$ мм, также наибольшую активность проявила культура С/в 4.5 – до $15,0 \pm 0,12$ мм. Изоляты С/в 4.4, С/в 1.6 и штамм *Bacillus coagulans* 918 имели среднюю амилолитическую активность, их результаты были в пределах $4,0 \pm 0,43$ и $4,7 \pm 0,37$ мм соответственно.

Протеазы выделяются различными видами бацилл, актиномицетов, мицелиальных грибов и другими микроорганизмами. Активность внеклеточных протеаз определяли, используя в качестве специфического субстрата желатину и казеин. Разжижение желатина или его отсутствие отмечали визуально. Гидролиз казеина определяли по зоне просветления среды вокруг колонии или выросших по штриху микроорганизмов. При этом из изученных 29 культур способностью разжижать желатин обладали 20 (69,0%), тогда как 13 (44,8%) культур

были способны расщеплять казеин на молочном агаре. При этом протеолитическая активность культур в отношении казеина была в диапазоне $2,5 \pm 0,69$ – $11,0 \pm 0,16$ мм. Самая высокая активность наблюдается у культуры С/в 4.3. Семь (24,1%) культур проявили активность в пределах $7,0 \pm 0,25$ – $8,0 \pm 0,22$ мм. Культуры микроорганизмов П 2.3, С/в 1.6, С/в 4.8 и коллекционный штамм *Lysinibacillus fusiformis* 859 проявили данную активность от $5,2 \pm 0,33$ до $6,3 \pm 0,27$ мм.

Продуценты липаз обнаружены среди дрожжей, мицелиальных грибов, бактерий рода *Clostridium* и других микроорганизмов. Культуры, продуцирующие липазу, выявляли на средах с добавлением твина, они образовывали вокруг штриха или колонии непрозрачную зону кальциевых солей жирных кислот, освобожденных из твина. В результате липолитическую активность с показателем активности от $1,5 \pm 1,15$ мм до $11,7 \pm 0,15$ мм проявили 7 из 24 (29,2%) вновь выделенных изолятов и коллекционный штамм *Lysinibacillus fusiformis* 859. При этом коллекционный штамм *Lysinibacillus fusiformis* 859 обладал наибольшей активностью, а наименьшая активность зафиксирована у культуры П 3.1.

Для выявления культур, продуцирующих целлюлолитические ферменты, определяли диаметр зон просветления окраски вокруг выросших колоний после прокрашивания чашек красителем конго красным. В результате 10 изолятов из 29 (34,5%) культур микроорганизмов обладали способностью к разложению НКМЦ. При этом изоляты П 2.2 и Н 1.3 проявили наибольшую активность, которая была равна $11,3 \pm 0,15$ и $11,0 \pm 0,16$ мм соответственно. Следующий наивысший показатель активности показал изолят С/в 4.5, его активность зафиксирована в пределах $10,0 \pm 0,17$ мм.

Культуры, обладающие ферментативной активностью, представлены на рисунке 3.

На основе проведенных исследований выявлено наличие протеолитической активности на молочном агаре у 13 (44,8%) культур, на среде с желатином – у 20 (69,0%), амилолитической активности – у 5 из 29 (17,2%), липолитической активности – у 8 (27,6%) и целлюлолитической активности – у 10 (34,5%) культур микроорганизмов. Для дальнейших исследований нами отобраны 17 наиболее активных изолятов, проявивших наибольшую ферментативную активность: С/в 3.1, П 1.1, С/в 2.1, П 2.1, П 2.2, П 2.3, Н 1.3, П 3.1, Н 2.2, С/в 1.3, С/в 1.5, С/в 1.6, С/в 4.3, С/в 4.4, С/в 4.5, С/в 4.7, С/в 4.8 и 2 штамма *Bacillus coagulans* 918 и *Lysinibacillus fusiformis* 859.

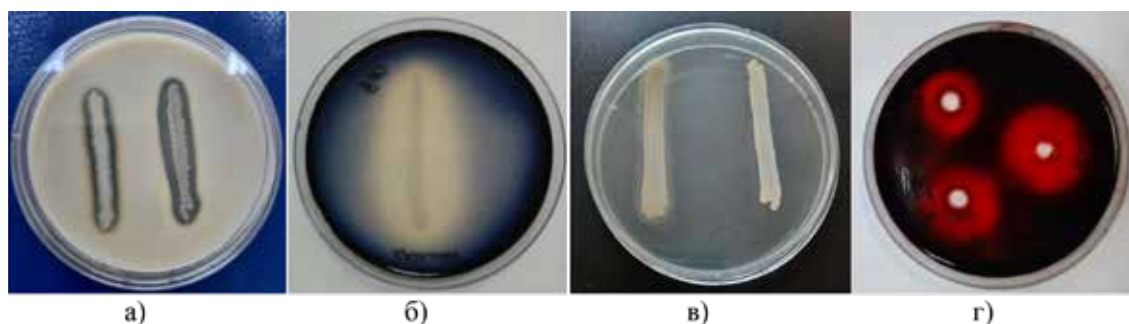


Рис. 3. Ферментативная активность культур микроорганизмов: а) протеолитическая активность; б) амилолитическая активность; в) липолитическая активность; г) целлюлолитическая активность

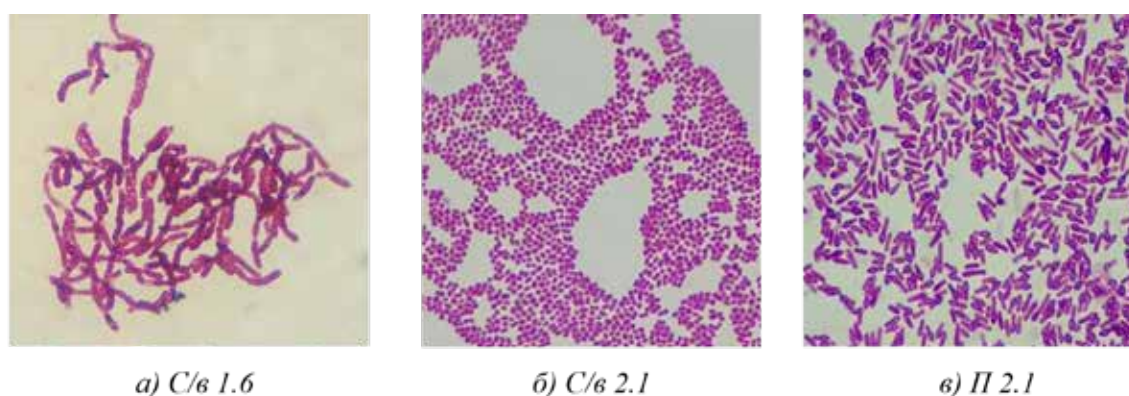


Рис. 4. Микроскопическая картина культур микроорганизмов, окрашенных по Граму, $\times 100$

Штамм *Bacillus coagulans* 918 и изолят С/в 1.5 были выделены на питательной среде МРС, и эта среда является для них оптимальной, так как на других средах они растут плохо либо не растут вовсе. В результате проведенных исследований по изучению культуральных, морфологических и биологических свойств изолят С/в 1.5 был предварительно отнесен к молочнокислым бактериям (МКБ).

Для определения родовой и видовой принадлежности активных выделенных культур микроорганизмов были изучены их культурально-морфологические и биохимические свойства общепринятыми методами в соответствии с определителем Берджи путем постановки дифференциальных тестов и методик, а также проведена идентификация культур микроорганизмов до видовой принадлежности путем сравнительных анализов спектров тотальных клеточных белков методом Maldi ToF масс-спектрометрии (Bruker).

С помощью микроскопии окрашенных по Граму мазков активных культур было определено, что в исследуемых образцах присутствуют грамположительные и грамо-

трицательные микроорганизмы разной формы (от кокков до палочек разных размеров), палочки с закругленными или обрубленными концами, спорообразующие или не образующие споры, расположенные одиночно, попарно, в цепочку или скоплениями. На рисунке 4 представлена микроскопия некоторых выделенных чистых культур.

Для проведения идентификации активных культур микроорганизмов по фенотипическим свойствам использовали чистую, свежую культуру на плотной агаризованной среде. Чистые культуры микроорганизмов были изучены по следующим признакам: определение морфологии, окраска по Граму, подвижность, спорообразование, наличие пигмента, а также отношение к температуре роста.

В целях изучения физиолого-биохимических свойств культур микроорганизмов, проявивших наибольшую активность, был поставлен ряд тестов.

Оценка сахаролитической и биохимической активности культур микроорганизмов по способности сбраживания углеводов была проведена на средах Гисса и Клигlera (рис. 5).

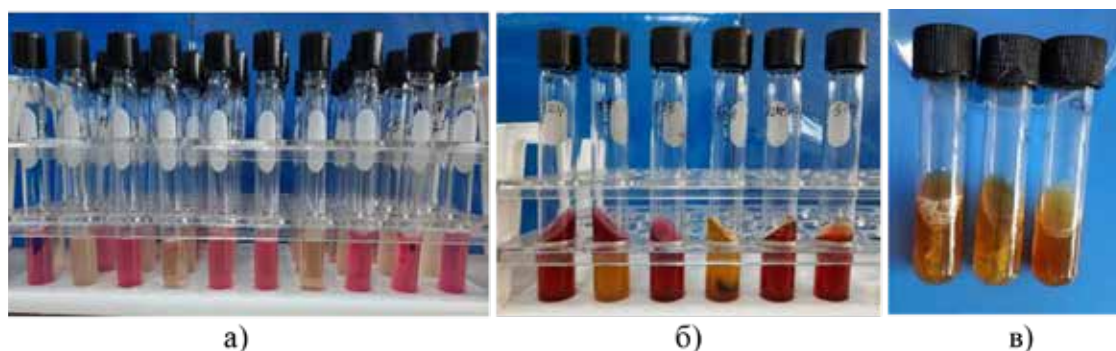


Рис. 5. Биохимические показатели культур микроорганизмов на среде Клиглера: а) пестрый ряд на среде Гисса с углеводами; б) ферментация глюкозы и лактозы с выделением сероводорода; в) ферментация углеводов с образованием газа

По отношению к углеводам на среде Гисса из 17 активных культур микроорганизмов 13 культур усваивают трегалозу, 12 усваивают фруктозу, 6 – галактозу, 7 выделенных изолятов усваивают маннит, 5 усваивают арабинозу, 3 – мелибиозу, 3 усваивают адонит и всего 2 выделенных изолята ферментируют сорбитол. Оксидазный тест показал, что все активные культуры были оксидазоотрицательными, тогда как тест на каталазу был противоположным: все культуры, кроме изолятов С/в 4.4 и С/в 4.7, были каталазоположительными.

В результате постановки методики по изучению способности культур к сбраживанию углеводов до кислоты и газа, а также выделению сероводорода на среде Клиглера было определено, что 14 выделенных изолятов усваивают глюкозу до образования кислоты, при этом 2 из них – с образованием газа (рис. 5в). 4 выделенные активные культуры сбраживают лактозу до кислоты, но с отсутствием газа. Шесть из 19 активных культур способны выделять сероводород. Известно, что большая часть сероводорода на планете генерируется сульфидогенными микробными сообществами, в них входят более 60 родов бактерий и архей рода *Archaeoglobus* (типовый вид *A. fulgidus*), роды *Thermocodium* и *Calditerrivirga*. В процессе жизнедеятельности они обычно конкурируют с метаногенами за водород и другие субстраты, однако нами принято решение идентифицировать все изоляты отобранные после скрининга.

В результате проведения биохимической идентификации изоляты С/в 3.1, П 1.1, П 2.1, П 2.2, П 2.3, П 3.1, Н 2.2, С/в 1.3, С/в 1.6, С/в 4.3, С/в 4.5, С/в 4.7, С/в 4.8 были предварительно идентифицированы до рода *Bacillus*. Изолят С/в 2.1 – граммотрицательные коккобациллы, споры не образуют, подвижные, не ферментировали углеводы,

но выделяли сероводород; каталазоположительный, но оксидазоотрицательный, в связи с чем был предварительно отнесен в род *Acinetobacter*. Изолят Н 1.3 – грамположительные кокки, споры не образуют, не подвижные, не ферментировали мелибиозу, адонит и сорбитол, не выделяет сероводород; каталазоположительный, но оксидазоотрицательный, в связи с чем был предварительно отнесен в род *Enterococcus*. Изолят С/в 1.5 растет на среде МРС, граммотрицательные палочки, не подвижные, не образуют спор; оксидазоотрицательный, каталазоположительный, ферментирует глюкозу до кислоты и газа, не выделяет сероводород; согласно полученным данным можно предположить, что изолят относится к семейству Enterobacteriaceae, группы *Klebsiellae*. Изолят С/в 4.4 – граммотрицательные палочки, подвижные, спор не образуют; ферментирует глюкозу до кислоты и газа, выделяет H_2S , гидролизует крахмал, казеин, разжижает желатин, арабинозу, мелибиозу, адонит, сорбитол и лактозу не сбраживает; на основе полученных данных он был предварительно отнесен к роду *Aeromonas*.

В результате сравнительного анализа белковых профилей всех выделенных бактерий, кроме 1-й культуры (не имеет сходства по белку ни видовой, ни родовой), они были идентифицированы как *Bacillus cereus*, *megaterium*, *coagulans*, *subtilis*, *mojavensis*, *pumilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Lysinibacillus fusiformis/boronitolerans*, *Acineamutobacter bannii*/ *Acinetobacter baumannii* и *Aeromonas veronii*. На основе полученных данных в ходе изучения фенотипических и физиолого-биохимических характеристик изолят П1.1 был идентифицирован как *Bacillus cereus*.

Таким образом, в результате проведенного исследования по выделению и скринингу наиболее активных штаммов в качестве пер-

спективных при создании консорциума заквасочных культур для получения биогаза нами отобраны 17 наиболее активных кандидатов и 2 коллекционных штамма, проявивших наибольшую ферментативную активность: *Bacillus cereus* C/в 3.1, *Bacillus cereus* П 1.1, *Acinetobacter bannii*/*Acinetobacter baumannii* C/в 2.1, *Lysinibacillus fusiformis*/*Lysinibacillus boronitolerans* П 2.1, *Bacillus pumilus* П 2.2, *Bacillus cereus* П 2.3, *Enterobacter cloacae* Н 1.3, *Bacillus cereus* П 3.1, *Bacillus cereus* Н 2.2, *Bacillus pumilus* C/в 1.3, *Klebsiella pneumoniae* C/в 1.5, *Bacillus megaterium* C/в 1.6, *Bacillus cereus* C/в 4.3, *Aeromonas veronii* C/в 4.4, *Bacillus subtilis* C/в 4.5, *Bacillus cereus* C/в 4.7, *Bacillus mojavensis*/*Bacillus subtilis* C/в 4.8, *Bacillus coagulans* 918 и *Lysinibacillus fusiformis* 859.

Заключение

На основе проведенных экспериментов в целях выделения перспективных микроорганизмов для создания эффективной закваски в целях получения биогаза всего были выделены 24 изолята: из сточной воды КОС г. Нур-Султан – 8, из сточной воды КОС г. Форт-Шевченко – 8, из навоза КРС – 3, из почвы – 5 изолятов. Также для исследования нами были отобраны такие виды коллекционных штаммов, как: *Bacillus coagulans* 918, *Alcaligenes faecalis* 44, *Lysinibacillus sphaericus*/*Lysinibacillus fusiformis* 559, *Escherichia coli* 914, *Lysinibacillus fusiformis* 859. Изучение ферментативной активности микроорганизмов показало наличие протеолитической активности на молочном агаре у 13 культур, на среде с желатином – у 20, амилитической активности – у 5, липолитической активности – у 8 и целлюлолитической активности – у 10 культур микроорганизмов. Для дальнейших исследований нами отобраны 17 наиболее активных изолятов, проявивших наибольшую ферментативную активность: C/в 3.1, П 1.1, C/в 2.1, П 2.1, П 2.2, П 2.3, Н 1.3, П 3.1, Н 2.2, C/в 1.3, C/в 1.5, C/в 1.6, C/в 4.3, C/в 4.4, C/в 4.5, C/в 4.7, C/в 4.8 и 2 коллекционных штамма: *Bacillus coagulans* 918, *Lysinibacillus fusiformis* 859.

В результате проведения фенотипической идентификации и идентификации отобранных микроорганизмов до вида с помощью метода масс-спектрометрии MALDI ToF (Bruker) была определена их принадлежность к *Bacillus cereus*, *megaterium*, *coagulans*, *subtilis*, *mojavensis*, *pumilus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Lysinibacillus fusiformis*/*boronitolerans*, *Acinetobacter*

bannii/*Acinetobacter baumannii* и *Aeromonas veronii*.

На основе полученных данных считаем, что все отобранные нами штаммы микроорганизмов являются перспективными для создания на их основе заквасок в целях получения биогаза из сточной воды. Однако для создания консорциумов микроорганизмов из отобранных нами 19 активных штаммов планируется использовать только те штаммы, которые имеют более двух показателей ферментативной активности и у которых отмечена высокая активность. К сожалению, на данном этапе исследования нам не удалось получить чистые культуры анаэробных микроорганизмов, в связи с чем работа по выделению и получению чистых культур анаэробных метаногенных микроорганизмов, а также изучение их ферментативной активности будут продолжены. Получение метаногенных микроорганизмов с широким спектром ферментативной активности, которые пополнят фонд коллекции промышленно ценных штаммов микроорганизмов, и создание на их основе эффективной закваски для получения биогаза являются следующей задачей данного исследования.

На основе всех представленных данных можно сделать вывод, что отобранные штаммы микроорганизмов обладают очень хорошими показателями ферментативной активности и могут стать претендентами для создания на их основе эффективной закваски для получения биогаза.

Список литературы

1. Лавренчук Л.С., Ермошин А.А. Микробиология: практикум. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 107 с.
2. Давлетшина Г.К., Туйгунов М.М., Габидуллин Ю.З., Ахтариева А.А., Булгаков А.К., Савченко Т.А. Микробиологические методы: учеб. пособие. Уфа: Изд-во ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2018. 119 с.
3. Грицкевич Е.Р., Бученков И.Э., Иконникова Н.В. Лабораторный практикум по микробиологии: пособие. Минск: ИВЦ Минфина, 2017. 113 с.
4. Hedges A.J. Estimating the precision of serial dilutions and viable bacterial counts. *International Journal of Food Microbiology*. 2002. V. 76/3. P. 207–214.
5. Сартакова О.Ю. Промышленная микробиология: учебное пособие по курсу «Основы микробиологии и биотехнологии». Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. 173 с.
6. Литусов Н.В. Физиология бактерий: иллюстрированное учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГМУ, 2015. 43 с.
7. Лысак В.В., Игнатенко Е.И. Физиология микроорганизмов: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУ, 2016. 80 с.
8. Gupta P., Samant K., Sahu A. Isolation of Cellulose-Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. *International Journal of Microbiology*. 2012. DOI: 10.1155/2012/578925.

УДК 57.082.5

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РИЗОБАКТЕРИЙ, ИММОБИЛИЗИРОВАННЫХ ФЛОКУЛЯНТОМ ГИПАН

¹Хужаназарова М.К., ²Муродова С.С.

¹Ташкентский государственный аграрный университет, Ташкент;

²Джизакский филиал национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Джизак, e-mail: murodova@-74mail.ru

Биопрепарат «Замин-М» разработан на основе штаммов *Pseudomonas stutzeri* СКБ 308, *Bacillus megaterium* СКБ 310, *Bacillus subtilis* СКБ 309, и в данной статье рассмотрены вопросы его иммобилизации с органическим носителем Гипан. Гипан представляет собой гидролизующий полиакрилонитрил, который хорошо растворяется в воде. Обычно используют раствор 9-12% в воде. Цвет варьируется от светло-желтого до темно-коричневого. Плотность при t -200 °С колебалась от 1,06 до 1,07 г/см³, pH 8-9. Не замерзает до 5-10 °С. Для иммобилизации ризобактерий, входящих в состав биопрепарата «Замин-М», исследованы концентрации полиакрилонитрила Гипана, способствующие снижению биомассы в надосадочной культуральной жидкости 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 и 0,5%. При использовании для ассоциации микроорганизмов «Замин-М» концентрация флокулянта по отношению к культуральной жидкости – 0,1%, а продолжительность периода седиментации составила 90 минут, что привело к осаждению 90% биомассы. Достигнуто соотношение, стабильность и жизнеспособность микроорганизмов в осаждаемой биомассе. Высокомолекулярный реагент Гипан в данном случае имеет 3 положительные функции: первая – эффективный флокулянт, вторая – удобное и недорогое средство защиты от микроорганизмов при хранении, поддерживающее практически неизменный титр и жизнеспособность, а главное – антагонистическая активность в отношении фитопатогенов и роста и развития растений приводит к сохранению ускоряющего свойства.

Ключевые слова: Гипан, надосадочная жидкость, биопрепарат Замин-М, ризобактерии, флокулянт, иммобилизация, носитель, каолин

TECHNOLOGY OF OBTAINING BIOPREPARATIONS ON THE BASIS OF RHIZOBACTERIA, IMMOBILIZED IN GIPAN

¹Khuzhanazarova M.K., ²Murodova S.S.

¹Tashkent State Agrarian University, Tashkent;

²Jizzakh branch of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
Jizzakh, e-mail: murodova@-74mail.ru

The biopreparation Zamin-M was developed on the basis of *Pseudomonas stutzeri* SKB 308, *Bacillus megaterium* SKB 310, *Bacillus subtilis* SKB 309 strains, and this article discusses the issues of its immobilization with the organic carrier Gipan. Hypan is a hydrolysable polyacrylonitrile that is highly soluble in water. Usually a solution of 9-12% in water is used. The color varies from light yellow to dark brown. Density at t -200C ranged from 1.06 to 1.07 g/cm³, pH 8-9. Does not freeze up to 5-10 C0. For the immobilization of rhizobacteria, which are part of the biopreparation "Zamin-M", the concentrations of polyacrylonitrile Gipan were studied, which contribute to a decrease in biomass in the supernatant culture liquid of 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% and 0.5%. When used for the association of microorganisms "Zamin-M", the concentration of the flocculant in relation to the culture fluid was 0.1%, and the duration of the sedimentation period was 90 minutes, which led to the precipitation of 90% of the biomass. Achieved ratio, stability and viability of microorganisms in the deposited biomass. The high molecular weight reagent Gipan in this case has 3 positive functions: the first is an effective flocculant, the second is a convenient and inexpensive means of protecting against microorganisms during storage, maintaining a practically unchanged titer and viability, and most importantly, antagonistic activity against phytopathogens. and the growth and development of plants leads to the preservation of the accelerating properties.

Keywords: Gipan, supernatant, biopreparation Zamin-M, rhizobacteria, flocculant, immobilization, carrier, kaolin

Одним из наиболее актуальных вопросов при производстве биопрепаратов на основе микроорганизмов является концентрирование биомассы, осаждаемой флокулянтами. Исследования по осаждению с использованием флокулянтов при производстве биопрепаратов в Узбекистане практически не проводились. Поэтому разработка технологических параметров осаждения биомассы флокулянтами при получении сухих препаративных форм, поиск соотношения концентрированного биопрепарата с флокулянтом, изучение влияния новой

препаративной формы фитостимулирующих свойств на всхожесть семян, определение антагонистической активности против грибов-фитопатогенов и урожайности растений является актуальным вопросом.

На практике широко применяют различные препаративные формы при использовании микроорганизмов, в том числе жидкие культуры, гелевые субстратные носители (бактериальные экзополисахариды, силикагель, высокодисперсные материалы) и твердые носители (вермикулит, лигнит, перламутр, торф и др.). Микроорганизмы,

составляющие основу биопрепаратов, должны отвечать ряду требований и обладать определенными характеристиками, такими как вирулентная активность, эффективность, конкурентоспособность, технологичность (способность набирать определенный титр в стандартных и производственных условиях). Основными требованиями к биопрепаратам являются: высокий титр активных клеток, необходимый срок хранения, транспортабельность, технологичность (растворимость, хранение в семенах и др.), колонизация в почве или на поверхности растения, а также их дешевизна [1-4].

Состав биоинокулянта на твердой или жидкой основе включает добавление средств защиты клеток, таких как глицерин, лактоза, крахмал, хороший материал-носитель, надлежащую упаковку и наилучшие способы доставки.

Недавние разработки рецептур основываются на микроинкапсуляции, наноиммобилизации микробных биоинокулянтов и биоудобрений на основе биопленки и других пленкообразующих соединений [5-7].

Для приготовления инокулята используют средства защиты клеток, такие как глицерин, лактоза, крахмал, а также хороший материал-носитель, надлежащая упаковка и наилучшие способы транспортировки. Для жидкофазной ферментации использует сепарацию, осаждение, флотацию, вакуум-конденсацию или мембранные технологии [1-3].

В случае приготовления жидких и сухих биопрепаратов увлажняющий порошок получают различными способами путем сушки концентрата, полученного из культуральной жидкости, постепенно до получения концентрированной формы и стандартизируют пасту до эталона в виде консервированного готового продукта. В случае получения готового продукта используются эмульгирующие пасты, dustы, гранулы, таблетки и микрокапсулы, которые изготавливаются на основе полимеров, широко используемых в медицине и в фармацевтике. В состав всех видов биопрепаратов входят вещества, обеспечивающие определенные физико-химические свойства, такие как вязкость, влагосодержание, устойчивость к начальной активности и УФ-лучам, продолжительность воздействия и др. [4; 5].

А также в последние годы широко применяется иммобилизация штаммов-продуцентов в носителях различного состава. В таких методах гранулированные и порошкообразные биопрепараты получают путем внедрения или иммобилизации на твердых природных сорбентах. Торфяная форма

ряда препаратов, служащих для повышения плодородия почвы, уже несколько лет используется в сельскохозяйственной практике (Экстрасол, Ризоторфин, Агрофил и др.). Технология их получения значительно проще, не требует больших затрат, питательная среда позволяет микроорганизмам активно размножаться длительное время, не теряя жизнеспособности [1-3].

Иммобилизацию ризобактерий проводят инстилляцией альгинатно-крахмального раствора с примесью ризобактерий в раствор кальция, и этот процесс анализируют, исходя из стадии роста бактерий, природы осмопротекторов и раствора кальция. Максимальное восстановление клеток наблюдалось при выращивании *Raoultella* в среде, наполненной глюконатом кальция в качестве агента терригена. Также было отмечено, что высушенный препарат, содержащий *Azospirillum brasilense*, сохранял жизнеспособность для 76% клеток в течение года. Выживаемость ризобактерий при биоинкапсулировании можно улучшить, добавляя к препарату крахмал, изменяя фазу роста клеток и применяя органическое соединение тегалозу в питательной среде [1-4].

Цель исследования: разработать технологию получения биопрепарата на основе ризобактерий, иммобилизованных в органический полимер Гипан.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования использовали штаммы *Pseudomonas stutzeri* СКБ 308, *Bacillus megaterium* СКБ 310, *Bacillus subtilis* СКБ 309, выделенные в наших предыдущих исследованиях, входящие в состав биопрепарата «Замин-М». На основе ассоциации этих штаммов получен авторский патент Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (АПИАП 05254. 16.01.2014).

Для флокуляции ризобактерий использовали флокулянт Гипан. Он представляет собой частично гидролизуемый полиакрилонитрил, который хорошо растворяется в воде. Обычно используют раствор 9-12% в воде. Цвет варьируется от светло-желтого до темно-коричневого. Плотность при t -200 °C колебалась от 1,06 до 1,07 г/см³, рН 8-9. Не замерзает при - 5-10 °C [8]. Гидрогель использовали для иммобилизации в составе биопрепарата.

Гидрогель представляет собой синтетический полимер, стойкий к воздействию воды. Он обладает способностью поглощать большое количество воды и при необходимости выделять проглоченную воду во внешнюю среду.

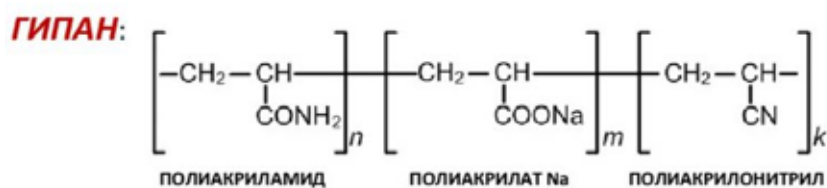


Рис. 1. Гипан

Флокулянт Гипан (рис. 1) любезно предоставлен старшим научным сотрудником Ташкентского научно-исследовательского химико-технологического института Общества с ограниченной ответственностью д.т.н. PhD Шириновым Шавкатом Давлетовичом.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что процесс концентрирования биомассы микроорганизмов с помощью флокулянтов осуществляют в технологическом процессе ферментации бактерий после стадии роста ферментов в культуральной жидкости.

Существует три основных метода концентрирования биомассы: вакуумное выпаривание, микрофльтрация культуральной жидкости и осаждение биомассы из культуральной жидкости с использованием флокулянтов. В каждом из рассмотренных методов есть специфичная себестоимость препарата, которая делится на капитальные и эксплуатационные затраты, затраты на приобретение сырья, которое рассчитывается для промышленного производственного процесса.

Установлено, что одним из этих способов является отделение биомассы путем

седиментации как один из наименее затратных способов [1]. Поэтому в данном исследовании были проведены исследования по использованию флокулянта Гипан, имитирующего условия засоления, подходящие для условий Узбекистана, для осаждения и концентрирования биомассы при производстве биопрепаратов на основе ризобактерий.

Начальные этапы исследования концентрации биомассы микроорганизмов основывались на использовании полиакрилонитрила – Гипан для флокуляции культур штаммов ризобактерий биопрепарата «Замин-М», растущих при pH-8, в следующих соотношениях: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 и 0,5%.

Преимуществом данного полимера является то, что его полимеризация происходит при pH 7-8, что связано с тем, что штаммы ризобактерий биопрепарата «Замин-М», адаптированные к условиям солевого стресса, соответствуют условиям развития в щелочной среде. Еще одним преимуществом полимера является то, что он не замерзает при температуре -5-10 °С, что позволяет клеткам сохраняться живыми длительное время. На следующем рисунке представлены сведения о влиянии Гипана на седиментацию бактериальных клеток (рис. 2).

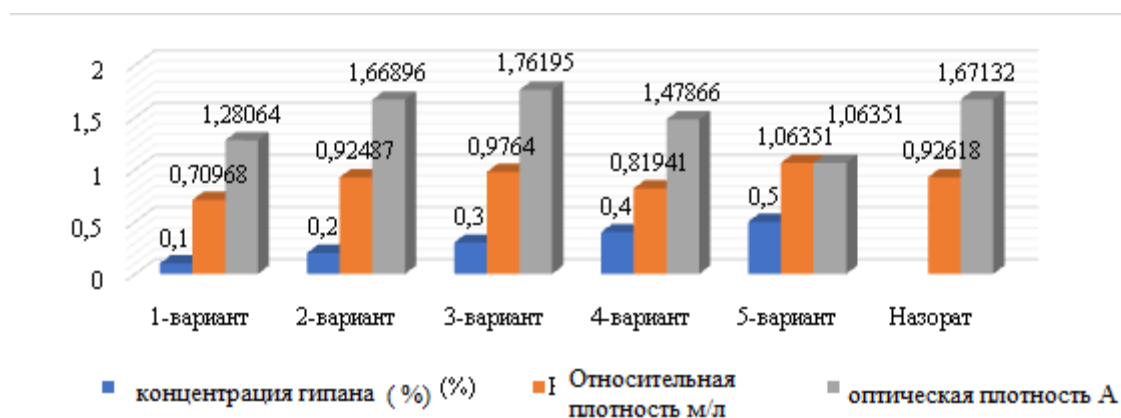


Рис. 2. Влияние Гипана на седиментацию бактериальных клеток

Как видно из рисунка 2, плотность надосадочной жидкости клеток, преципитированных с концентрацией Гипана 0,1%, составила 0,070968 мг/л, с концентрацией Гипана 0,2% 0,092487, 0,3% 0,97640, 0,4% 0,81941, 0,5% до 1,06351 мг/л. Концентрация Гипана 0,1% явилась причиной осветления осадочной жидкости, остальная биомасса осаждалась с трудом, увеличение концентрации Гипана приводило к загущению полимера с биомассой.

Контроль оптической плотности осветленной культуральной жидкости определяли относительно отцентрифугированного надосадочного раствора. Экспериментальные результаты показывают, что седиментация биомассы существенно различается при разных значениях концентрации реагента Гипан. Это связано с увеличением вязкости культуральной жидкости, что не привело к отложению образовавшихся флокулов, или может быть связано с зарядами или морфологическими свойствами клеток микроорганизма, или составом, физико-химическими свойствами культуры, жидкости.

Так, при использовании процесса флокуляции для ассоциации микроорганизмов «Замин-М» оптимальная концентрация флокулянта по отношению к культуральной жидкости составила – 0,1%, а продолжительность периода седиментации 90 минут, которая привела к осаждению 90% биомассы. Оптимальное соотношение

флокулянта привело к стабильности и жизнеспособности микроорганизмов в осаждаемой биомассе.

Кроме того, для иммобилизации осажденной биомассы микроорганизмов биопрепарата «Замин-М» использован гидрогель с концентрацией 0,01, 0,06, 0,1, 0,5% (рис. 3). Исследования по отношению количества клеток, осажденных гипановым полимером, показали, что жизнеспособность клеток была самой высокой при концентрации 0,1%. Флокулянт Гипан разбавляли 2–7 объемами воды для введения в КЖ. Затем смесь КЖ и флокулянта перемешивали в течение 2 минут, чтобы компоненты раствора полностью перемешались и кусочки собрались вместе. Седиментацию проводили при комнатной температуре и рН 9,0 культуральной жидкости (рис. 3).

Контроль оптической плотности осветления культуральной жидкости определяли относительно центрифугированного супернатанта.

Как видно из рисунка 3, оптимальной концентрацией иммобилизанта оказался вносимый гидрогель в количестве 0,06% по отношению к культуральной жидкости до осаждения 90% КЖ.

Время осаждения биомассы составляла 90 минут. В этом опыте титр микроорганизмов в осадке составил 3×10^8 -КОЕ, его содержание в надосадочной жидкости не превышало 0,96592-мг/л (рис. 4).

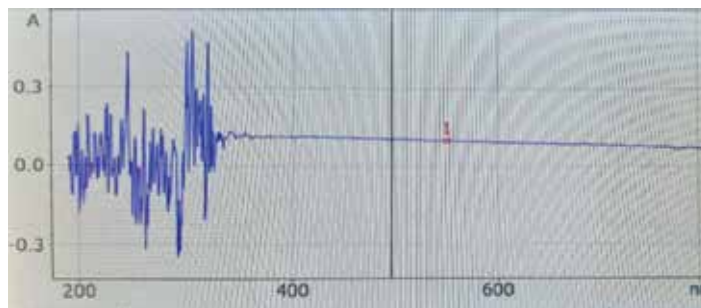


Рис. 3. Результаты спектрофотометрического анализа осадения биомассы микроорганизмов, составляющих биопрепарат «Замин-М», путем иммобилизации в гидрогель

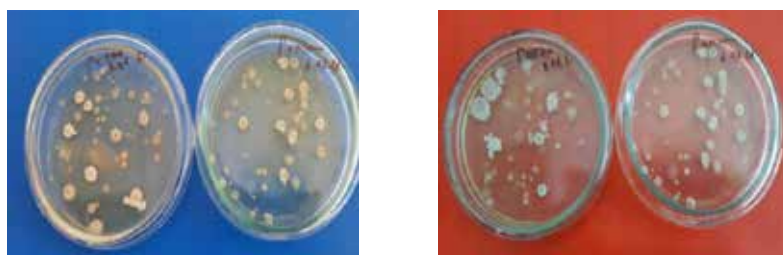


Рис. 4. Колония клеток биопрепарата «Замин-М» осаждается Гипановым флокулянтом. Общий вид колоний, осажденных А-0,1% Гипаном и Б-0,2% Гипаном

Срок хранения сухой формы биопрепарата «Замин-М» в каолиновой смеси Гипан

| Соотношение каолин:биомасса | Концентрация при длительном хранении | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | Исходная концентрация | 3 мес. | 6 мес. | 1 год |
| | Концентрация клеток | | | |
| Контроль | $2,48 \times 10^5$ | $2,08 \times 10^7$ | $1,8 \times 10^7$ | $1,8 \times 10^7$ |
| 100:1 | 3×10^5 | $2,7 \times 10^6$ | 2×10^6 | 2×10^7 |
| 100:2 | 3×10^6 | $2,9 \times 10^6$ | 2×10^6 | 2×10^8 |
| 100:3 | $3,33 \times 10^6$ | $3,0 \times 10^7$ | $2,9 \times 10^6$ | $2,9 \times 10^8$ |
| 100:4 | $3,1 \times 10^6$ | $2,8 \times 10^8$ | $2,1 \times 10^7$ | $2,1 \times 10^8$ |
| 100:5 | $3,81 \times 10^6$ | $3,6 \times 10^7$ | $3,0 \times 10^9$ | $3,0 \times 10^9$ |

Результаты эксперимента по осаждению биомассы при различных значениях концентрации реагента Гипан значительно различаются. Это связано с увеличением вязкости культуральной жидкости, что не вызвало отложения образовавшихся флокулов, или это могло быть обусловлено зарядом или морфологическими свойствами клеток, или их составом, физико-химическими свойствами культуральной жидкости.

Следующие исследования основывались на изучении процесса иммобилизации ризобактерий в твердый носитель, являющийся основой биопрепарата «Замин-М» (таблица). Массу препарата, состоящую из иммобилизованных клеток в виде сухого порошка, смешивали с каолином в соотношении 100:1; 100:2; 100:3; 100:4 и 100:5, после того сушили в сушилке.

Как видно из таблицы, был выбран каолин в качестве наполнителя в соотношении 100:5, при котором концентрация клеток составила $3,6 \times 10^7$ через 3 месяца, $3,0 \times 10^9$ через 6 месяцев и $3,0 \times 10^9$ через 1 год. Вышеуказанный способ консервации зарекомендовал себя как эффективное средство обеспечения сохранности специфических свойств микроорганизмов благодаря удобству и дешевизне. Поэтому оптимальным вариантом считалось соотношение 100: 5 при производстве сухого биопрепарата «Замин-М».

Выводы

Высокомолекулярный реагент Гипан для флокуляции биомассы имеет 3 положительные функции: первая – эффективный флокулянт, вторая – удобное и недорогое средство защиты от микроорганизмов при хранении, поддерживающее практически неизменный титр и жизнеспособность, а главное, сохраняется антагонистическая активность в отношении фитопатогенов,

а также увеличение роста и развития растений, что приводит к сохранению урожая. По результатам эксперимента подобрано соотношение каолин:биомасса – 100:5.

Увеличение биомассы не оказывает существенного влияния на количество микроорганизмов в сухой форме препарата, но экономически неэффективно. На основе экспериментальных данных был разработан опытный образец сухого биопрепарата «Замин-М».

Список литературы

1. Муродова С.С. Создание новых конкурентоспособных микробных препаратов на основе местных штаммов ризобактерий повышающих устойчивость хлопчатника к стрессовым условиям и оценка их практического значения. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент, 2018. 190 с.
2. Riddech N., Phibunwatthanawong T., Sarin P. Suitable formulation of microbial inoculants as a bio-fertilizer for promoting growth of hairy-leafed apitong (*Dipterocarpus alatus*). *Waste Biomass. Valor.* 2021. DOI: 10.1007/s12649-021-01526-7.
3. Войнова О.Н., Калачёва Г.С., Гродницкая И.Д., Волова Т.Г. Микробные полимеры в качестве разрушаемой основы для доставки пестицидов // Прикладная биохимия и микробиология. 2009. Т. 45 (№ 4). С.427–431.
4. Kamanina O.A., Saverina E.A., Rybochkin P.V., Arlyapov V.A., Vereshchagin A.N., Ananikov V.P. Preparation of Hybrid Sol-Gel Materials Based on Living Cells of Microorganisms and Their Application in Nanotechnology. *Nanomaterials.* 2022. V. 12. P. 1086. DOI: 10.3390/nano12071086.
5. Campos D.C., Acevedo F., Morales E., Aravena J., Amiard V., Jorquera M.A., Inostroza N.G., Rubilar M. Microencapsulation by spray drying of nitrogen fixing bacteria associated with lupin nodules. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2014. V. 30. P. 2371–2378. DOI: 10.1007/s11274-014-1662-8.
6. Schoebitz M., López M.D., Roldán A. Bioencapsulation of microbial inoculants for better soil-plant fertilization. A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 2013. V. 33(4). P. 751-765. DOI: 10.1007/s13593-013-0142-0.
7. Schoebitz M., Simonin H., Poncelet D. Starch filler and osmoprotectants improve the survival of rhizomes.bacteria in dried alginate beads. *J. Microcapsule.* 2012. V. 29. P. 532-538.
8. Джалилов А.Т., Ширинов Ш.Д., Нурметов Т.Ш., Хамидов А.А., Мавлонов Б.А. Метод получения полимерного гидрогеля // Патент №IAP 04582. 26.09.2012.

УДК 581.1

ЖАРО- И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОГО ДЕРЕВА, ИНТРОДУЦИРОВАННОГО НА АПШЕРОНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

¹Асадов Г.Г., ¹Багирова С.Б., ²Кулиев Ф.А., ¹Бабаев М.И.

¹Институт дендрологии НАНА, Баку, e-mail: samira.baqirova.2013@mail.ru;

²Лянкоранский региональный научный центр, Ленкорань, e-mail: prof.fquliyev@mail.ru

Железное дерево является одним из реликтовых растений Кавказа, в частности Азербайджана. Возраст растений превышает 4000 лет. Родиной является Персия, современный Иран. Оно является редчайшим растением, распространенным на склонах Талышских гор Ленкоранской области Азербайджана. Растение относится к семейству Hamamelidaceae, роду *Parrotia*, виду *Parrotia persica* (D. C.) C.A. May. Дерево обладает высочайшим ростом и развитием, долговечностью и способностью естественного восстановления, качественной древесиной, которая отличается от всех видов древесных пород удельным весом. Поэтому древесина данного вида плотная и тонет в воде. Это качество древесины позволяет широко использовать ее для изготовления мебели, в строительстве и в изготовлении оборудования для подводного и парусного судостроения. Впервые в условиях сухого субтропического климата Апшерона в Азербайджане интродуцировано 10 экземпляров молодых саженцев железного дерева, доставленных из Ленкоранского научного центра НАНА. Саженцы посажены на экспериментальном участке Института дендрологии НАНА ранней весной. Цель данной статьи – экспериментальное исследование жароустойчивости и засухоустойчивости в связи с динамикой фотосинтетической активности данного вида, интродуцированного на Апшеронский полуостров Азербайджана.

Ключевые слова: железное дерево, жаро- и засухоустойчивость, динамика фотосинтеза

HEAT AND DROUGHT RESISTANCE OF THE IRON TREE INTRODUCED TO THE ABSHERON PENINSULA OF AZERBAIJAN

¹Asadov G.G., ¹Bagirova S.B., ²Kuliev F.A., ¹Babaev M.I.

¹Institute of Dendrology of ANAS, Baku, e-mail: samira.baqirova.2013@mail.ru;

²Lankaran Regional Scientific Center, Lankaran, e-mail: prof.fquliyev@mail.ru

The iron tree is one of the relic plants of the Caucasus, in particular in Azerbaijan. The plants are over 4000 years old. Homeland is Persia, modern Iran. It is the rarest plant common on the slopes of the Talysh Mountains in the Lankaran region of Azerbaijan. The plant belongs to the family Hamamelidaceae, genus *Parrotia*, and species *Parrotia persica* (D. C.) C.A. May. The tree has the highest growth and development, durability and the ability to naturally regenerate, high-quality wood, which differs from all types of tree species in specific gravity. Therefore, the wood of this type is dense and sinks in water. This quality of wood allows it to be widely used in the manufacture of furniture, construction and in the manufacture of equipment for underwater and sailing shipbuilding. For the first time in the conditions of the dry subtropical climate of Absheron in Azerbaijan, 10 specimens of young iron tree seedlings were introduced, delivered from the Lankaran Scientific Center of ANAS. The seedlings were planted at the experimental site of the Institute of Dendrology of ANAS in early spring. The purpose of this article is devoted to an experimental study of heat resistance and drought resistance, in connection with the dynamics of photosynthetic activity of this species introduced in the conditions of the Absheron Peninsula of Azerbaijan.

Keywords: iron tree, heat and drought tolerance, photosynthesis dynamics

Материалы и методы исследования

Железное дерево достигает высоты 20–30 м. Это листопадное дерево, диаметр ствола иногда достигает 1,5–2,0 м. Дерево цветonoсное, цветение наблюдается до раскрытия листовых почек. У цветка отсутствуют лепестки, количество чашелистиков 5–7, а количество тычинок соответствует числу лепестков. Плод – двустворчатая коробка. Созревают плоды к осени. Листья железного дерева небольшого размера, овальные, достигают длины 8–12 см, ширины 4–6 см. Весной и летом листья зеленые, к осени желтые, по краям красивые и пурпурные. Кора ствола коричнево-серая, ширина кроны достигает 15–20 м, древесина плотная, годовичные кольца выражены слабо.

В экологическом отношении железное дерево предпочитает субтропический климат с теплой умеренной температурой. Поэтому данный вид растет в основном на склонах гор, не превышающих 700 м над уровнем моря. Он требователен к увлажненным почвам вдоль рек и ручьев, редко встречается в засушливых местах.

Железное дерево растет медленно, к 150–200 годам достигает 15–20 м высоты с диаметром ствола в 30–40 см, иногда в 50. Растение способно к естественному восстановлению с помощью корневых отростков, отходящих от корневого перешейка.

Исходя из вышесказанного, в целях экспериментальных исследований нами были приобретены из Ленкоранской области 10 экземпляров пятилистных сажен-

цев железного дерева, которые были интродуцированы на территорию Института дендрологии НАНА, с целью определения жароустойчивости и засухоустойчивости данного вида в аридных условиях Апшеронского полуострова Азербайджана.

Для воплощения намеченных целей были определены биометрические показатели роста новых побегов, количество листьев на одном побеге, длина и ширина листьев, фотосинтетическая активность и количество хлорофилла в листьях. Измерение активности фотосинтеза произвели с помощью аппарата Plant photosynthesis meter 3051 C (Китай) и SPAD 502 Plus Chlorophyll meter (Индия).

Влияние высоких температур на растение произвели по методу Ф.Ф. Мацкова, описанному в [1], повышая температуру водной бани с 40 °С до 80 °С, с дальнейшей обработкой листьев 0,2 Н соляной кислоты. Засухоустойчивость молодых саженцев железного дерева провели по методике П.А. Генкеля [2]. Полученные данные представлены в таблицах данной статьи.

Результаты исследования и их обсуждение

Железное дерево имеет высококачественную древесину розового цвета с коричневым оттенком. Плотная и весьма однородная древесина вида широко использовалась в изготовлении ткацких установок, декоративной фанеры с качественной полировкой, художественных рамок и др.

Древесина прочная, твердая, малоупругая и плохо колется. В своих статьях И.С. Сафаров [3] высоко оценивал древесину железного дерева и указывал физико-химические свойства древесины.

В табл. 1 представлены данные о степени повреждения листьев железного дерева в зависимости от высоких температурных показателей.

Как видно из табл. 1, молодые листья железного дерева выдерживают температуру внешней среды от 40 °С до 50 °С, а дальнейшее повышение температуры от 60 °С

до 70 °С приводит к повреждению листовой пластинки. По-видимому, происходит повышение кислотного состава клеточного сока, а затем происходит осаждение ионов Mg^{2+} с образованием феофитина, фитоловой кислоты, амидов токсического характера. В связи с этим происходит гибель клеток, тканей и др. частей листового аппарата в целом [4–6].

Количество воды в листьях определяли путем высушивания в сушильном шкафу при температуре 105 °С, в течение 24 ч. Количество потерянной воды составляло 27%. Из полученных данных стало ясно, что железное дерево по происхождению является гигрофитным растением, требовательным к питательной среде и влажной почве [7–9].

Саженцы, интродуцированные на экспериментальном участке Института дендрологии НАНА на Апшеронском полуострове с характерными засушливо-жаркими климатическими условиями, во второй декаде марта 2022 г., при оптимальном агротехническом уходе, произрастали без каких-либо отклонений. Биометрические параметры формирования листьев и побегов в течение 30 и 60 дней представлены в табл. 2 и 3.

Как видно из табл. 2, при оптимальном уходе за саженцами, интродуцированными в 18.03.2022 на экспериментальном участке, у них ускорено развитие почек, и за 30 дней, к 18.04.2022, длина побега в среднем равна 7,9 см, число образованных побегов на одном растении изменяется от 5 до 12. Количество листьев образовавшихся на одном побеге, в среднем 5, длина одного листа равна 4,2 см, а ширина равна 2,7 см, площадь одного листа составляет 11,8 см². Общая фотосинтезирующая площадь всех листьев на деревце равна 59 см².

В табл. 3 представлены сведения о росте и формировании листьев 60-дневных растений в весенний период развития. Данные таблицы свидетельствуют о том, что при регулярном агротехническом уходе (обеспечении водой, минеральными и органическими удобрениями) активность роста саженцев железного дерева интенсивно ускоряется.

Таблица 1

Степени повреждения листьев железного дерева в зависимости от температурных показателей

| температура вид | 40°С | 50°С | 60°С | 70°С | 80°С |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| <i>Parrotia persica</i> | - | - | + | ++ | +++ |

Примечание: «-» нет повреждений
«+» слабое повреждение
«++» повреждение в 50%
«+++» сильное повреждение

Таблица 2

Биоморфологические параметры роста молодых саженцев
железного дерева (*Parrotia persica* (D. C.) С.А. Мау),
интродуцированных на Апшеронском полуострове (19.04.2022)

| Вид | Длина побегов (см) | Кол-во побегов (шт.) | Кол-во листьев на 1-м стебле (шт.) | Длина листа (см) | Ширина листа (см ²) | Площадь листа (см ²) | Общая площадь всех листьев на побеге (см ²) |
|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| Железное дерево (1) | 15 | 12 | 5 | 5,5 | 3,5 | 19,25 | 96,25 |
| Железное дерево (2) | 9 | 5 | 5 | 3,5 | 3 | 10,5 | 52,5 |
| Железное дерево (3) | 10 | 5 | 6 | 5,5 | 3 | 16,5 | 99 |
| Железное дерево (4) | 8 | 8 | 5 | 4,5 | 3,3 | 14,9 | 74,25 |
| Железное дерево (5) | 10 | 6 | 6 | 3 | 2 | 6 | 36 |
| Железное дерево (6) | 4,5 | 6 | 5 | 3,2 | 2,2 | 7,1 | 35,2 |
| Железное дерево (7) | 7 | 10 | 4 | 4,5 | 3 | 13,5 | 54 |
| Железное дерево (8) | 6,5 | 9 | 4 | 3,2 | 2,2 | 7,1 | 28,16 |
| Железное дерево (9) | 8 | 6 | 4 | 4 | 2,2 | 8,8 | 35,2 |
| Железное дерево (10) | 11 | 9 | 6 | 5 | 3 | 15 | 90 |

Таблица 3

Биоморфологические параметры роста молодых саженцев
железного дерева (*Parrotia persica* (D. C.) С. А. Меу)
интродуцированной на Апшеронском полуострове (24.05.2022)

| Вид | Длина стебля (см) | Кол-во побегов (шт.) | Кол-во листьев на 1-м стебле (шт.) | Длина листа (см) | Ширина листа (см) | Площадь листа (см ²) | Общая площадь всех листьев на побеге (см ²) |
|----------------------|-------------------|----------------------|------------------------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|---|
| Железное дерево (1) | 13,1 | 10 | 8 | 7,0 | 4,0 | 28,0 | 224,0 |
| Железное дерево (2) | 26,2 | 11 | 13 | 6,5 | 4,0 | 26,0 | 338,0 |
| Железное дерево (3) | 25,5 | 12 | 8 | 7,2 | 4,0 | 28,8 | 230,4 |
| Железное дерево (4) | 20,5 | 11 | 8 | 7,1 | 4,0 | 28,4 | 227,2 |
| Железное дерево (5) | 25,5 | 10 | 10 | 6,5 | 4,2 | 27,3 | 273,0 |
| Железное дерево (6) | 16,2 | 11 | 6 | 8,0 | 4,0 | 32,0 | 192,0 |
| Железное дерево (7) | 25,6 | 10 | 8 | 7,6 | 4,3 | 32,68 | 261,44 |
| Железное дерево (8) | 26,0 | 11 | 8 | 5,8 | 3,2 | 18,56 | 148,8 |
| Железное дерево (9) | 22,5 | 9 | 8 | 7,3 | 4,3 | 31,39 | 251,12 |
| Железное дерево (10) | 24,2 | 10 | 13 | 8,2 | 4,2 | 34,44 | 447,72 |

Таблица 4

Характеристика активности фотосинтеза листьев молодых саженцев железного дерева (*Parrotia persica* (D. C.) С.А. Мей) (18.04.2022)

| Вид | CO ₂ (×10 ⁻⁴) | T°C (Погода) | T°C (Лист) | Rh% | Par (×10 ⁻⁴) | Поток газа | Pn (×10 ⁻⁶) | CO ₂ In (×10 ⁻⁴) |
|-------------------------|---|-----------------|---------------|------|-----------------------------|---------------|----------------------------|--|
| Железное дерево (6) | 5,06 | 15,1 | 13,3 | 49,5 | 3,26 | 0,69 | 19,9 | 29,0 |
| Железное дерево (10) | 5,08 | 15,1 | 14,0 | 50,1 | 2,6 | 0,7 | 25,1 | 27,8 |

При измерении роста побега формирование листьев особенно активно проявляется при температурных показателях среды от 22 °С до 30 °С, несколько задерживается в ветреные дни и при усилении осадков (май 2022 г.). Независимо от погодных условий, рост побега достигает за 60 дней в среднем 26,2 см количество побегов 12, количество сформировавшихся листьев 9, длина листа 7,1 см, ширина листа 4 см, площадь листьев на одном побеге 28 см², а общая площадь листьев на одном растении составляет 255,3 см².

При сравнении показателей роста 30-дневных и 60-дневных растений становится ясно, что прирост побегов и формирование листьев у 60-дневных саженцев превышает как таковой у 30-дневных почти в 2–2,5 раза, что свидетельствует об ускорении адаптации вида к условиям новой экологической среды. Этим утверждениям соответствуют полученные данные, представленные в табл. 4.

Как видно из табл. 4, железное дерево в весенний период своего развития отличается высокой активностью фотосинтеза. В таблице ярко выражены активность поглощения углекислого газа у всех 10 са-

женцев в 30-дневный период формирования листового аппарата, т.е. в начальном этапе вегетационного периода активности поглощения у них почти не различаются в пределах от 5,01 до 5,11×10⁻⁴. Температура внешней среды равна средневесенним показателям. Внутренняя температура протоплазмы листа изменяется от 13 до 14,2 °С, процентное содержание влажности в пределах 46,3–53,4%, активность выделения потока во внешнюю среду схожа у всех экземпляров, количество выделяемых паров, т.е. транспирация, в пределах от 1,54 до 5,6×10⁻⁴, показатель активности Pn×10⁻⁶, изменяется в пределах, близких к оптимальным – от 3,6 до 25,1, выделение углекислого газа (CO₂) изменяется от 12,6 до 48,3×10⁻⁴.

Сведения фотосинтетической активности ярко выражены на рис. 1, 2. В этот период внутренняя и внешняя температуры оказались равными, что способствовало умеренному течению фотосинтеза, распределению физической и химической энергии, для оптимизации энергетической активности хлорофилла в хлоропластах, создания оптимального синтеза органических соединений, обеспечивая выход кислорода в атмосферу и его обогащение [10, 11].

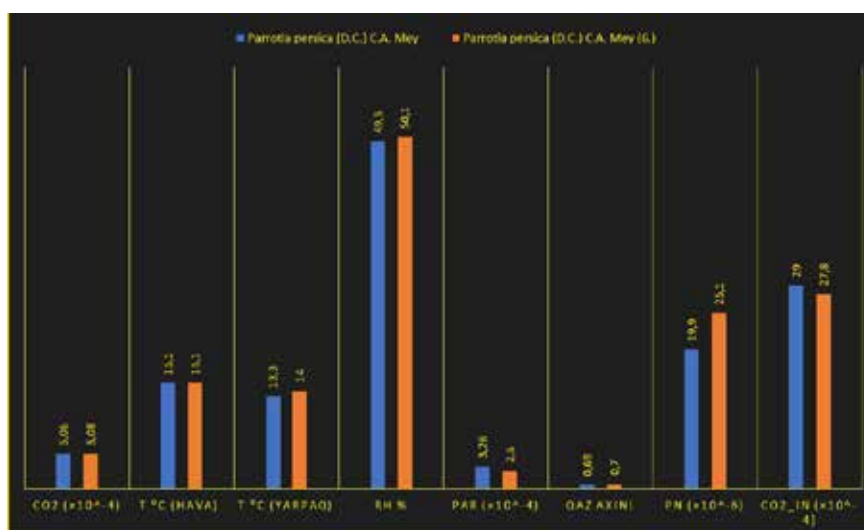


Рис. 1. Характеристика фотосинтеза листьев, P/моль

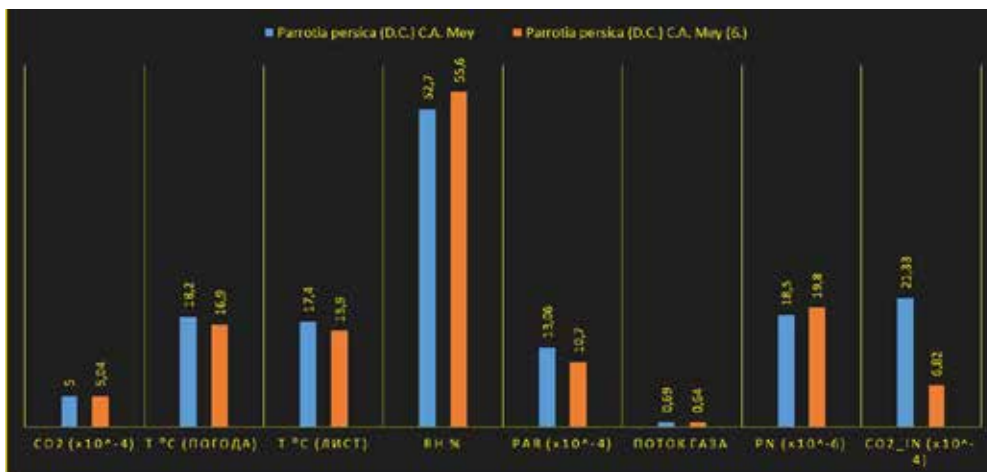


Рис. 2. Характеристика фотосинтеза листьев, Р/моль



а



б

Рис. 3. Молодые саженцы железного дерева в открытом (а) и в затемненном (б) месте

Высокие показатели относительной влажности протоплазмы активизировали синтез энергетических ресурсов (рис. 3).

На фото отражен общий вид одного из десяти саженцев, интродуцированных на экспериментальный участок Института дендрологии. В табл. 3 представлены сведения о биоморфологических показателях 60-дневного роста побега и формирования листовой пластинки саженцев. Из десяти саженцев один пересажен в тенистую и увлажненную почву. Из наблюдений и измерений стало очевидно, что у саженцев в тенистом месте листья темно-зеленые и более удлинены, чем у саженцев в открытом месте с оптимальным освещением. Для сравнения отобрано растение. Длина побега растения № 6 16,2 см, длина листа 8 см, а ширина листа 4 см, площадь листа 32 см². У № 10 длина побега 24,2 см, длина листа 8,2 см, площадь листа 34,3 см². Количество хлорофилла на 5 мм² площади равно 40,4 мкг/л, у 10-го 40,5 мкг/л – что мы свя-

зываем с биологической особенностью данного вида (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что у саженцев, интродуцированных на Апшеронский полуостров, за 60 дней особых различий в росте и развитии не отмечено. Наблюдения в этом направлении будут проводиться до конца вегетации.

В табл. 5 представлена характеристика активности фотосинтеза листьев саженцев железного дерева, измеренная с помощью аппарата Plant photosynthesis meter 3051 C (Китай). Из данных видно, что молодые и активно формирующиеся листья производят интенсивную фотосинтетическую деятельность, особенно ранней весной. Данные табл. 5 говорят о том, что при двухминутной экспозиции поглощение CO₂ равно 5,06×10⁻⁴ ркг/л, количество выходящего CO₂ из устьиц равно 29×10⁻⁴ ркг/л. Усвоенное количество CO₂ используется для синтеза органических соединений, повышение CO₂ при выходе из листа является конечным продуктом при дыхании.

Таблица 5

Характеристика активности фотосинтеза листьев молодых саженцев железного дерева (*Parrotia persica* (D. C.) С.А. Мей (24.05.2022))

| | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Вид: <i>Parrotia persica</i> (D. C.) С. А. Мей | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. |
| Количество общего хлорофилла | 36.5 | 35.7 | 44.1 | 45.2 | 35.4 | 40.4 | 39.1 | 36.8 | 33.6 | 40.5 |

Таблица 6

Общее количество зеленых пигментов в 5 мм² площади молодых листьев железного дерева в мкг/г

| Вид | CO ₂ (×10 ⁻⁴) | T°C (Погода) | T°C (Лист) | Rh% | Par (×10 ⁻⁴) | Поток газа | Pn (×10 ⁻⁶) | CO ₂ (×10 ⁻⁴) |
|----------------------|--------------------------------------|--------------|------------|------|--------------------------|------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Железное дерево (6) | 5,0 | 18,2 | 17,4 | 52,7 | 13,06 | 0,69 | 18,5 | 21,33 |
| Железное дерево (10) | 5,04 | 16,9 | 15,9 | 55,6 | 10,7 | 0,64 | 19,8 | 6,82 |

Во время фотосинтеза показатель влажности (отн. вл.) протоплазмы находится в равных условиях как у освещенных растений, так и у находящихся на затемненном участке, что подтверждается показателями рис. 1.

Как видно из табл. 5 и рис. 1, процесс фотосинтеза внутри вида не зависит от места выращивания – это биологическая особенность вида. Разница температур в окружающей и внутренней среде у 30-дневного листа равномерна, а у 60-дневных (3-я декада мая) разница составляет всего в 0,8 °С, тогда как отн. вл. превышает почти 5,6% (табл. 6, рис. 2). Выход CO₂ у 60-дневных саженцев отличается до 14,51×10⁻⁴. Поток газа внутри протоплазмы у 30-дневных саженцев изменяется в пределах 0,69 до 0,7, а у 60-дневных – от 0,69 до 0,64.

Из всего представленного вытекает, что реликтовое и эндемичное железное дерево при оптимальных условиях, обеспечении минеральными и органическими удобрениями, вполне приемлемо для интродукции на южном и восточном склонах Большого Кавказа, в Карабахской области, при озеленении Апшерона, Гянджи и других регионов Азербайджана.

Как показали эксперименты при интродукции железного дерева, отличия в жаро- и засухоустойчивости внутри вида не наблюдались. Растение показало высокую степень устойчивости в жаркой климатической среде в сухом субтропическом климате Апшерона.

Покойный И.С. Сафаров дал высокую оценку железному дереву и восточному платану, которые являются древнейшими представителями реликтовых и редких видов,

заселяющих Землю, включив их в Красную книгу Азербайджана.

Заключение

Впервые в условиях сухого субтропического климата Апшерона в Азербайджане интродуцировано 10 экземпляров молодых саженцев железного дерева, доставленных из Ленкоранского научного центра НАНА. Саженцы посажены на экспериментальном участке Института дендрологии НАНА ранней весной.

Проведены морфологические и аналитические измерения молодых деревьев с использованием современных приборов. Определена активность фотосинтеза и количественное содержание хлорофилла в листьях. Установлено, что при оптимальном уходе и обеспечении минеральными и органическими удобрениями они выдерживают резкое изменение температур и освещенности, при этом нормально функционируя. За истекший срок каких-либо морфологических отклонений в росте и развитии вегетативных органов молодых саженцев железного дерева, интродуцированных на Апшеронском полуострове, не наблюдалось. Некоторые незначительные изменения являются внутривидовой особенностью – устойчивостью к изменениям экологической среды, в частности к изменениям современного климата.

Список литературы

1. Викторов Д.П. Малый практикум по физиологии растений. М.: Высшая школа, 1969. С. 94–95.
2. Генкель П.А. Основные пути изучения физиологии засухоустойчивости растений. Физиология засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1971. С. 5–27.

3. Сафаров И. Эколого-биологическая характеристика железного дерева // Труды Института ботаники АН Азербайджанской ССР. 1962. Т. 16.
4. Османова Г.О., Мехтиева Н.П., Абдыева Р.Ф. Онтогенетическая структура ценопопуляций некоторых редких видов растений Азербайджана. Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН, 2018. Вып. 19. С. 38–44. DOI: 10.17581/bbgi1905.
5. Митина Л.В., Виноградова Е.Н., Хархота Л.В. Древесные растения Кавказа в Донецком ботаническом саду. Hortus bot. 2017. Т. 12. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=4406>. DOI: 10.15393/j4.art.2017.4406 (дата обращения: 18.08.2022).
6. Байрамов А.А. Экологические основы интродукции растений в условиях сухих субтропиков Кавказа. Центральный Ботанический Сад НАНА. Vol. XI. URL: proceedingscbg.az/media/4.pdf (дата обращения: 18.08.2022).
7. Айдарханова Г.С., Имашева Б.С. Интродукция видов сиреней в условиях Акмолинской области // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология». 2021. № 3 (103). С. 7–17. DOI: 10.31489/2021BMG3/7-17.
8. Мамедов Т.С., Асадов Г.Г. Экология растений. Баку: «Елм», 2014. С. 310.
9. Ахмедова А.Б. Экологический анализ некоторых фанерофитов Азербайджана в условиях *ex situ* // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. № 1. DOI: 10.33619/2414-2948/74.
10. Иманова С.Х. Пути экологии и охраны земель (на примере Апшеронского полуострова). Баку, 2014. 173 с.
11. Искандер Э.О., Садыгова Н.А. Экология растений. Баку: Издательство Бакинского университета, 2018. 320 с.

**ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО И СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЕВ
В МЕСТАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫМ НЕФТЕПРОВОДОМ
«ТЕНГИЗ – НОВОРОССИЙСК»**

Денисенко О.С., Добрица К.В.

*ООО «Азово-Черноморский научный центр рыбохозяйственных исследований», Краснодар,
e-mail: rosfishcenter@mail.ru*

В рамках данной работы рассматриваются результаты многолетних мониторинговых гидробиологических исследований, проведенных с января 2018 г. по июнь 2022 г. по изучению качественных и количественных показателей развития гидробиологических компонентов водных экосистем – фитопланктона, зоопланктона и зообентоса – на поверхностных водных объектах рыбохозяйственного значения на территории Краснодарского и Ставропольского краев в местах осуществления технического обслуживания и проведения учений (КСПУ, ТСУ, УТЗ) на пересечениях магистральным нефтепроводом «Тенгиз – Новороссийск» водных преград на ЛЧ МН КТК-Р Западного региона. В результате исследований впервые комплексно изучено современное состояние видового разнообразия гидробионтов на 36 водных объектах, получены сезонные и годовые показатели качественного и количественного состава фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Для большинства водных объектов полученные данные являются уникальными, так как исследования на них никогда не проводились. Структурная организация фитопланктона исследованных водоемов показала, что в формировании его принимали участие представители из основных семи отделов: зеленые, сине-зеленые, желто-зеленые, золотистые, эвгленовые, диатомовые и пиррофитовые. Зоопланктон был представлен веслоногими и ветвистоусыми ракообразными, а также коловратками. Бентос, как наиболее стабильная группа естественной кормовой базы, был представлен типичными видами: личинками комаров-звонцов, малощетинковыми червями, личинками стрекоз, поденок, ручейников и водяных жуков, а также двусторчатными моллюсками. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при оценке современного состояния кормовой базы рек Краснодарского и Ставропольского краев, оценке приемной мощности водных объектов при осуществлении искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов, расчетах вреда водным биологическим ресурсам от осуществления хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: фитопланктон, зоопланктон, зообентос, численность, биомасса, сезонная динамика, водные объекты

**HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER BODIES
OF FISHERY IMPORTANCE ON THE TERRITORY
OF KRASNODAR AND STAVROPOL KRAI AT THE INTERSECTIONS
OF THE TENGIZ – NOVOROSSIYSK TRUNK OIL PIPELINE**

Denisenko O.S., Dobritsa K.V.

*Limited liability company “Azov – Black Sea Scientific Center for Fisheries Research”, Krasnodar,
e-mail: rosfishcenter@mail.ru*

Within the framework of this work, the results of long-term monitoring hydrobiological studies conducted in the period January 2018 to June 2022 are considered. on the study of qualitative and quantitative indicators of the development of hydrobiological components of aquatic ecosystems – phytoplankton, zooplankton and zoobenthos on surface water bodies of fishery importance in the Krasnodar and Stavropol Territories in the places of maintenance and exercises (KSPU, TSU, UTZ) at the intersections of the main oil pipeline “Tengiz-Novorossiysk” of water barriers on the LC MN CPC-P of the Western region. As a result of the research, the current state of the species diversity of hydrobionts on 36 water bodies was comprehensively studied for the first time, seasonal and annual indicators of the qualitative and quantitative composition of phytoplankton, zooplankton and zoobenthos were obtained. For most water bodies, the data obtained are unique, since studies have never been conducted on them. The structural organization of phytoplankton of the studied reservoirs showed that representatives from the main seven departments took part in its formation: green, blue-green, yellow-green, golden, euglen, diatom and pyrophyte. Zooplankton was represented by representatives of copepods and branched crustaceans, as well as rotifers. Benthos as the most stable group of the natural food supply was represented by typical representatives – larvae of bell mosquitoes, small-scale worms, larvae of dragonflies, mayflies, brooks and water beetles, as well as bivalve mollusks. The results of the conducted research can be used in assessing the current state of the forage base of the rivers of the Krasnodar and Stavropol Territories, assessing the receiving capacity of water bodies in the implementation of artificial reproduction of aquatic biological resources, calculating damage to aquatic biological resources from economic activities.

Keywords: phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, abundance, biomass, seasonal dynamics, water bodies

Актуальность исследований в условиях ежегодно возрастающей антропогенной нагрузки на водные экосистемы обусловлена недостаточным количеством или полным отсутствием современных данных о состоянии и развитии гидробиологических компонентов водных экосистем, основными составляющими которых являются представители фитопланктона, зоопланктона и зообентоса [1–3].

Исследования проводились на 36 поверхностных водных объектах рыбохозяйственного значения (реки, балки, магистральные и сбросные оросительные каналы) на территории двух субъектов Российской Федерации: Краснодарского края и Ставропольского края.

Проведение исследований обусловлено необходимостью оценки степени воздействия на гидробиологические компоненты водных экосистем работ по техническому обслуживанию подводных переходов линейной части магистрального нефтепровода Западного региона АО «КТК-Р», а также проведения комплексных учений (КУ), тактико-специальных учений (ТСУ) и учебно-тренировочных занятий (УТЗ) на подводных переходах магистрального нефтепровода Западного региона акционерного общества «Каспийский трубопроводный консорциум-Р».

К подводному переходу магистрального трубопровода относятся участки магистрального трубопровода, проложенные с заглублением в дно пересекаемой водной преграды шириной по зеркалу воды в межень 10 м и более и глубиной 1,5 м и более, или шириной по зеркалу воды в межень 25 м и более независимо от глубины. Охранная зона вдоль подводных переходов устанавливается в виде участка водного пространства от водной поверхности до дна, заключенного между параллельными плоскостями, отстоящими от осей крайних ниток переходов на 100 м с каждой стороны.

Каспийский трубопроводный консорциум является международной нефтетранспортной компанией с участием компаний Российской Федерации, Казахстана, а также ряда иностранных добывающих компаний. Основной целью работы является строительство и эксплуатация Каспийского магистрального нефтепровода протяженностью более 1500 км, по которому нефть транспортируется до морского терминала компании в посёлке Южная Озеревка г. Новороссийска.

Гидробиологические исследования по изучению качественных и количественных показателей развития гидробиологических компонентов водных экосистем в настоя-

щее время в основном проводятся исключительно на крупных водоемах, которые используются хозяйствующими субъектами для промышленного рыболовства или воспроизводства водных биологических ресурсов. В то же время исследования на более мелких водных объектах, составляющих основную часть гидрографической сети исследованных регионов Российской Федерации, практически полностью отсутствуют. Это не позволяет в полной мере выявлять объективную картину состояния и развития на этих водных объектах данных групп организмов [4].

Целью данной работы было изучение качественных и количественных показателей развития гидробиологических компонентов водных экосистем – фитопланктона, зоопланктона и зообентоса на 36 поверхностных водных объектах рыбохозяйственного значения на территории Краснодарского и Ставропольского краев в местах осуществления работ по техническому обслуживанию линейной части подводных переходов магистрального нефтепровода Западного региона акционерного общества «Каспийский трубопроводный консорциум-Р», а также проведения комплексных учений (КУ), тактико-специальных учений (ТСУ) и учебно-тренировочных занятий (УТЗ) на подводных переходах магистрального нефтепровода Западного региона АО «КТК-Р», в том числе таких водотоках, как р. Кубань, р. Калаус, р. Маныч, р. Каменка, р. Терновка, р. Егорлык, р. Расшеватка, р. Челбас, р. Сухой Лог, р. Кирпили, Джимайлова балка, р. Ставок, р. Кочеты, р. Понура, р. Айгурка, р. Барханчак, р. Большая Кугульта, р. Малая Кугульта, р. Ташла, балка Сухой лог, балка Бейсуг, балка Сула, р. Меккерстук, р. Баканка, р. Атакай, р. Цемес, а также на ряде оросительных каналов: главный оросительный канал, Фёдоровский-Чебургольский канал, Фёдоровский канал, р. Мокрый Аушедз, сбросной канал, Афицкий коллектор, канал С-1-2, канал ДС-4, Варнавинский сбросной канал, Право-Егорлыкский канал.

Материалы и методы исследования

В период исследований пробы отбирались в местах пересечений поверхностных водных объектов рыбохозяйственного значения с подводными переходами магистрального нефтепровода Западного региона акционерного общества «Каспийский трубопроводный консорциум-Р» ежеквартально с января 2018 г. по июнь 2022 г. для каждого водного объекта рыбохозяйственного назначения [5, 6].

Всего за период работ было отобрано и обработано 380 гидробиологических проб

(фитопланктон – 140, зоопланктон – 140, зообентос – 100) в соответствии с общепринятыми методиками [7–9].

Отбор проб фитопланктона осуществлялся с использованием батометра Молчанова. Полученные пробы переливали в пластиковые ёмкости объёмом 1,5 л и фиксировали 40% формальдегидом до достижения им 2% концентрации. Камеральную обработку проб проводили после их отстаивания с целью обеспечения полного оседания клеток. Подсчёт водорослевых клеток проводили в камере Нажотта с последующим пересчётом их численности на 1 м³. Определение биомассы водорослей осуществляли с помощью объёмно-весового метода [10].

Отбор проб зоопланктона проводили стандартным сетным методом, сетью Апштейна с диаметром входного отверстия 38 см и ячейей фильтрующего сита № 80 путём процеживания 100 л воды. После процеживания пробы переливали в пластиковые ёмкости объёмом 0,5 л. Полученный слив объединяли с ранее взятой пробой и фиксировали 40% раствором формальдегида до достижения концентрации его в пробе 4%. Камеральную обработку зоопланктонных проб осуществляли по счетно-весовой методике. Перед обработкой проб проводили их сгущение. Этот способ позволил учесть абсолютно все зоопланктонные организмы, находящиеся в пробе. Просмотр проб осуществляли с помощью стереоскопического микроскопа в камере Богорова [11].

Исследование таксономического состава и количественного развития зообентоса проводили по методу Шредера – Жадина. Для удобства определения площади сбора, отбор проб зообентоса по методу Шредера – Жадина. Фиксация организмов зообентоса осуществлялась в 70-градусном спирте, взвешивание проводили с помощью электронных весов с наименьшим пересчетом численности и биомассы организмов на 1 м² [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Фитопланктон

Результаты исследований показали, что в формировании структуры фитопланктона исследованных водоемов принимали участие представители из основных семи отделов: зеленые, сине-зеленые, желто-зеленые, золотистые, эвгленовые, диатомовые и пиррофитовые водоросли. Доминирующей группой в большинстве водных объектов являлись диатомовые водоросли, субдоминирующее положение занимали эвгленовые водоросли.

Наиболее распространенными круглогодичными видами в реках и балках были следующие виды, относящиеся к различным таксономическим группам: зеленые (*Monoraphidium irregulare*, *Crucigenia tetrapedia*); эвгленовые (*Euglena viridis*) и диатомовые (*Navicula sp.*, *Cyclotella sp.*). Также в большинстве водоемов массово были отмечены *Aphanizomenon flos-aquae*, *Scenedesmus quadricauda*, *Euglena polymorpha*, *Euglena acus*, *Epithemia turgida*, *Lyngbya limnetica*, *Surirella robusta*.

Фитопланктон оросительных каналов был представлен в основном диатомовыми (*Pleurosigma sp.*, *Sinedra sp.*, *Amhora sp.*, *Pinnularia sp.*, *Navicula sp.*) и в меньшей степени протокочковыми водорослями (*Oocystis sp.*).

Зоопланктон

Результаты исследований показали, что в формировании структуры фитопланктона исследованных водоемов принимали участие представители веслоногих и ветвистоусых ракообразных, а также коловратки. Максимальной биомассы зоопланктон в исследованных водоемах достигал в весенне-летний период за счет развития веслоногих и ветвистоусых ракообразных, в то же время видовое разнообразие создавали коловратки. Осенью и зимой отмечено постепенное снижение численности и биомассы организмов зоопланктона с доминированием коловраток как по биомассе, так и по численности.

Доминирующими видами зоопланктона в исследованных реках и балках были *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus quadridentatus*, *Diaphanosoma sarsii*, *Daphnia longispina*, *Daphnia pulex*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *Moina weberi*, *Thermocyclops crassus*, *Cyclops vicinus*, *Eucyclops serrulatus*. Наряду с основными группами встречаются планктонные формы зообентосных организмов: молодёжь олигохет, нематод и насекомых, с доминированием представителей *Calanoida*.

Доминирующим компонентом в составе зоопланктона оросительных каналов по численности являлись коловратки *Brachionus calyciflorus*, по биомассе – *Daphnia longispina* и *Keratella quadrata*.

Зообентос

В исследованных водных объектах наименьшая биомасса зообентоса отмечена в начале весны. По мере повышения температуры воды процессы воспроизводства организмов зообентоса возрастают, при этом максимум биомассы достигается летом на мелководных и хорошо прогреваемых участках.

Гидробиологическая характеристика
поверхностных водных объектов рыбохозяйственного значения
на территории Краснодарского и Ставропольского краев

| № | Участок | Наименование водного объекта | Фитопланктон | | Зоопланктон | | Зообентос | |
|---|--------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|------------------|---------------------|
| | | | г/м ³ | млн экз./м ³ | г/м ³ | тыс. экз./м ³ | г/м ² | экз./м ² |
| Переходы нефтепровода через водные преграды шириной более 25 м в межень | | | | | | | | |
| 1 | 952–1135 км | Р. Калаус | 8,10 | 87,42 | 2,55 | 52,22 | 2,84 | 692 |
| 2 | | Р. Маньч | 11,20 | 94,66 | 7,22 | 96,20 | 4,46 | 1125 |
| 3 | | Право-Егорлыкский канал | 3,60 | 44,2 | 2,10 | 44,82 | 4,86 | 946 |
| 4 | | Р. Каменка | 3,22 | 40,88 | 2,28 | 52,36 | 4,02 | 1028 |
| 5 | | Р. Терновка | 6,24 | 66,32 | 2,98 | 70,01 | 5,52 | 1446 |
| 6 | 1135–1316 км | Р. Егорлык | 2,26 | 36,12 | 1,02 | 33,22 | 2,24 | 604 |
| 7 | | Р. Расшеватка | 8,16 | 66,24 | 2,66 | 77,24 | 4,26 | 1098 |
| 8 | | Р. Челбас | 7,06 | 272,0 | 1,29 | 77,9 | 12,28 | 710 |
| 9 | | Р. Сухой лог | 2,24 | 32,88 | 1,69 | 42,08 | 4,04 | 882 |
| 10 | | Р. Кирпили | 24,12 | 317,76 | 5,95 | 76,44 | 8,38 | 805 |
| 11 | 1316–1413 км | Джимайлова балка – 1 | 6,62 | 77,27 | 3,32 | 71,12 | 4,36 | 1021 |
| 12 | | Р. Ставок | 8,24 | 88,36 | 4,42 | 83,13 | 5,54 | 1441 |
| 13 | | Р. Кочеты | 8,22 | 87,8 | 1,20 | 72,9 | 3,38 | 884 |
| 14 | | Р. Понура | 2,26 | 66,12 | 1,28 | 77,71 | 2,24 | 663 |
| 15 | | Главный оросительный канал | 1,88 | 6,36 | 0,88 | 18,87 | 1,00 | 112 |
| 16 | | Фёдоровский-Чебургольский канал | 2,21 | 10,18 | 1,21 | 22,36 | 1,18 | 156 |
| 17 | | Р. Кубань | 1,88 | 22,69 | 0,78 | 18,11 | 2,24 | 228 |
| 18 | 1413–1495 км | Фёдоровский канал | 2,02 | 10,01 | 1,08 | 22,88 | 4,21 | 248 |
| 19 | | Сбросной канал (р. Мокрый Аушедз) | 2,26 | 8,86 | 0,95 | 20,39 | 4,88 | 225 |
| 20 | | Сбросной канал | 0,98 | 2,12 | 0,44 | 12,22 | 1,00 | 102 |
| 21 | | Афипский коллектор | 1,28 | 6,30 | 0,99 | 22,33 | 1,04 | 144 |
| 22 | | Канал С-1-2 | 0,88 | 4,22 | 0,62 | 18,42 | 1,02 | 124 |
| 23 | | Канал ДС-4 | 0,72 | 3,88 | 0,66 | 14,98 | 1,22 | 187 |
| 24 | | Варнавинский сбросной канал | 1,12 | 6,02 | 0,88 | 20,47 | 1,10 | 142 |
| Переходы нефтепровода через малые водные преграды шириной менее 25 м в межень | | | | | | | | |
| 25 | 952–1135 км | Р. Айгурка | 3,21 | 12,22 | 2,86 | 56,02 | 2,88 | 278 |
| 26 | | Р. Барханчак | 2,68 | 9,28 | 1,55 | 42,09 | 1,27 | 101 |
| 27 | | Р. Большая кугульта | 2,44 | 10,12 | 1,66 | 41,22 | 1,48 | 142 |
| 28 | | Р. Малая кугульта | 2,01 | 9,04 | 1,22 | 38,66 | 1,12 | 124 |
| 29 | | Р. Ташла | 2,25 | 12,26 | 1,28 | 40,24 | 3,86 | 366 |
| 30 | 1135–1316 км | Балка Сухой лог | 1,64 | 8,22 | 0,78 | 24,20 | 2,02 | 224 |
| 31 | | Балка бейсуг | 2,17 | 14,86 | 1,88 | 44,12 | 2,44 | 266 |
| 32 | 1316–1413 км | Балка сула | 6,02 | 22,88 | 3,22 | 66,32 | 6,24 | 1662 |
| 33 | 1413–1495 км | Р. Меккерстук | 0,84 | 4,22 | 1,01 | 10,22 | 1,12 | 125 |
| 34 | | Р. Баканка | 0,32 | 1,44 | 0,22 | 3,22 | 0,22 | 88 |
| 35 | | Р. Атакай | 0,62 | 2,28 | 0,54 | 4,18 | 1,22 | 147 |
| 36 | | Р. Цемес | 0,48 | 1,71 | 0,34 | 4,07 | 2,06 | 435 |

В дальнейшем отмечается естественное снижение концентрации организмов бентоса, связанное с их выеданием представителями ихтиофауны водотоков, а также ухудшением гидрологических условий воспроизводства для некоторых групп зообентоса в позднелетний и осенний периоды. Численность и биомасса зообентоса снижаются до минимума и остаются стабильными на протяжении всей осени, зимы и первых месяцев весны.

В реках и балках отмечено видовое доминирование представителей хирономид, в том числе следующих видов: *Chironomus annularius*, *Chironomus bernensis*, *Chironomus plumosus*, *Tanytus monilis*, *Tanytus varlus*. Моллюски отмечены только в нескольких из исследованных водных объектов и были представлены брюхоногими моллюсками, дрейссеной и перловицей. Встречаются малощетинковые кольчатые черви класса *Anelides*.

Обобщенные результаты исследований приведены в таблице.

Заключение

В результате проведенных комплексных гидробиологических исследований на 36 поверхностных водных объектах рыбохозяйственного значения (реки, балки, магистральные и сбросные оросительные каналы) на территории двух субъектов Российской Федерации, Краснодарского и Ставропольского краев, нами было изучено современное состояние видового разнообразия гидробионтов, получены сезонные и годовые показатели качественного и количественного состава фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Для большинства водных объектов полученные данные являются уникальными, так как исследования на них никогда не проводились.

Полученные результаты планируется использовать для дальнейшего проведения работ по оценке воздействия на водные биологические ресурсы и среду их обитания и дальнейшего согласования хозяйственной деятельности акционерного общества «Каспийский трубопроводный консорциум-Р» с Федеральным агентством по рыболовству в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации в области

рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов.

Список литературы

1. Карнаухов Г.И., Денисенко О.С. Перспективы развития сырьевой базы в пресноводных водоемах юга России // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: материалы IX Международной научно-практической конференции. 2017. С. 66–69.
2. Белоусов В.Н., Брагина Т.М., Бугаев Л.А., Реков Ю.И. Рыбохозяйственные исследования России в Азово-Черноморском бассейне (К 90-летию ФГБНУ «АзНИИРХ») // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 1. С. 11–31.
3. Болкунов О.А., Ерзиков О.О., Пашинова Н.Г., Москул Г.А. Видовое разнообразие, численность и биомасса зоопланктона рек Азово-Кубанской равнины // Естественные и технические науки. 2015. № 4 (82). С. 43–47.
4. Денисенко О.С. Оценка численности и биомассы организмов фитопланктона, зоопланктона и зообентоса рек Азово-Кубанской низменности (бассейны рек Ея, Челбас, Кирпили, Бейсуг, Ясени, Албаши, Кочеты, Понура) за период 2012–2021 гг. // Colloquium-journal. 2021. № 13–1 (100). С. 4–7.
5. Мокрый А.В. Воздействие совершенствования методики на результаты гидробиологических исследований // Научно-технические технологии и интеллектуальные системы в XXI веке: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 ч. 2017. С. 25–26.
6. Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов и среды их обитания в Азово-Кубанском рыбохозяйственном районе: материалы учебно-методической конференции для ФГБУ «АзЧеррыбвод». Ростов-на-Дону: ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. 48 с.
7. Орлова Ю.С., Подшивалина В.Н. Методы гидробиологических исследований. В книге: Методы полевых экологических исследований. Саранск: Пушта, 2014. С. 124–155.
8. Тореева З.Б., Нурекеева Г.Н., Туремуратова Г.И. Особенности современных методов гидробиологического исследования водоемов // Экономика и социум. 2020. № 4 (71). С. 913–915.
9. Мирзоян З.А., Сафронова Д.Ф., Афанасьев Д.Ф. Методики сбора и консервации гидробиологических проб морских акваторий // Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов и среды их обитания в Азово-Кубанском рыбохозяйственном районе: материалы учебно-методич. конф. Ростов-н/Д.: ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. 48 с.
10. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1951–1986. Т. 1. 420 с.
11. Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: планктон и бентос. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 511 с.
12. Цалолихин С.Я., Пржиборо А.А., Кияшко П.В., Ципленкина И.Г., Березина Н.А., Иванова Л.В., Гонтарь В.И., Туманов Д.В., Курашов Е.А., Степаньянц С.Д., Богатов В.В., Солдатенко Е.В., Винарский М.В. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод европейской России. М. – СПб., 2016. Т. 2. Зообентос. 510 с.

УДК 615.322:612.015.32

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕКОТОРЫХ ФЛАВОНОИДОВ НА АССИМИЛЯЦИЮ УГЛЕВОДОВ У КРЫС

¹Кучкарова Л.С., ¹Каюмов Х.Ю., ²Эргашев Н.А., ³Эшбакова К.А.

¹Национальный университет Узбекистана, Ташкент, e-mail: qayumovhasan@mail.ru;

²Институт биофизики и биохимии при Национальном университете Узбекистана, Ташкент,
e-mail: nurali7973@mail.ru;

³Институт химии растительных веществ Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент,
e-mail: e_komila@yahoo.com

Острый панкреатит на сегодня является прогрессивно распространяющимся заболеванием, для которого профилактические и корригирующие препараты ещё не разработаны. Цель исследования – изучить профилактическое влияние некоторых флавоноидов на ассимиляцию углеводов при остром панкреатите. Острый панкреатит вызывали двумя внутривентральными инъекциями крысам L-аргинина (100 мг/кг) с промежутком в 2 часа. Оказалось, что у крыс с вызванным острым панкреатитом имело место увеличение активности α -амилазы и содержания глюкозы в сыворотке крови наряду с уменьшением активности α -амилазы в кишечном содержимом, активности мальтазы в слизистой оболочке тонкой кишки, а также содержания гликогена в печени. Двукратное введение рутина, дигидрокверцетина, пуликарона и тамифлазида в дозе 50 мг/кг/24 ч за 2 дня до индукции острого панкреатита предупреждало вызванные панкреатитом сдвиги в ассимиляции углеводов в полости тонкой кишки и уровня глюкозы и активности α -амилазы в крови. Профилактический эффект в развитии панкреатита рутина и дигидрокверцетина проявлялся больше, чем для пуликарона и тамифлазида. Следовательно, введение флавоноидов способствует предупреждению развития панкреатита, а также сопутствующих негативных сдвигов в полости и мембранном гидролизе и метаболизме углеводов.

Ключевые слова: L-аргининовый панкреатит, флавоноиды, глюкоза крови, α -амилаза крови и химуса, энтеральная мальтаза, гликоген печени

PREVENTIVE EFFECT OF SOME FLAVONOIDS ON THE ASSIMILATION OF CARBOHYDRATES IN RATS

¹Kuchkarova L.S., ¹Kayumov Kh.Yu., ²Ergashev N.A., ³Eshbakova K.A.

¹National University of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: qayumovhasan@mail.ru;

²Institute of Biophysics and Biochemistry at the National University of Uzbekistan, Tashkent,
e-mail: nurali7973@mail.ru;

³Institute of Chemistry of Plant Substances of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, e-mail: e_komila@yahoo.com

Acute pancreatitis today is a progressively spreading disease, for which preventive and corrective preparations have not yet been developed. The purpose of the research is to study the preventive effect of certain flavonoids on the assimilation of carbohydrates in acute pancreatitis. Acute pancreatitis was induced by two intraperitoneal injections of L-arginine (100 mg/kg) to rats with an interval of two hours. It turned out that in rats with induced acute pancreatitis, there was an increase in the serum α -amylase activity and glucose level, along with a decrease in α -amylase activity in the intestinal contents, maltase activity in the small intestine mucosa, and glycogen content in the liver. Double administration of rutin, dihydroquercetin, pulicaron, and tamiflazid at a dose of 50 mg/kg/24 h two days before the induction of acute pancreatitis prevented pancreatitis-induced shifts in carbohydrate assimilation in the small intestine cavity and blood glucose level and α -amylase activity. The preventive effect in the development of pancreatitis for rutin and dihydroquercetin was more pronounced than for pulicaron and tamiflazid. Therefore, the introduction of flavonoids helps to prevent the development of pancreatitis, as well as concomitant negative changes in cavity and membrane hydrolysis and carbohydrate metabolism.

Keywords: L-arginine pancreatitis, flavonoids, blood glucose, α -amylase of blood and chyme, enteral maltase, liver glycogen

Острый панкреатит – это наиболее широко распространенное заболевание органов пищеварения, риск подверженности которому по всему миру прогрессивно увеличивается. [1, 2]. Несмотря на то, что недавно были выявлены некоторые основы патогенеза острого панкреатита, специфических средств профилактики и лечения этого заболевания пока не существует [3, 4]. Было описано, что триггером патогенеза острого

панкреатита, вызванного перевязкой панкреатического протока, введением церулина или аминокислот, является оксидативный стресс, который вызывает увеличение таких опасных метаболитов, как активные формы кислорода и азота. Параллельно в ткани поджелудочной железы и сыворотке крови возрастают активности антиоксидантных и панкреатических гидролитических ферментов [5, 6]. Метаболиты оксидативного

стресса вызывают деполяризацию и модификацию мембран и белков, перекисное окисление липидов, фрагментацию ДНК в клетках органа, приводя к некрозу ацинусов поджелудочной железы [6]. Они также служат в качестве сигналов, вовлекающих нитрогенактивируемые протеинкиназы и другие факторы воспалительного каскада при остром панкреатите [5, 6].

На сегодняшний день диета остается одним из важных моментов как в профилактике, так и в лечении заболевания. Она должна содержать необходимое количество основных нутриентов (белков, жиров и углеводов) при обязательном дробном питании и достаточное количество биологически активных веществ. Среди растительных биологически активных соединений многие флавоноиды привлекают внимание исследователей в качестве веществ, оказывающих корректирующее влияние на воспалительные процессы в поджелудочной железе и других органах пищеварения [7]. На этом основании было предположено, что растительные флавоноиды смогут оказать не только корректирующее, но и профилактическое влияние, т.е. облегчить развитие острого панкреатита и связанного с ним гидролиза углеводов в тонкой кишке. Этот вопрос требует исследования и потому, что большинство флавоноидов, поступающая в полость тонкой кишки с пищей, непосредственно контактируют с ферментами в полости тонкой кишки и ферментами, встроенными в апикальную мембрану энтероцитов, а влияние их на мембранный гидролиз нутриентов, в том числе и гидролиз углеводов, практически не исследовано.

Цель работы – изучить профилактическое влияние некоторых флавоноидов на ассимиляцию углеводов при остром панкреатите.

Материалы и методы исследования

В опытах были использованы белые беспородные крысы-самцы массой 180–200 г. Крыс делили на одну контрольную и пять опытных групп, по 6 крыс в каждой. Контрольная и первая опытная группы крыс в течение двух дней с промежутком в 24 ч перорально получали физиологический раствор. У крыс второй опытной группы вызывали экспериментальный острый панкреатит двумя внутривентральными инъекциями L-аргинина (500 мг/100 г) с интервалом в два часа. Крысам третьей, четвертой, пятой и шестой опытных групп за 2 дня до индуцирования острого панкреатита перорально вводили рутин, растворенный в 1% растворе диметилсульфида, а также растворы дигидрокверцетина, пуликарона и тамифлазида в 0,9% NaCl в дозе 50 мг/кг

/сутки соответственно в те же сроки, таким же образом и в эквивалентном объеме.

Все используемые флавоноиды были получены в лаборатории терпеноидов и кумаринов Института химии растительных соединений Академии наук Республики Узбекистан. Рутин был получен из гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum* Moench), дигидрокверцетин – из черного берёзового гриба (*Inonotus obliquus*), пуликарон – из блошицы сушеницевидной (*Pulicaria gnaphalodes*), а тамифлазид – из василистника обыкновенного (*Thalictrum minus*).

Все процедуры выполнялись в соответствии с требованиями Женевской конвенции «International Guiding principles for Biomedical Research Involving Animals» (1990).

Кровь, полученную при декапитации крыс, на третий день после индукции острого панкреатита, собирали в парафиновые пробирки. Далее у крыс быстро вскрывали брюшную полость, извлекали поджелудочную железу, разрезали орган на кусочки, гомогенизировали тefлоновым пестиком при 3000 об/мин в течение минуты. Извлеченную тонкую кишку очищали от жировой ткани, промывали физиологическим раствором из расчета 1 мл на 10 см кишечника. Смыв кишечника применяли для определения активности α -амилазы кишечного химуса. Затем тонкую кишку просушивали фильтровальной бумагой и осторожно пластиковым шпателем соскабливали с неё слизистую. Слизистую взвешивали, заливали физиологическим раствором из расчета 9 мл на 1 г ткани и гомогенизировали тем же способом, что и поджелудочную железу.

Полученные пробы крови, смыв кишечника (разбавленный химус) и гомогенаты поджелудочной железы и слизистой оболочки тонкой кишки центрифугировали (5000 об/мин) в течение 15 мин. Супернатант крови переносили в этикированные пробирки и использовали для определения глюкозы, а также активности α -амилазы (КФ – 3.2.1.1). В супернатанте смыва тонкой кишки определяли активность α -амилазы, а в супернатантах поджелудочной железы и слизистой оболочки тонкой кишки была определена активность α -амилазы и мальтазы (КФ – 3.2.1.20) соответственно. Все операции проводили на холоде. Содержание глюкозы и активность α -амилазы определяли при помощи специального биохимического анализатора Rayto RT 1904C Semi Auto Chemistry Analyzer (Китай) с использованием стандартных реактивов. Активность мальтазы определяли глюкозооксидазным методом при помощи специального набора “Human” (Германия) содержание гликогена в печени – антроновым методом [8].

Полученные результаты были обработаны с применением t-критерия Стьюдента. Вычисляли среднюю арифметическую величину (M), среднюю ошибку средней ($\pm m$) и показатель достоверности (P). Различия между опытными и контрольными группами принимали за достоверные при вероятности более 95 % ($P < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Оказалось, что экспериментальный панкреатит приводил к повышению уровня α -амилазы в сыворотке крови в 3,7 раз. Пероральное введение флавоноидов вызывало снижение повышенного при панкреатите уровня активности фермента. После введения крысам рутина и затем L-аргинина активность α -амилазы оставалась на уровне контроля. Введение дигидрокверцетина до вызванного панкреатита также не вызывало повышения активности α -амилазы, которое имело место у крыс с панкреатитом без предварительной обработки флавоноидами. Профилактическое влияние пуликарона и тамифлазида на активность α -амилазы было слабо выраженным. Однако активность фермента была ниже величин, зарегистрированных у крыс, не получавших флавоноидов для профилактики вызванного L-аргинином панкреатита (рис. 1, А).

Приблизительно такая же тенденция была отмечена в изменении активности α -амилазы ткани поджелудочной железы. Активность фермента возрастала в 8,1 после индукции острого панкреатита. Однако если до экспериментального панкреатита крысам перорально вводили рутин, дигидрокверцетин, пуликарон и тамифлазид, то увеличение активности фермента было в 5,7; 1,6; 7,0 и 1,8 раза соответственно. т.е. введение биофлавоноидов предупреждало вызванное панкреатитом возрастание активности α -амилазы в ткани органа, хотя и не полностью (рис. 1, Б).

Несмотря на то, что при остром панкреатите активность α -амилазы в крови и ткани поджелудочной железы увеличивалась, в содержимом тонкой кишки, куда выделяется панкреатический сок, активность фермента была в 4,6 раз ниже по сравнению с контролем. Если до индукции острого панкреатита крысам перорально вводили рутин, дигидрокверцетин, пуликарон и тамифлазид активность фермента в полости тонкой кишки была ниже в 2,5; 1,2; 2,9 и 2,0 раза соответственно, чем в контроле. Профилактическое влияние рутина и дигидрокверцетина на активность α -амилазы содержимого тонкой кишки было наиболее выраженным (рис. 2, А).

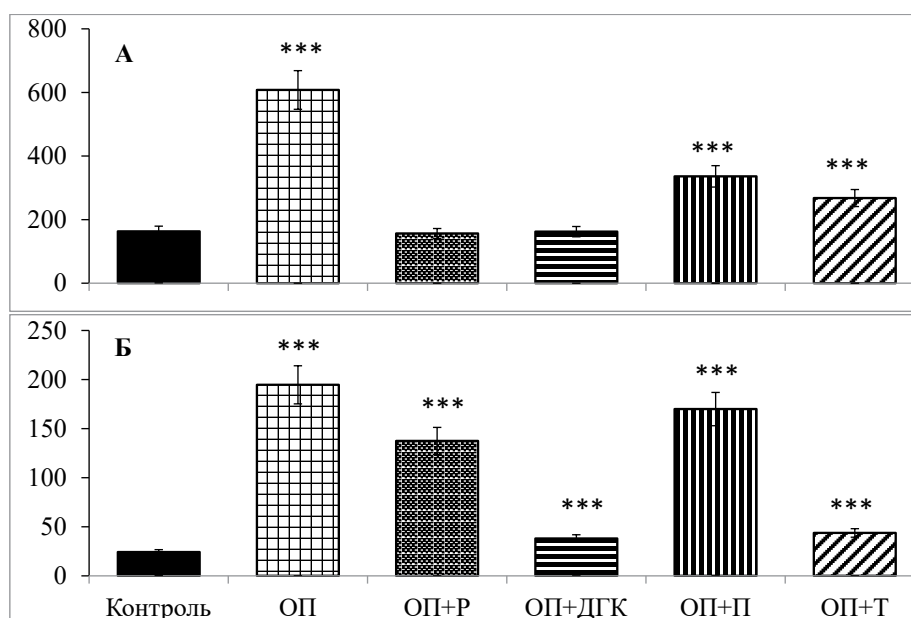


Рис. 1. Активность α -амилазы крови (ед/л) и ткани поджелудочной железы (ед/г ткани) у крыс с L-аргининовым панкреатитом и крыс, получавших перорально до индукции панкреатита флавоноиды ($M \pm m$, при $n = 6$). Здесь и далее: ОП – крысы с вызванным острым панкреатитом; ОП+Р; ОП+ДГК; ОП+П; ОП+Т – крысы, которым перед индуцированием острого панкреатита соответственно вводили рутин, дигидрокверцетин, пуликарон и тамифлазид: * – $< 0,05$; ** – $0,01$; *** – $< 0,001$

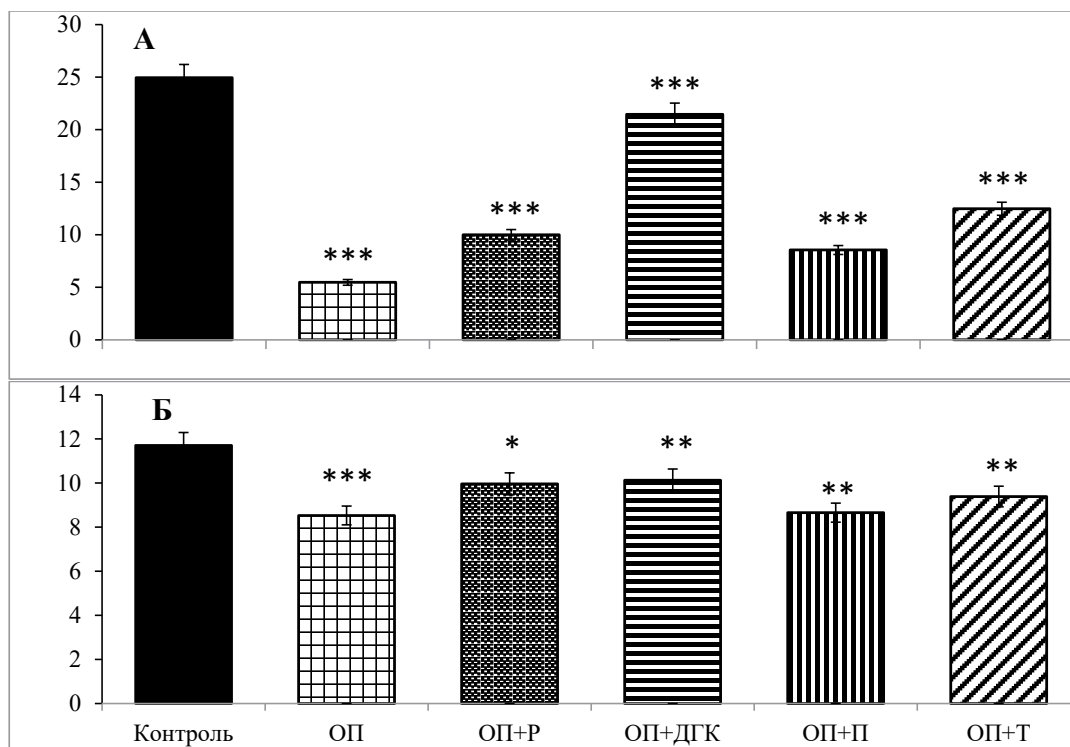


Рис. 2. Активность α -амилазы в содержимом кишечника (ед/л) (А) и мальтазы в слизистой оболочке кишки ($\mu\text{моль}/\text{мин}/\text{г}$ ткани) (Б) у крыс с острым панкреатитом и крыс, получавших перорально до индукции панкреатита флавоноиды ($M \pm m$, при $n = 6$)

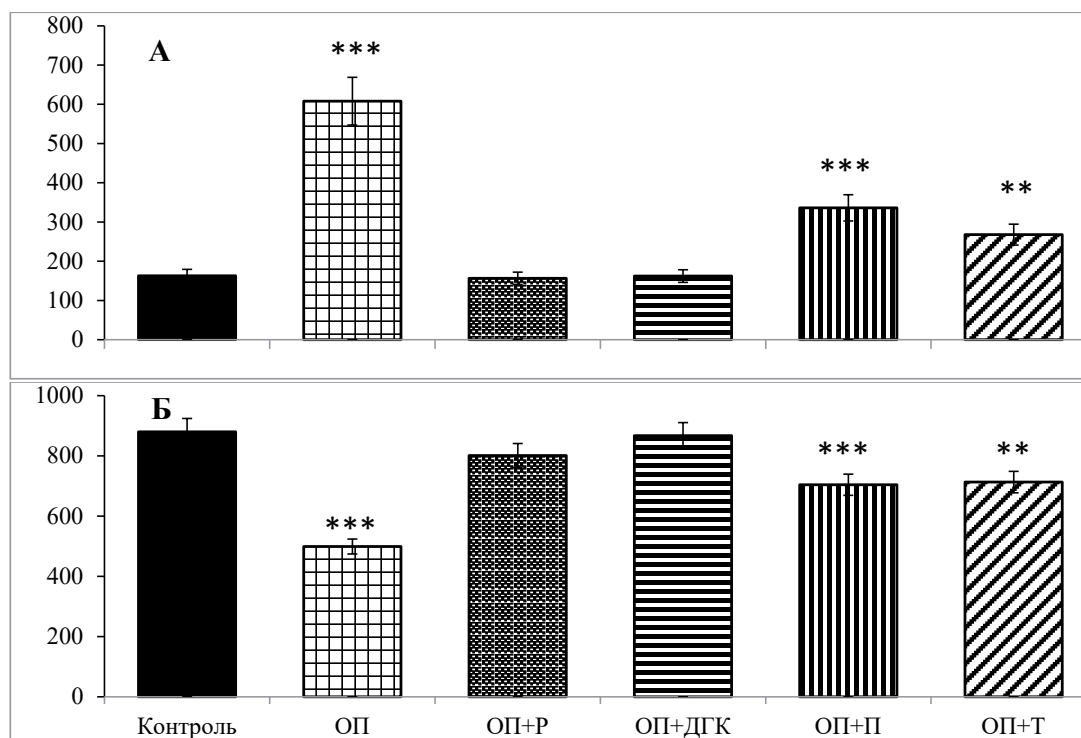


Рис. 3. Содержание глюкозы (ммоль/л) в крови (А) и гликогена в печени (мг/100 г массы) (Б) у крыс с острым панкреатитом и крыс, получавших перорально до индукции панкреатита флавоноиды ($M \pm m$, при $n = 6$)

Острый панкреатит вызывал также снижение активности энтеральной мальтазы. Активность фермента уменьшалась у крыс с острым панкреатитом на 37,4%. Если до получения L-аргинина крысам вводили рутин или пуликарон и тамифлазид, то уменьшение активности фермента сокращалось и составляло 19,8; 19,6 и 10,5% соответственно. Дигидрокверцетин приводил к полному сохранению специфической активности мальтазы в слизистой оболочке тонкой кишки, несмотря на вызванный позже экспериментальный панкреатит (рис. 2, Б).

Ацинарные клетки поджелудочной железы способны к более быстрому синтезу и накоплению белка по сравнению с другими клетками органа [2]. Однако, когда содержание аминокислот, например L-аргинина, превышает допустимые нормы, структура и функция ацинусов поджелудочной железы нарушаются, приводя к выделению из лизосом ферментов и активации панкреатических зимогенов, являющихся причиной аутофагии органа. Такие патологические сдвиги вызывают на начальных стадиях заболевания неинфекционное, а затем и инфекционное воспаление тканей органа [9–11]. Кроме того, выявлено, что L-аргинин индуцирует экспрессию гена белка, ассоциированного с панкреатитом, а также апоптоз в ацинарных клетках поджелудочной железы [10]. Образование свободных радикалов и перекисное окисление липидов, способствующих разрушению мембран клеток и клеточных органелл, также играет существенную роль в патогенезе воспаления, фиброза и апоптоза ткани [5, 6].

Выявленное увеличение активности панкреатической α -амилазы в гемоциркуляции и ткани поджелудочной железы и уровня глюкозы в сыворотке крови имеет место одновременно с возрастанием активности и других, в частности протеолитических ферментов в поджелудочной железе и сыворотке крови, которые являются индикаторами аутофагии с сопутствующей деструкцией ацинусов поджелудочной железы [6]. Возрастание активности панкреатических ферментов в сыворотке крови обычно имеет место на фоне повышенной активности панкреатической миелопероксидазы, повышенного содержания фактора некроза опухоли- α , интерлейкина-6, а также снижения уровня интерлейкина-10 в сыворотке [10, 11]. Выявленное у крыс с L-аргининовым панкреатитом уменьшение активности α -амилазы в содержимом кишечника, скорее всего, обусловлено уменьшением секреции сока поджелудочной железы в двенадцатиперстную

кишку и связано с непроходимостью микро- и макропротоков органа из-за гистофункциональных сдвигов в ацинусах, препятствующих оттоку панкреатического сока в полость тонкой кишки. В результате имеет место снижение интенсивности начальных стадий гидролиза углеводов, в частности крахмала, в полости тонкой кишки, в котором определяющую роль играет α -амилаза поджелудочной железы. В снижении способности ассимилировать углеводы в тонкой кишке при остром панкреатите вносит лепту и отмеченное в экспериментах уменьшение активности мальтазы слизистой оболочки тонкой кишки. Уменьшение полостного (активность α -амилазы химуса) и мембранного (активность мальтазы слизистой кишки) гидролиза углеводов в тонкой кишке при остром панкреатите, естественно, сокращает поступление глюкозы из полости кишечника в гемоциркуляцию. В этом случае существенной причиной гипергликемии, как показывают результаты, является распад полисахаридов тканей, в первую очередь гликогена печени, содержание которого в органе уменьшилось при остром L-аргининовом панкреатите в 1,8 раз (рис. 3, Б).

Используемые в настоящем исследовании флавоноиды: рутин, дигидрокверцетин, пуликарон и тамифлазид в той или иной степени оказывали профилактическое влияние на биохимические показатели крови, поджелудочной железы и слизистой оболочки тонкой кишки, отражающие степень выраженности острого панкреатита. Профилактическое влияние биофлавоноидов проявлялось, прежде всего, в уменьшении активности панкреатической α -амилазы в ткани поджелудочной железы и крови, а также в уменьшении содержания глюкозы в крови – маркеров панкреатита и предикторов тяжести заболевания [11, 12].

Большинство флавоноидов обладают выраженными антиоксидантными свойствами, с чем в значительной степени и связаны их потенциальные мембранотропные эффекты, в том числе и для мембран ацинарных клеток и их органоидов [7, 13]. Скорее всего, профилактирующее влияние флавоноидов определяется взаимодействием препаратов с клеточными мембранами, в конечном итоге способствующим сохранению фазового состояния липидов мембраны, а также структурной и функциональной организации ацинарных клеток поджелудочной железы при остром панкреатите. Заметное выраженное профилактическое влияние рутина и дигидрокверцетина предполагает использование их в качестве препаратов для предупреждения и коррекции острого панкреатита.

Список литературы

1. Peery A.F., Crockett S.D., Barritt A.S., Dellon E.S., Eluri S., Gangarosa L.M., Jensen E.T., Lund J.L., Pasricha S., Runge T., Schmidt M., Shaheen N.J., Sandler R.S. Burden of gastrointestinal, liver, and pancreatic diseases in the United States. *Gastroenterology*. 2015. Vol. 7. P. 1731–1741.
2. Xiao A.Y., Tan M.L., Wu L.M., Asrani V.M., Windsor J.A., Yadav D., Petrov M.S. Global incidence and mortality of pancreatic diseases: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression of population-based cohort studies. *Lancet Gastroenterology and Hepatology*. 2016. Vol. 1. No. 1. P. 45–55.
3. van Dijk S.M., Hallensleben N.D.L., van Santvoort H.C., Fockens P., van Goor H., Bruno M.J., Besselink M.G. Acute pancreatitis: recent advances through randomized trials. *Gut*. 2017. Vol. 66. No. 11. P. 2024–2032.
4. Moggia E., Koti R., Belgaumkar A.P., Fazio F., Pereira S.P., Davidson B.R., Gurusamy K.S. Pharmacological interventions for acute pancreatitis. *Cochrane Database Systematic Reviews*. 2017. Vol. 21. No. 4. DOI: 10.1002/14651858.CD011384.pub2.
5. Robles L., Vaziri N.D., Ichii H. Role of oxidative stress in the pathogenesis of pancreatitis: effect of antioxidant therapy. *Pancreat Disorders and Therapy*. 2013. Vol. 3. No. 1. DOI: 10.1002/14651858.CD011384.pub2.
6. Manohar M., Verma A.K., Venkateshaiah S.U., Sanders N.L., Mishra A. Pathogenic mechanisms of pancreatitis. *World Journal of Gastrointestinal Pathophysiology*. 2017. Vol. 8. No. 1. P. 10–25. DOI: 10.4292/wjgpt.v8.i1.10.
7. Shapiro H., Singer P., Halpern Z., Bruck R. Polyphenols in the treatment of inflammatory bowel disease and acute pancreatitis. *Gut*. 2007. Vol. 56. P. 426–435.
8. Алексахина Н.В., Мешкова Н.П. Практическое руководство к занятиям по биохимии животных. Углеводы. М.: МГУ, 1967. 46 с.
9. Logsdon C.D., Ji B. The role of protein synthesis and digestive enzymes in acinar cell injury. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*. 2013. Vol. 10. No. 6. P. 362–370.
10. Wang N., Zhang F., Yang L., Zou J., Wang H., Liu K., Liu M., Zhang H., Xiao X., Wang K. Resveratrol protects against L-arginine-induced acute necrotizing pancreatitis in mice by enhancing SIRT1-mediated deacetylation of p53 and heat shock factor. *International Journal of Molecular Medicine* 2017. Vol. 40. Iss. 2. P. 427–437.
11. Yang X., Zhang R., Jin T., Zhu P., Yao L., Li L., Cai W., Mukherjee R., Du D., Fu X., Xue J., Martina R., Liu T., Pendharkar S., Phillips A.R., Singh V.K., Sutton R., Windsor J.A., Deng L., Xia Q., Huang W. Stress hyperglycemia is independently associated with persistent organ failure in acute pancreatitis. *Digestive Diseases and Sciences*. 2022. Vol. 67. No. 5. P. 1879–1889.
12. Phillip V., Steiner J.M., Algül H. Early phase of acute pancreatitis: Assessment and management. *World Journal of Gastrointestinal Pathophysiology*. 2014. Vol. 5. No. 3. P. 158–168.
13. Sidra A.S., Badshah M.S.L., Khan N., Lubna Ghani L., Poulson B.G., Emwas A.-H., Jaremko M. *Molecules*. 2020. Vol. 25. No. 22. 5243. DOI: 10.3390/molecules25225243.

УДК 632.754.1

ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫЕ В АГРОЦЕНОЗАХ ТРИТИКАЛЕ

¹Юсупова С.К., ^{2,3}Ганджаева Л.А., ^{2,3}Досчанов Ж.С.

¹Академический лицей Ургенчского филиала Ташкентской медицинской академии, Ургенч,
e-mail: saodat_js@mail.ru;

²Хорезмская академия Мамуна, Хива, e-mail: tulipa_83@mail.ru, jalolbek_d@mail.ru;

³Ургенчский государственный университет, Ургенч

Целью нашей исследовательской работы было определение общего состава полужесткокрылых на тритикале в условиях Хорезма. Наши эксперименты начались с марта по октябрь в 2020–2021 гг. Для изучения видового состава мы собирали коллекции клопов на полях в хозяйстве «Оллоёров Бехрузбек», сборы проводились каждые 7–10 дней в течение вегетационного периода тритикале. Ферма расположена в Шаватском районе. Выявлено, что в агроценозах тритикале были обнаружены кладки яиц различных видов клопов, и яиц у них было слишком много, а также содержание яиц было около 98 на тритикале. Наши результаты выявили, что 46 видов наземных полужесткокрылых распространены в агроценозах тритикале, они относятся к 8 семействам и 31 роду. По таксономическому составу: клопы на тритикале, в большинстве представлены *Pentatomidae* – 22,6%, *Miridae* – 19,4%, *Cydnidae* – 19,4%, *Lygaeidae* и *Rhyparochromidae* – 9,7%. Остальные семейства, *Rhopalidae*, *Geocoridae*, *Scutelleridae*, – 6,5%. По пищевой специализации: полифагов 26 видов – 56,5%, а широких олигофагов 18 видов – 39,1%, узкие олигофаги представлены наименьшим количеством видов, 2 вида – 4,3%.

Ключевые слова: агроценоз, тритикале, полужесткокрылые, пищевые связи, частота, численность

TRUE BUGS IN TRITICALE AGROCENOSSES

¹Yusupova S.K., ^{2,3}Gandzhaeva L.A., ^{2,3}Doschanov Zh.S.

¹The Academic Lyceum of the Urgench branch of the Tashkent Medical Academy, Urgench,
e-mail: saodat_js@mail.ru;

²Khorezm Mamun Academy, Khiva, e-mail: tulipa_83@mail.ru, jalolbek_d@mail.ru;

³Urgench State University, Urgench

The aim of our research work was to determine the overall composition of true bugs on triticale under the conditions of the Khorezm region. Our experiments started from March to October in 2020–2021. To study the species composition, we collected insect true bugs collections in the fields at the farm “Olloyorov Bekhruzбек” and the collections were conducted every 7–10 days during the growing season of triticale. The farm is located in Shavat district. Our research revealed that there were eggs of different species of true bugs in triticale agroecosystems and the number of eggs was too high and the egg content was about 98 on triticale. Our results revealed that 46 species of true bugs in triticale agroecosystems and belong to 8 families and 31 genera. In the taxonomic composition of true bugs on triticale, in terms of the number of genera, most representatives of *Pentatomidae* – 22.6%, *Miridae* – 19.4%, *Cydnidae* – 19.4%, *Lygaeidae* and *Rhyparochromidae* – 9.7%. The remaining families decrease from *Rhopalidae*, *Geocoridae*, *Scutelleridae* – 6.5%. According to the characteristics of Trophic specialization: polyphages are 26 species – 56.5%; and wide oligophages are 18 species – 39.1%; narrow oligophages have the smallest number of species, which is 2 species – 4.3%.

Keywords: agroecosystems, triticale, true bugs, trophic specialization, frequency, abundance

Тритикале – это растение, которое является гибридом двух злаковых растений: пшеницы (мягкой пшеницы) и ржи (озимой ржи). Тритикале сочетает в себе лучшие биологические свойства этих двух культурных растений. Тритикале – ценная зерновая культура, содержащая белок и незаменимые аминокислоты, такие как лизин и триптофан. В среднем в ней на 1–1,5% больше белка, чем в пшенице, и на 3–4% больше, чем во ржи. В нем столько же клейковины, как и в пшенице, но если сравнить качество зерна тритикале, то оно ниже, чем у пшеницы. Зерно тритикале используется в хлебопекарной и кондитерской промышленности [1].

Его выращивают там же, где пшеницу и рожь. Оно очень распространено в Хорезме. Урожайность зерна составляет 5–7 т/га, зеленой массы – 40–55 т/га.

Ряд научно-исследовательских институтов Узбекистана изучают эту культуру. Тритикале занимает важное место в зерновом хозяйстве Хорезма [2, 3]. В литературе указывается, что в течение вегетационного периода тритикале повреждается многочисленными вредителями отряда полужесткокрылых [4–6]. Согласно литературным данным в Африке, Европе и Центральной Азии некоторые виды клопов наносят большой ущерб урожайности и качеству зерна злаковых растений, например: вредная черепашка (*Eurygaster integriceps* Puton.), Мавританский клоп (*E. maura* L.) и австрийский клоп (*E. Austriacus* Schr.) [7].

Eurygaster integriceps (Put.) – вредная черепашка, клоп принадлежит к роду *Eurygaster* семейства щитники-черепашки (*Scutelleridae*) и является обычным вреди-

телем злаков в республике [8, 9]. При заражении злаковых растений вредной черепашкой наблюдалось снижение урожайности до 38,6%. Всхожесть семян полевых культур, пораженных *Eurygaster integriceps*, снижается до 50%. Хотя в настоящее время в республике используются меры биологического контроля, в 2011–2015 гг. в работах Ш.А. Халлиллаева, А.А. Нуржанова, А.Ш. Хамраева, Б.Р. Холматова проведен анализ имеющихся данных по ареалу распространения вредной черепашки и повреждениям, биологическим и экологическим особенностям, а также по диапаузе и состоянию зимовки, миграции, срокам развития и генераций, энтомофагам и энтомопатогенным грибам, а также методам борьбы с вредной черепашкой. Научные исследования ими проводились в Ташкентской, Джизакской, Сырдарьинской и Кашкардарьинской областях [10].

Сообщается, что полужесткокрылые оказывают большое влияние на развитие растений: они снижают урожайность сельскохозяйственных растений, а также снижают товарное качество продукции, что делает растения непригодными для потребления. Клопы активно размножаются в период развития растений [11, 12]. Клопы появляются на молодых побегах, а также на незрелых колосьях. Увеличение количества клопов идет быстрыми темпами, на небольшом участке вредители могут уничтожить весь урожай [13–15].

В 2020–2021 гг. мы провели эксперименты по изучению общего видового состава полужесткокрылых, а также их пищевой специализации на территории Хорезма. Целью нашей исследовательской работы было определение общего состава полужесткокрылых на тритикале в условиях Хорезма.

Материалы и методы исследования

В условиях северо-западного Узбекистана, в частности Хорезмского оазиса, виды клопов на тритикале не изучены.

Наши эксперименты начались с марта по октябрь в 2020–2021 гг. Для изучения видового состава мы собирали коллекции клопов на полях в хозяйстве «Оллоёров Бехрузбек», сборы проводились каждые 7–10 дней в течение вегетационного периода тритикале. Ферма расположена в Шаватском районе Хорезмской области.

Мы использовали наиболее распространенный метод сбора – энтомологические ловушки. Но, когда численность полужесткокрылых на тритикале была плотной, мы собирали их руками, а иногда промывая зараженные листья тритикале [16, 17]. В полевых условиях мы хранили собранных клопов в банках, в которых находился

ватный тампон с 70% этиловым спиртом, и все насекомые были проанализированы в лаборатории для идентификации. Все лабораторные работы проводились в энтомологической лаборатории Хорезмской Академии Мамуна.

Для идентификации полужесткокрылых насекомых нами были использованы общепринятые и признанные методы из литературы [16, 17], а систематический анализ видов и их латинские названия изучены по каталогу «Определителя насекомых европейской части СССР» [18–20]. В полевых условиях мы изучили способ питания полужесткокрылых, частоту их появления и их обилие на тритикале [21].

Используя математическую формулу Дажоз (Dajoz (2000)) [22], мы определили частоту встречаемости полужесткокрылых насекомых:

$$F (\%) = 100 \times (P_i / P).$$

Значение формулы: P_i – виды; P – общее число видов. Формула делит частоту встречаемости насекомых на четыре различные группы, например: постоянная: $F \geq 50\%$; частый: $25\% < F < 50\%$; дополнительный: $5\% \leq F < 25\%$; редкий: $F < 5\%$ [22].

Используя математическую формулу Заиме и Готьер (Zaime and Gautier (1989)) [23], мы изучили динамику популяции насекомых:

$$Ag (\%) = 100 \times (N_i / N).$$

Значение формулы: N_i – видовой коэффициент; N – общее количество видов и делится на четыре группы: очень обильный: $Ag \geq 10$; довольно обильный: $5 \leq Ag < 10$; обильный: $1 \leq Ag < 5$; низкий обильный: $Ag < 1$ [23].

Результаты исследования и их обсуждение

Выявлено, что большинство наземных полужесткокрылых наносят значительный ущерб различным злаковым культурам, кормовым растениям в различных агроценозах.

Вредные виды наземных клопов в основном обитают в естественных ландшафтах на диких травянистых растениях, где они могут размножаться без химических и антропогенных факторов, а затем виды переходят на культурные растения в агроценозах, и в результате вредители наносят огромный ущерб экономической сфере. Наземные полужесткокрылые больше всего причиняют вреда семенам культурных растений, и естественно уменьшается качество и количество зерен культурных растений, особенно у злаковых растений, урожайность снижается очень быстро.

Таблица 1

Распределение идентифицированных видов наземных полужесткокрылых по семействам и родам в агроценозах тритикале

| № | Семейство | Роды | % | Виды | % |
|-------|--|------|------|------|------|
| 1. | <i>Miridae</i> Hahn, 1833 | 6 | 19,4 | 14 | 30,4 |
| 2. | <i>Rhopalidae</i> Amyot & Serville, 1843 | 2 | 6,5 | 2 | 4,3 |
| 3. | <i>Geocoridae</i> Baerensprung, 1860 | 2 | 6,5 | 3 | 6,5 |
| 4. | <i>Lygaeidae</i> Schilling, 1829 | 3 | 9,7 | 3 | 6,5 |
| 5. | <i>Rhyparochromidae</i> Amyot And Serville, 1843 | 3 | 9,7 | 4 | 8,7 |
| 6. | <i>Cydnidae</i> Billberg, 1820 | 6 | 19,4 | 6 | 13,0 |
| 7. | <i>Pentatomidae</i> Leach, 1815 | 7 | 22,6 | 11 | 23,9 |
| 8. | <i>Scutelleridae</i> Leach, 1815 | 2 | 6,5 | 3 | 6,5 |
| Всего | | 31 | 100 | 46 | 100 |

В наших исследованиях выявлено, что в агроценозах тритикале были выявлены около 98 кладок яиц различных видов клопов. При обследовании вегетационного сезона на тритикале было выловлено 85 экз. клопов из разных семейств.

По нашим наблюдениям на тритикале на исследуемой территории обитают следующие виды: *Brachycoleus decolor*, *Lygus pratensis*, *Lygus gemellatus*, *Lygus pachycnemis*, *Lygus rugulipennis*, *Lygus punctatus*, *Notostira elongata*, *Megaloceroea recticornis*, *Stenodema calcaratum*, *Stenodema tripsinosa*, *Stenodema laevigata*, *Stenodema turanica*, *Trigonotylus ruficornis*, *Trigonotylus pulchellus*, *Chorosoma schillingi*, *Rhopalus distinctus*, *Engistus salinus*, *Engistus exsanguis*, *Henestaris halophilus*, *Lygaeus equestris*, *Nysius graminicola*, *Ortholomus punctipennis*, *Beosus quadripunctatus*, *Emblethis ciliatus*, *Emblethis denticollis*, *Lamprodema maura*, *Aethus pilosulus*, *Byrsinus fossor*, *Microporus nigrita*, *Stibaropus hohlbecki*, *Sehirus morio*, *Amaurocoris candidus*, *Aelia acuminata*, *Aelia furcula*, *Aelia melanota*, *Carpocoris pudicus*, *Carpocoris fuscispinus*, *Palomena prasina*, *Dolycoris penicillatus*, *Holcostethus strictus vernalis*, *Menaccarus deserticola*, *Eurydema wilkinsi*, *Eurydema maracandica*, *Eurygaster integriceps*, *Odontotarsus impictus*, *Odontotarsus angustatus*.

Наши результаты выявили, что 46 видов наземных полужесткокрылых, распространенных в агроценозах тритикале, относятся к 8 семействам и 31 роду (табл. 1). Больше всего представителей *Pentatomidae*, они составляют 22,6% таксонов фауны.

В табл. 1 показано, что семейства *Miridae* (19,4%) и *Cydnidae* (19,4%) также доминируют над представителями других семейств.

Следующее место в энтомофауне занимают роды *Lygaeidae* и *Rhyparochromidae*,

они включают по 9,7%. Остальные семейства насчитывают по 3 рода: *Rhopalidae*, *Geocoridae*, *Scutelleridae* (6,5%).

Из табл. 2 видно, что частота и численность клопов были классифицированы как постоянные для 32 видов (69,5%) из 46 видов, и 22 вида (47,8%) были очень обильными видами: *Lygus pratensis*, *Lygus gemellatus*, *Lygus pachycnemis*, *Lygus rugulipennis*, *Lygus punctatus*, *Notostira elongata*, *Megaloceroea recticornis*, *Stenodema calcaratum*, *Stenodema tripsinosa*, *Stenodema laevigata*, *Chorosoma schillingi*, *Rhopalus distinctus*, *Henestaris halophilus*, *Nysius graminicola*, *Emblethis denticollis*, *Lamprodema maura*, *Aethus pilosulus*, *Amaurocoris candidus*, *Aelia acuminata*, *Aelia furcula*, *Aelia melanota*, *Eurygaster integriceps*.

Данные табл. 2 показывают, что 10 видов (21,7%) довольно многочисленны: *Brachycoleus decolor*, *Trigonotylus ruficornis*, *Lygaeus equestris*, *Ortholomus punctipennis*, *Microporus nigrita*, *Stibaropus hohlbecki*, *Carpocoris pudicus*, *Dolycoris penicillatus*, *Menaccarus deserticola*, *Odontotarsus angustatus*.

По результатам изучено, что 9 видов (19,5%) были низкими обильными видами: *Engistus salinus*, *Engistus exsanguis*, *Beosus quadripunctatus*, *Byrsinus fossor*, *Carpocoris pudicus*, *Palomena prasina*, *Holcostethus strictus vernalis*, *Eurydema wilkinsi*, *Odontotarsus impictus* – и 5 видов (10,8%) были обильными: *Stenodema turanica*, *Trigonotylus pulchellus*, *Emblethis ciliatus*, *Sehirus morio*, *Eurydema maracandica*.

На основании наших экспериментов было установлено, что полужесткокрылые на тритикале делятся на следующие группы по пищевой специализации: 26 – полифаги (56,5%), 18 – широкие олигофаги (39,1%) и 2 – узкие олигофаги (4,3%) (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Общие характеристики выявленных полужесткокрылых в агроценозах тритикале

| № | Виды насекомых | Семейство | Характеристики | | | |
|-----|---|------------------|-------------------|---------|-------------|----|
| | | | Трофические связи | Частота | Численность | |
| 1. | <i>Brachycoleus decolor</i> (Reuter, 1887) | Miridae | ПФ | ++ | ДМ | |
| 2. | <i>Lygus pratensis</i> (Linnaeus, 1758) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 3. | <i>Lygus gemellatus</i> (Herrich-Schaeffer, 1835) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 4. | <i>Lygus pachycnemis</i> (Reuter, 1879) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 5. | <i>Lygus rugulipennis</i> (Poppius, 1911) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 6. | <i>Lygus punctatus</i> (Zetterstedt, 1838) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 7. | <i>Notostira elongata</i> (Geoffroy, 1785) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 8. | <i>Megaloceroea recticornis</i> (Geoffroy, 1785) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 9. | <i>Stenodema calcaratum</i> (Fallen, 1807) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 10. | <i>Stenodema tripsinosa</i> (Reuter, 1904) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 11. | <i>Stenodema laevigata</i> (Linnaeus, 1758) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 12. | <i>Stenodema turanica</i> (Reuter, 1904) | | ШО | + | О | |
| 13. | <i>Trigonotylus ruficornis</i> (Geoffroy, 1785) | | ШО | ++ | ДМ | |
| 14. | <i>Trigonotylus pulchellus</i> (Hahn, 1834) | | ШО | + | О | |
| 15. | <i>Chorosoma schillingi</i> (Schilling, 1829) | Rhopalidae | ШО | +++ | ОМ | |
| 16. | <i>Rhopalus distinctus</i> (Signoret, 1859) | | УО | +++ | ОМ | |
| 17. | <i>Engistus salinus</i> (Jakovlev, 1874) | Geocoridae | ПФ | + | М | |
| 18. | <i>Engistus exsanguis</i> (Stål, 1872) | | УО | + | М | |
| 19. | <i>Henestaris halophilus</i> (Burmeister, 1835) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 20. | <i>Lygaeus equestris</i> (Linnaeus, 1758) | Lygaeidae | ПФ | ++ | ДМ | |
| 21. | <i>Nysius graminicola</i> (Kolenati F.A., 1845) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 22. | <i>Ortholomus punctipennis</i> (Herrich-Schäffer, 1850) | | ПФ | ++ | ДМ | |
| 23. | <i>Beosus quadripunctatus</i> (Muller, 1766) | Rhyparochromidae | ПФ | + | М | |
| 24. | <i>Emblethis ciliatus</i> (Horváth, 1875) | | ПФ | + | О | |
| 25. | <i>Emblethis denticollis</i> (Horváth, 1878) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 26. | <i>Lamprodema maura</i> (Fabricius, 1803) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 27. | <i>Aethus pilosulus</i> (Klug, 1845) | Cydnidae | ПФ | +++ | ОМ | |
| 28. | <i>Byrsinus fossor</i> (Mulsant & Rey, 1866) | | ПФ | + | М | |
| 29. | <i>Microporus nigrita</i> (Fabricius, 1794) | | ПФ | ++ | ДМ | |
| 30. | <i>Stibaropus hohlbecki</i> (Kiritshenko, 1912) | | ШО | ++ | ДМ | |
| 31. | <i>Shirus morio</i> (Linnaeus, 1761) | | ШО | + | О | |
| 32. | <i>Amaurocoris candidus</i> (Horvath, 1889) | | ПФ | +++ | ОМ | |
| 33. | <i>Aelia acuminata</i> (Linnaeus, 1758) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 34. | <i>Aelia furcula</i> (Fieber, 1868) | Pentatomidae | ШО | +++ | ОМ | |
| 35. | <i>Aelia melanota</i> (Fieber, 1868) | | ШО | +++ | ОМ | |
| 36. | <i>Carpocoris pudicus</i> (Poda, 1761) | | ПФ | + | М | |
| 37. | <i>Carpocoris fuscispinus</i> (Boheman, 1851) | | ПФ | ++ | ДМ | |
| 38. | <i>Palomena prasina</i> (Linnaeus, 1761) | | ПФ | + | М | |
| 39. | <i>Dolycoris penicillatus</i> (Horvath, 1904) | | ПФ | ++ | ДМ | |
| 40. | <i>Holcostethus strictus vernalis</i> (Wolff, 1804) | | ПФ | + | М | |
| 41. | <i>Menaccarus deserticola</i> (Jakovlev, 1900) | | ШО | ++ | ДМ | |
| 42. | <i>Eurydema wilkinsi</i> (Distant, 1879) | | ШО | + | М | |
| 43. | <i>Eurydema maracandica</i> (Oshanin, 1871) | | ШО | + | О | |
| 44. | <i>Eurygaster integriceps</i> (Puton, 1881) | | Scutelleridae | ШО | +++ | ОМ |
| 45. | <i>Odontotarsus impictus</i> (Jakovlev, 1886) | | | ПФ | + | М |
| 46. | <i>Odontotarsus angustatus</i> (Jakovlev 1883) | ПФ | | ++ | ДМ | |

Примечание. +++ – постоянный вид; ++ – частый вид; + – редкий вид.

ПФ – полифаг; ШО – широкий олигофаг; УО – узкий олигофаг.

ОМ – очень обильный; ДМ – довольно обильный; О – обильный; М – низкий обильный.

Таблица 3

Пищевая специализация полужесткокрылых в агроценозах тритикале

| Семейства и виды | Полифаг | Широкий олигофаг | Узкий олигофаг |
|---|---------------|------------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Сем. <i>MIRIDAE</i> Hahn, 1833 | 7 | 7 | |
| Сем. <i>RHOPALIDAE</i> Amyot & Serville, 1843 | | 1 | 1 |
| Сем. <i>GEOCORIDAE</i> Baerensprung, 1860 | 2 | | 1 |
| Сем. <i>LYGAEIDAE</i> Schilling, 1829 | 3 | | |
| Сем. <i>RHYPAROCHROMIDAE</i> Amyot and Serville, 1843 | 3 | 1 | |
| Сем. <i>CYDNIDAE</i> Billberg, 1820 | 4 | 2 | |
| Сем. <i>PENTATOMIDAE</i> Leach, 1815 | 5 | 6 | |
| Сем. <i>SCUTELLERIDAE</i> Leach, 1815 | 2 | 1 | |
| Всего: 46 (100%) | 26 (56,5%) | 18 (39,1%) | 2 (4,3%) |

По нашим наблюдениям наибольшая доля видов приходилась на полифагов, и они составляли почти 1/2 всех полужесткокрылых. Результаты показывают, что полифаги принадлежали к семи семействам: *Miridae*, *Geocoridae*, *Lygaeidae*, *Rhyparochromidae*, *Cydnidae*, *Pentatomidae*, *Scutelleridae*; а широкие олигофаги – к шести семействам: *Miridae*, *Rhopalidae*, *Rhyparochromidae*, *Cydnidae*, *Pentatomidae*, *Scutelleridae*.

Наши наблюдения также показали, что узкие олигофаги составляли меньшую долю полужесткокрылых и принадлежали к *Rhopalidae* и *Geocoridae*.

Проведенный нами анализ полужесткокрылых вредителей на тритикале показал, что основным местом обитания вредителей являются травянистые и кустарниковые растения, которые распространены во круг поля.

По нашим наблюдениям, было изучено, что вредители сначала питались дикими растениями, а затем очень быстро мигрировали на тритикалевые поля.

На основании наших экспериментов было установлено, что травянистые и кустарниковые растения очень важны для вредителей полужесткокрылых для получения легкодоступных энергетических ресурсов, что стимулирует их пищевую специализацию, и эти дикорастущие растения были необходимым условием для массового размножения некоторых видов в агроценозах тритикале.

Выводы

По результатам исследования фауны полужесткокрылых (Heteroptera) в агро-

ценозах тритикале представлены следующие выводы:

– На полях в хозяйстве «Оллоёров Бехрузбек» в Шаватском районе в течение вегетационного периода тритикале определено 46 видов наземных полужесткокрылых.

– Идентифицированные виды относятся к 31 родам и 8 семействам.

– Отмеченные виды полужесткокрылых были разделены по количеству видов, большинство обитающих доминирующих видов были из семейства *Miridae* Hahn, 1833, 14 видов составляют 30,4%; *Pentatomidae* Leach, 1815, составляют 23,9% (11 видов). А *Cydnidae* Billberg, 1820, составляют 13,0% (6 видов из всех изучаемых 46 видов).

– Частота и численность клопов были классифицированы на следующие группы: из них 22 вида (47,8%) – очень обильные виды; 10 видов (21,7%) довольно многочисленны; 9 видов (19,5%) низкие обильные; 5 видов (10,8%) были обильными.

– По спектру питания клопов отмечены следующие типы: полифаги, широкие олигофаги, узкие олигофаги.

– Полифаги по количеству составляют большую часть из всех видов фитофагов, которые относятся к семействам *Miridae* Hahn, 1833 (7 видов), *Pentatomidae* Leach, 1815 (5 видов), *Rhyparochromidae* Amyot And Serville, 1843 (3 вида), *Lygaeidae* Schilling, 1829 (3 вида), *Cydnidae* (Billberg, 1820 (4 вида) и *Scutelleridae* Leach, 1815 (2 вида).

– Выявлено, что полифаги – это самая большая группа, которая объединяет 26 видов, составляющих 56,5% из всех изучаемых видов, и 18 (39,1%) видов считаются широкими олигофагами, а узкими олигофагами считаются только 2 вида, которые со-

ставляют 4,3%, эта группа имеет наименьшее количество видов.

Список литературы

1. Потапова Г.Н., Зобнина Н.Л. Перспективы использования озимой ржи и тритикале на ранний зеленый корм в Свердловской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 8. С. 46–50. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10812.
2. Gandzhaeva L.A. Effect of sowing date on yield of winter wheat cultivars Grom, Asr and Kuma in Khorezm region. Journal «Bulgarian Journal of Agricultural Science (BJAS)». Bulgaria, 2019. Vol. 25. No. 3. P. 474–479.
3. Ганджаева Л., Исмаилова И., Саидова С. Среднеазиатские капустные клопы // Актуальные тенденции в современных научных исследованиях 2: материалы Международной научно-практической конференции (Штутгарт, Германия, 5 июня 2020 г.). Штутгарт: ЛОГОС, 2020. С. 122–123. DOI: 10.36074/05.06.2020.v2.50.
4. Gandzhaeva L.A., Abdullaev I., Razzakov K., Al-labergenova K. Climate impact on the population dynamics of Cruciferae Bugs (Heteroptera, Pentatomidae, *Eurydema*). EurAsian Journal of BioSciences. Turkey, 2020. No. 14. P. 3349–3358. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ejobios.org/download/climate-impact-on-the-population-dynamics-of-cruciferae-bugs-heteroptera-pentatomidae-eurydema-7940.pdf> (дата обращения: 17.06.2022).
5. Ганджаева Л.А., Абдуллаев И.И., Абдуллаева С.И. Анализ динамики численности популяций среднеазиатских клопов на сельскохозяйственных культурах на территории реки Нижней Амударьи (*Heteroptera, Pentatomidae, Eurydema*) // Научное обозрение. Биологические науки. М., 2020. № 3. С. 94–100. DOI: 10.17513/srbs.1203.
6. Ганджаева Л.А., Аллабергенова К.С. Весеннее пробуждение клопов с зимовки // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы теории и практики развития научных исследований». Екатеринбург, 2020. С. 267–270.
7. Нейморовец В.В. Распространение видов рода *Eurygaster* (Heteroptera: Scutelleridae) на территории России // Вестник защиты растений. 2019. № 4 (102). С. 36–48. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-36-48.
8. Халиллаев Ш.А. Значение яйцекладущих паразитов в ограничении численности вредоносной хасвы (*Eurygaster integriceps* Puton) в условиях Ташкентской области // Вестник Национального университета Узбекистана. Ташкент. 2015. № 4. С. 130–134.
9. Халиллаев Ш.А., Нуржанов Ф.А. Энтомопатогенные грибы вредоносной хасвы // Вестник Национального университета Узбекистана. Ташкент. 2013. № 1. С. 183–186.
10. Хамраев А.Ш., Хасанов Б.А., Сулайманов Б.А., Кожевникова А.Г., Холмуродов Э.А. Биологическая защита растений. Ташкент, 2013. 336 с.
11. Saulich A.Kh., Musolin D.L. Seasonal cycles of Pentatomoidea. In: J.E. McPherson (ed.). Invasive Stink Bugs and Related Species (Pentatomoidea): Biology, Higher Systematics, Semiochemistry, and Management. Boca Raton, FL, U.S.A., CRC Press, 2018. P. 565–607.
12. Нейморовец В.В. Восточноазиатский мраморный клоп *Halyomorpha Halys* (Heteroptera: Pentatomidae): морфология, биология, расширение ареала и угрозы для сельского хозяйства Российской Федерации (аналитический обзор) // Вестник защиты растений. 2018. № 1 (95). С. 11–16.
13. Темрешев И.И., Есенбекова П.А., Успанов А.М. Новые находки опасного инвазивного вредителя – мраморного клопа *Halyomorpha halys* Stal, 1855 (Heteroptera, Pentatomidae) в Казахстане // Acta Biologica Sibirica. 2018. № 4 (3). С. 94–101.
14. Умурзаков Э.У., Ахмедов С.И., Хашимов Ф.Х. Влияние сосущих вредителей на продуктивность табака: монография. Самарканд, 2018. 208 с.
15. Умурзаков Э.У., Ахмедов С.И. Влияние сосущих вредителей на урожай и качество табака в Узбекистане // Актуальные проблемы современной науки. 2018. № 3. С. 169–173.
16. Махлин М.Д. Насекомые. «А.В.К. Тимошка», 2018. 110 с.
17. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М.: Высшая школа, 1971. 424 с.
18. Плотников В.И. Насекомые, вредящие хозяйственным растениям Средней Азии. Ташкент: Изд. Узбекск. ст. зац. раст, 1926. 292 с.
19. Яхонтов В.В. Вредители сельскохозяйственных растений и продуктов Средней Азии и борьба с ними. Ташкент: Госиздат УзССР, 1953. 574 с.
20. Бей-Биенко Г.Я. Определитель насекомых Европейской части СССР. М.: Изд. «Наука», 1970. 943 с.
21. Юсупова С.К., Ганджаева Л.А. Видовой состав хлебных клопов (Heteroptera) на тритикале // Исследование путей совершенствования научно-технического потенциала общества в стратегическом периоде: сборник статей Международной научно-практической конференции. Ч. 2. Уфа, 2022. С. 20–22.
22. Дажоз Р. Экология. 7-е издание. Париж, Дюмон, 2000. 615 с.
23. Заиме А., Готьер Ж.Ю. Сравнение рационов трех видов *Gerbillidae* в окружающей среде в Марокко // Журнал экологии (Земля и жизнь). 1989. Т. 44. № 3. С. 263–278.

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

УДК 663.8

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ
L. PLANTARUM ДЛЯ ФЕРМЕНТАЦИИ ФРУКТОВЫХ СОКОВ**

Бурак Л.Ч.

ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com

Необходимость разработки и производства ферментированных фруктовых соков вызвана повышенным спросом потребителей в связи с увеличением случаев непереносимости лактозы и растущей популярностью таких пищевых тенденций, как веганство. Цель работы – краткий обзор последних результатов исследований, касающихся применения *L. plantarum* для ферментации фруктовых соков. Анализ зарубежных научных публикаций свидетельствует о том, что многие фруктовые соки были исследованы и оценены на предмет их пригодности в качестве источника сырья для молочнокислого брожения. Используемые в этих целях молочнокислые бактерии (LAB) изучались и оценивались по результатам сбраживания различных фруктовых соков. Особый интерес представляют LAB *Lactiplantibacillus (Lpb.) L. plantarum*, поскольку они обладают пластичностью генома, а также высокой универсальностью и гибкостью, что необходимо эффективно использовать для ферментации фруктовых соков. Фруктовые соки являются подходящими субстратами для молочнокислого брожения. Ферментация фруктовых соков дает возможность получать напитки без лактозы, со специфическим вкусом, пониженным содержанием сахара и содержанием полезных биологически активных соединений, которые могут быть профилактическим средством в борьбе с метаболическими заболеваниями. *L. plantarum* обладает широким набором ферментов, способствующих образованию многих биоактивных соединений, бактериоцинов и EPS, которые обладают антимикробными, антиоксидантными и пробиотическими свойствами. Применение пробиотических штаммов *L. plantarum*, для ферментации фруктовых соков позволяет создавать пищевые продукты с увеличенным сроком хранения, повышенной пищевой ценностью и улучшенными органолептическими показателями.

Ключевые слова: фруктовые соки, ферментация, пробиотики, *L. plantarum*, ферменты, фенолы, биологическая активность, органолептические показатели

**PROSPECTS FOR THE USE OF LACTIC BACTERIA *L. PLANTARUM* FOR
FRUIT JUICE FERMENTATION. REVIEW**

Burak L.Ch.

Belrosakva Limited Liability Company, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com

The need to develop and produce fermented fruit juices is driven by increased consumer demand, due to the increase in cases of lactose intolerance and the growing popularity of food trends such as veganism. The purpose of this work is to briefly review the latest research results regarding the use of *L. plantarum* for the fermentation of fruit juices. An analysis of foreign scientific publications indicates that many fruit juices have been investigated and evaluated for their suitability as a source of raw materials for lactic acid fermentation. The lactic acid bacteria (LAB) used for this purpose has been studied and evaluated in the fermentation of various fruit juices. LABs of *Lactiplantibacillus (Lpb.) L. plantarum* are of particular interest because they have genome plasticity as well as high versatility and flexibility, which should be effectively used for fruit juice fermentation. Fruit juices are suitable substrates for lactic acid fermentation. Fermentation of fruit juices makes it possible to obtain lactose-free drinks with a specific taste, reduced sugar content and the content of useful biologically active compounds, which can be a prophylactic in the fight against metabolic diseases. *L. plantarum* has a wide range of enzymes that promote the formation of many bioactive compounds, bacteriocins and EPS, which have antimicrobial, antioxidant and probiotic properties. The use of probiotic strains of *L. plantarum* for the fermentation of fruit juices allows you to create food products with an extended shelf life, increased nutritional value and improved organoleptic characteristics.

Keywords: fruit juices, fermentation probiotics, enzymes, phenolic resins, lab lactiplantibacillus, biological activity, organoleptic characteristics

Одним из направлений инновационного развития в пищевой промышленности является создание новых продуктов функционального и профилактического назначения. Употребление таких продуктов положительно влияет на микробный состав кишечника и позволяет предотвратить различные заболевания, связанные с образом жизни. Кроме того, функциональные продукты имеют значение и с точки зрения экологии в силу того, что они обуславливают повышение

резистентных свойств организма человека к неблагоприятным условиям окружающей среды [1]. В настоящее время многие потребители пищевых продуктов отдают предпочтение здоровому питанию, продуктам без добавок, поэтому создание продуктов питания функционального и профилактического назначения является приоритетным для пищевых предприятий.

Функциональные пищевые продукты – это продукты, которые помимо естествен-

ного значения пищи для организма человека оказывают влияние на определенные функции человеческого организма и укрепляют здоровье в целом [2]. Функциональные продукты питания включают в себя в основном пробиотики, пребиотики и, в последнее время, симбиотики [3, 4]. Молочные продукты, такие как сыр, простокваша, йогурт и другие, принято считать основными представителями пробиотических продуктов. Однако в последние несколько лет в качестве пробиотических субстратов разрабатываются другие альтернативные пищевые продукты [5, 6]. Основная причина необходимости разрабатывать альтернативные продукты заключается в том, что существуют категории потребителей с различными отклонениями в состоянии здоровья, такими как непереносимость лактозы, аллергия к казеину, одному из основных белков, присутствующих в молоке [7, 8]. Поэтому в качестве альтернативы молочным продуктам многие исследователи рассматривают зерновые, овощи и фрукты в ферментированной и неферментированной формах [9]. В частности, фруктовые соки считаются хорошими субстратами для пробиотиков [10, 11]. Многие фруктовые соки были исследованы и оценены на предмет их пригодности в качестве жизнеспособных и стабильных для сохранения пробиотиков путем ферментации молочной кислоты. Тем не менее ферментация представляет собой сложный процесс, который требует подбора необходимых технологических параметров и осуществления контроля для достижения качественных органолептических показателей и сохранения функциональности и жизнеспособности пробиотических клеток. Точно так же к критическим параметрам необходимо отнести правильный выбор закваски для ферментации фруктовых соков и возможные модификации фруктовых соков (до ферментации). Молочнокислые бактерии – общее название бактерий семейства *Lactobacillaceae*, основным свойством которых является способность образовывать молочную кислоту в качестве основного продукта брожения, являются наиболее распространенными микроорганизмами, применяемыми для ферментации фруктового сока. В частности, *Lactobacillus plantarum* или, как в последнее время стали называть *Lactiplantibacillus (Lpb.) Plantarum* subsp. *plantarum* [12] – перспективный хорошо изученный штамм ферментации фруктовых соков. Цель данной статьи – предоставить обзор последних результатов исследований, касающихся возможностей применения *L. plantarum* для ферментации фруктовых соков.

1. Молочнокислое брожение фруктовых соков

Спрос со стороны потребителей на фруктовые соки, нектары и готовые сокодержательные напитки за последнее десятилетие во всем мире значительно увеличился [13], так как предпочтения потребители отдают качественным, минимально обработанным продуктам, а также их пищевой ценности [14]. Фруктовые соки содержат значительное количество пищевых волокон, антиоксидантов, полифенолов, минералов и витаминов. Срок годности свежих фруктовых соков очень короткий и колеблется от 5 до 7 дней при температуре 4 °С, поэтому для увеличения срока годности и сохранения продукта применяют различные методы термической и нетермической обработки, а также внесение консервантов [15–17]. Молочнокислое брожение фруктовых соков может быть хорошей альтернативой и в полной мере удовлетворить запросы и предпочтения потребителей. Анализ научных публикаций свидетельствует о нескольких исследованиях, подтверждающих явное положительное влияние на продление срока хранения фруктовых соков ферментации с помощью молочнокислых бактерий (LAB). Результат ферментации зависит от вида фруктового сока и его химического состава, применяемого штамма, а также от условий ферментации и хранения (время, температура и т.д.). Молочнокислое брожение фруктовых соков может сохранить или улучшить потребительские качества, пищевую ценность и органолептические показатели конечного продукта [18, 19]. Данный процесс также считается мягким методом консервирования, с минимальной обработкой [20]. Наиболее распространенной группой бактерий, применяемой для молочнокислого брожения фруктовых соков, является *lactic acid bacteria* (LAB).

Несколько исследований с указанием соответствующих преимуществ представлены в таблице.

Следует отметить, что ферментированный гранатовый сок с LAB хранился в холодильнике в течение 45 дней (примерно на 38 дней больше, чем неферментированный сок) при температуре 4 °С без каких-либо добавок [32]. Добавление ферментированного LAB сока дыни к свежему соку дыни, хранящемуся при 8 °С, продлило срок хранения конечного продукта на 6 месяцев [33]. Микробиологической порчи ферментированного гранатового сока *L. plantarum* ATCC 14917 не наблюдалось после 28 дней хранения в холодильнике при температуре 4 °С, тогда как свежий гранатовый сок обычно портится в течение 5–7 дней при хранении в холодильнике при 4 °С.

Примеры ферментированных фруктовых соков с различными штаммами LAB (включая *L. plantarum*) отдельными культурами или смешанными

| Фруктовые соки | Используемые штаммы | Полученные результаты | Источник |
|---------------------------------|--|--|----------|
| Сок шелковицы | <i>L. plantarum</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. paracasei</i> | Повышение общей антоциановой, фенольной, антиоксидантной активности | [21] |
| Гранатовый сок | <i>L. plantarum</i> | Повышение антимикробной активности. Повышено содержание летучих свободных жирных кислот. Лучшие органолептические свойства и состав летучих соединений | [22] |
| Гранатовый сок | <i>L. plantarum</i> | Улучшенные сенсорные характеристики. Улучшение ТРС и антиоксидантной активности | [23] |
| Гранатовый сок | <i>L. paracasei</i> | Улучшенные сенсорные характеристики. Повышение ТРС и антиоксидантной активности | [13, 24] |
| Вишневый сок | <i>L. paracasei</i> | Повышение ТРС и антиоксидантной активности | [25] |
| Яблочный сок свежавыжатый | <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> subsp. <i>Infantis</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. mesenteroides</i> , <i>L. johnsonii</i> | Повышенная антиоксидантная активность. Модификация типа и содержания фенола. Возможное пребиотическое действие фенольных смол на молочнокислые бактерии. Содержащиеся пребиотические олигосахариды (<i>mesenteroides</i>) усиливали рост <i>L. johnsonii</i> | [26] |
| Свежавыжатые соки дыни и яблока | <i>L. casei</i> | Образование новых ароматических соединений | [27] |
| Яблочный сок | <i>L. acidophilus</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. plantarum</i> . | Улучшенный состав летучих соединений | [28] |
| Яблочный сок | <i>L. plantarum</i> | Улучшенный состав летучих соединений. Повышенная антиоксидантная способность и биодоступность полифенолов | [29] |
| Сок бузины | <i>L. plantarum</i> | Улучшенный состав летучих соединений | [19] |
| Клюквенный сок | <i>L. paracasei</i> | Синергетический и аддитивный антибактериальный эффект комбинации ферментированного клюквенного сока и антибиотиков | [30] |
| Фруктовый сок | <i>L. paracasei</i> | Повышение общего содержания полифенолов и антиоксидантной активности | [31] |

Тем не менее на функциональность и физиологический статус LAB во время молочнокислого брожения и хранения сброженных соков в холодильнике может повлиять воздействие определенных факторов, таких как кислота и холод. В частности, некоторые очень кислые фруктовые соки, такие как клюквенный (pH 2,7), гранатовый (pH 3,0–3,5), лимонный и лаймовый сок (pH 2,8) [34], оказывают серьезное влияние на жизнеспособность LAB, [35] во время процесса производства и хранения [36]. В частности, касаясь пробиотических штаммов LAB, выживание в неблагоприятных условиях является важным критерием сохранности пробиотиков [37]. Воздействия неблагоприятных факторов можно избежать, используя предварительную адапта-

цию, инкапсуляции, а также смешивание со вторым соком и правильный выбор пробиотических штаммов LAB.

Наиболее распространенным способом адаптации к стрессу является изменение питательной среды и/или условий инкубации. Преадаптивная или адаптивная эволюция [38] включает в себя воздействие на микроорганизмы сублетального стресса (pH, холод, осмотическое давление и т.д.). Воздействие этих факторов в течение ограниченного времени будет способствовать устойчивости к деформации при дальнейшем воздействии стресса более высокого уровня или другого стресса. Этот метод был применен в процессе молочнокислой ферментации фруктовых соков пробиотиками, и были получены положительные результаты [39–41].

Микрокапсулирование считается перспективным методом повышения жизнеспособности пробиотиков в функциональных напитках. Микрокапсулирование пробиотиков обеспечивает высокую степень сохранения пробиотических свойств и укрепления клеток в процессе различных физико-химических изменений, таких как pH, температура, соли желчных кислот и т.д. [42–45]. Помимо повышения жизнеспособности штаммов бактерий в пищевых продуктах еще одной целью микрокапсулирования пробиотиков является повышение устойчивости пробиотических клеток в желудочно-кишечном тракте. Были предложены различные методы микрокапсулирования пробиотических клеток, такие как эмульгирование, распылительная сублимационная сушка и экструзия, с многочисленными инкапсулирующими агентами [46]. Наиболее часто применяемыми инкапсулирующими агентами являются природные биополимеры, такие как альгинат и κ-каррагинан, а также пребиотики, такие как резистентный крахмал, инулин, фруктоолигосахарид и клетчатка [47]. Применение пребиотиков в качестве инкапсулирующих агентов кажется более приемлемым, поскольку это рентабельная технология в промышленных масштабах и дает обнадеживающие результаты [48, 49]. Функциональность LAB может быть значительно улучшена с помощью физических методов. Наиболее распространенная применяемая технология – ультразвук (УЗИ). Пробиотику *L. casei* NRRL B442 удастся выжить в течение как минимум 21 дня при 4 °C в обработанном ультразвуком ананасовом соке [50]. В другом исследовании *L. reuteri*, *L. plantarum*, *L. casei*, бифидобактерии и пропионибактерии обрабатывали УЗИ перед инокуляцией в натуральном рисовом напитке, в результате pH и вкусовые показатели сохранялись в течение 7 дней [51, 52]. Другой перспективный способ – добавление второго сока (свежего или ферментированного) к основному. Основная причина такой обработки – небольшое повышение низкого значения pH основного сока, чтобы повысить выживаемость пробиотического штамма. Точно так же для этой цели был предложен морковный сок, так как он имеет значение pH около 6. Кроме того, добавление 5% сока ацеролы к апельсиновому соку предотвращало образование углекислого газа в течение трех недель и не влияло на содержание пробиотиков в течение четырех недель хранения при 8 °C [53].

Следует отметить, что тип штаммов LAB, применяемых для молочнокислого брожения, также имеет решающее значе-

ние, поскольку клетки могут выдерживать воздействие физико-химических параметров фруктового сока (особенно низкие значения pH). В последнее время штаммы пробиотических LAB привлекают к себе внимание, поскольку считаются штаммами с устойчивостью к кислоте. Однако есть примеры, что жизнеспособность некоторых пробиотиков также может снижаться во время ферментации и хранения молочной кислоты, особенно при низких температурах в течение более 14 дней. В целом фруктовое сырье может влиять на жизнеспособность пробиотиков как положительно, так и отрицательно. Кроме того, снижение жизнеспособности пробиотиков неизбежно при хранении ферментированных фруктовых соков в холодильнике более трех недель. Главная проблема в уровне снижения, особенно пробиотических штаммов. Например, пробиотик *L. reuteri* сильно зависит от вида сока. Он сохранился в ананасовом, апельсиновом и яблочном соках, тогда как в красных фруктах он значительно снизился [54]. В другом исследовании жизнеспособность пробиотических клеток *L. plantarum* ATCC 14917 в соке кизиловой вишни снизилась примерно в 4 раза после 28 дней холодного хранения, в то время как мякоть асаи улучшила жизнеспособность *L. acidophilus*, *B. animalis ssp. lactis* и *B. longum* в течение четырех недель хранения в холодильнике. Тем не менее большинство пробиотических штаммов, применяемых для молочнокислого брожения фруктового сока, сохраняют свою жизнеспособность до минимального предела (6 log КОЕ/мл), и они могут придавать пробиотические свойства конечному продукту [55]. Таким образом, выбор подходящих LAB, способных преодолевать неблагоприятные условия окружающей среды в составе фруктового сока и, кроме того, улучшать функциональные характеристики сока, является возможным и перспективным. Поэтому и пробиотические штаммы *L. plantarum* в последнее время привлекают к себе повышенное внимание с целью использования для ферментации фруктового сырья.

2. Основные преимущества применения *L. plantarum* при ферментации пищевых продуктов

L. plantarum является безопасным микроорганизмом и широко используется в технологиях ферментации пищевых продуктов. Он также использовался в производстве пищевых пробиотиков, таких как штамм *L. plantarum* 299v, который широко применяется в промышленности [56]. Это факультативная гетероферментативная

форма LAB, которая может переносить комбинацию высокой кислотности и концентрации этанола и выживать в условиях, которые обычно фатальны для LAB. Адаптивность *L. plantarum* к процессу ферментации, его метаболическая гибкость и универсальность – вот некоторые из важнейших характеристик, которые делают его уникальным среди других LAB. *L. plantarum* был выделен из многочисленных источников пищи, таких как злаки, мясо, молочные продукты, овощи, фрукты и напитки [57, 58], а также из организма человека и млекопитающих. *L. plantarum* может адаптироваться к различным видам растительного сырья, вероятно, из-за размера его генома (в среднем 3,3 Мб), который является одним из крупнейших, обнаруженных в пределах рода *Lactobacillus* [59].

Кроме того, *L. plantarum* может участвовать в нескольких биохимических реакциях, обычно заканчивающихся необходимыми метаболитами, из-за своего специфического ферментативного состава. *L. plantarum* содержит множество внеклеточных ферментов, которые способствуют секреции и модификации белков, а также модификации и деградации внеклеточных соединений, что позволяет использовать такие молекулы в качестве источника питательных веществ [60]. В частности, *L. plantarum* обладает ферментами, такими как танназа, β-глюкозидаза, α-глюкозидаза и β-галактозидаза, *p*-декарбоксилаза кумаровой кислоты и общая декарбоксилаза, которые катализируют производство соединений с высокой добавленной стоимостью, таких как фенольные соединения, приводящие к образованию соединений, которые положительно влияют на аромат пищи и увеличивают антиоксидантную активность [62]. Производство арил-β-глюкозидаз *L. plantarum* инициирует повышение функционально (антиоксидантная активность и биодоступность) гликозилированных фенольных соединений. Кроме того, использование *L. plantarum* в различных растительных продуктах, таких как фруктовые соки, с высоким содержанием дубильных веществ, снижает фенольную терпкость, которая является причиной неприятного вкуса многих фруктовых соков [63].

В последнее время пробиотические штаммы *L. plantarum* были успешно применены в медицине с перспективными результатами. В частности, эффективность штаммов *L. plantarum* в лечении желудочно-кишечных расстройств, снижении холестерина и уменьшении симптомов синдрома раздраженного кишечника (СРК) была исследована и испытана на людях [64].

Несколько штаммов *L. plantarum* проявили антимикробную и антагонистическую активность против некоторых вредных микроорганизмов, противогрибковую активность и противовирусные эффекты. Кроме того, следует выделить широкий спектр бактериоцинов и экзополисахаридов (ЭПС), которые *L. plantarum* способен продуцировать. Бактериоцины обладают широким спектром антимикробной активности против грамположительных и грамотрицательных бактерий, в то время как ЭПС обладает потенциальными полезными для здоровья свойствами в отношении функциональных пищевых продуктов [65].

3. Применение штаммов *L. plantarum* при ферментации различных фруктовых соков

Штаммами *L. plantarum* было успешно ферментировано большое количество фруктовых соков, что привело к получению конечных продуктов с потенциально функциональными свойствами. Большинство из этих зарегистрированных положительных эффектов представлены нами в таблице, их можно обобщить следующим образом: усиление антиоксидантной активности, повышение общего содержания фенольных соединений и общего содержания антоцианов, продление срока хранения фруктовых соков и улучшение органолептических свойств полученных продуктов. Установлено, что *L. plantarum* ATCC14917 изменял фенольный состав яблочного сока после ферментации и увеличил его общую антиоксидантную способность, а также биодоступность полифенолов яблок [28]. Употребление человеком фенолов, содержащихся в пище, необходимо для проявления их полезных свойств в организме. В основном это оценивается по их химической структуре, которая зависит от таких факторов, как степень гликозилирования и конъюгации с другими фенольными соединениями [66].

С другой стороны, предприятия пищевой промышленности ищут способы производить новые продукты с повышенной питательной ценностью. Более того, есть много подтверждений того, что применение пробиотических бактерий при ферментации фруктовых соков может привести к получению конечного продукта с функциональными свойствами и особыми преимуществами для здоровья человека [67–69].

Несмотря на то, что *L. plantarum* обычно может размножаться при температурах от 15 до 30 °С и значениях pH, близких к 4 [70], существуют определенные пробиотические штаммы *L. plantarum* с хорошей переносимостью при низких значениях pH (приблизительно 3,2) и при низких темпе-

ратурах самих фруктовых соков (4–8 °С) [71]. Например, жизнеспособность пробиотика *L. plantarum* NCIMB 8826 снижалась при хранении в холодильнике (4 °С) соков клюквы, граната, лимона и лайма с начальными значениями pH примерно 3. Однако только в случае с соком лимона и соком лайма клетки были жизнеспособными до тридцать пятого дня. Это можно объяснить высокими уровнями фенольных соединений в клюквенном соке [32] и гранатовом соке, которые, как известно, обладают сильными антимикробными свойствами, и тем фактом, что клетки были преадаптированы к лимонной кислоте, которая является основным противомикробным соединением в соке лимона и лайма, что приводит к более высокой жизнеспособности этого сока по сравнению с другими [32]. В другом недавнем исследовании жизнеспособность клеток пробиотика *L. plantarum* ATCC14917 оставалась на высоком уровне в течение 21 дня холодного хранения (4 °С) ферментированного гранатового сока (первоначально 11,43 log КОЕ/мл) и снизилась до 8,83 log КОЕ/мл на четвертой неделе хранения сверх установленного срока для проявления пробиотических свойств. Такие же наблюдения были сделаны при хранении в холодильнике (4 °С) ферментированной кизиловой вишни и гранатового сока с *L. plantarum* ATCC 14917 и ферментированного сладкого лимонного сока (*Citrus Limetta*) с *L. plantarum* LS5 [70, 71].

Кроме того, *L. plantarum* положительно влияет на вкус фруктовых соков, приводя к более высокому содержанию желаемых летучих соединений во время ферментации. Молочнокислая ферментация сока *L. plantarum* значительно улучшила состав и выработку необходимых летучих соединений, что привело к усилению аромата и улучшенным органолептическим показателям. *L. plantarum* 285 продемонстрировал интересные свойства с точки зрения общего ароматического потенциала, а также типа летучих соединений, образующихся в результате кисломолочной ферментации сока бузины [17]. Ферментация черничных соков с *L. plantarum* повысила приемлемость конечного продукта [72].

Проведено исследование пригодности ананасового сока в качестве сырья для производства ферментированного пробиотического сока молочнокислыми бактериями *Lactobacillus plantarum* [73]. Три пробиотических образца сока, инокулированных *L. plantarum* (S-2), *L. fermentum* (S-3), а также *L. plantarum* и *L. fermentum* (S-4), сравнивали с контрольным образцом (S-1), где штаммы *Lactobacillus* не использова-

лись. Ферментацию проводили при 37 °С в течение 48 ч. Затем образцы сока хранили при 4 °С и изучали изменение их физико-химических свойств на 0, 7, 14 и 21 день. Было установлено, что *L. plantarum* способны выдерживать и использовать фруктовые соки для синтеза своих клеток, снижая содержание сахаров и увеличивая кислотность. Хотя молочнокислые культуры постепенно теряли свою жизнеспособность, количество жизнеспособных клеток этих штаммов оставалось на уровне 10⁷ КОЕ/100 мл после 14 дней хранения в холодильнике. Органолептическая оценка показала, что образец сока, приготовленный с *L. plantarum*, показал наилучшие результаты во время хранения. Следовательно, ананасовый сок можно использовать в качестве сырья для производства полезных пробиотических напитков профилактического и функционального назначения.

В проведенном исследовании [74] авторы сравнивали три потенциальных пробиотических штамма для ферментации соков черники и ежевики. Количество жизнеспособных клеток штаммов *L. plantarum* увеличилось на 0,7 log КОЕ/мл в среде с ягодным соком после 48-часовой ферментации. При этом содержание цианидин-3-глюкозида уменьшилось более чем на 30%. Установлено повышение содержания синринговой кислоты, феруловой кислоты, галловой кислоты и молочной кислоты во время ферментации. Однако содержание протокатеховой кислоты, хлорогеновой и яблочной кислот незначительно уменьшилось. Соки как ежевики, так и черники, ферментированные *Lactobacillus plantarum*, показали самое высокое содержание молочной кислоты. Пробиотическая ферментация значительно улучшила органолептические показатели соков ежевики и черники.

Учитывая, что яблоки являются наиболее распространенным фруктовым сырьем, необходимо особо выделить научное исследование, проведенное китайскими и австралийскими учеными [75].

В этом исследовании для ферментации яблочного сока были выбраны три штамма молочнокислых бактерий (LAB), включая *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* и *Lactobacillus plantarum*. В течение 72 ч ферментации эти штаммы молочнокислых бактерий хорошо размножились в яблочном соке со значительным увеличением числа жизнеспособных клеток (с 7,5 log КОЕ/мл до 8,3 log КОЕ/мл) и содержания молочной кислоты (с 0 до 4,2 г/л). С 5,5 до примерно 3,8 снизилась pH. Кроме того, антиоксидантные и антибактериальные свойства ферментированного яблочного сока *in vitro* были значительно улучшены за счет мета-

близма фенольной и органической кислот. После хранения при 4 °С в течение 30 дней общее содержание аминокислот в сброженном яблочном соке значительно увеличилось, хотя количество жизнеспособных клеток и общее содержание фенолов снизилось ($p < 0,05$). Кроме того, хранящиеся ферментированные яблочные соки по-прежнему обладали антибактериальной и антиоксидантной активностью *in vitro*. В целом все отобранные штаммы молочнокислых бактерий могут быть пригодны для ферментации яблочного сока и могут эффективно улучшать их биологическую активность.

Следует отметить, что в процессе проводимых исследований, методом пробного сбраживания на сегодняшний день предприятиями пищевой промышленности, для производства различных пробиотических фруктовых напитков путем ферментации отобраны и в основном используются штаммы пробиотиков *L. plantarum* как отдельно, так и в совокупности со смешанными культурами. На рынке многих стран присутствуют такие продукты, как фруктовый напиток Probi-Bravo Friscus (Швеция) – *L. plantarum*, *L. Paracasei*; фруктовый напиток Danone-ProViva (Швеция, Финляндия) – *L. plantarum*; фруктово-овощное пюре, пробиотик для детей Garden of Life RAW (США) – *L. gasseri*, *L. plantarum*, *L. casei*, *L. Acidophilus*; фруктовый сок GoodBelly (США) – *L. plantarum* 299v; фруктово-овощной пробиотический напиток KeVita (США) – *B. coagulans*, *L. rhamnosus*, *L. Plantarum*; пробиотический фруктовый сок Life Probiotic (Австралия) – *L. plantarum*, *L. Casei* [76]. Предполагаемый способ использования и применения LАВ вполне может быть расширен, так как исследования продолжаются. Благодаря биологической активности, которую проявляют микроорганизмы, можно получать различные пробиотические продукты, укрепляющие иммунитет и способствующие профилактике различных заболеваний.

К сожалению, как видно из материала данного обзора, научных исследований и их практического применения в промышленности Российской Федерации и стран ЕАЭС ферментации фруктовых соков на момент написания рукописи нами практически не установлено. Хотя сырьевая база для создания таких продуктов имеется и производство ферментированных фруктовых соков, особенно яблочного, не требует больших материальных затрат.

Заключение

Фруктовые соки являются подходящими субстратами для молочнокислого бро-

жения. Ферментация фруктовых соков дает возможность получать напитки без лактозы, с пониженным содержанием сахара, со специфическим вкусом и содержанием полезных биологически активных соединений. *L. plantarum* можно считать универсальным видом, так как он содержит широкий набор ферментов, способствующих образованию биологически активных соединений, бактериоционов и EPS, которые обладают антимикробными, антиоксидантными и пробиотическими свойствами. Применение пробиотических штаммов *L. plantarum* для брожения фруктовых соков является перспективным, поскольку это позволит создавать пищевые продукты с увеличенным сроком хранения, повышенной пищевой ценностью, улучшенными органолептическими показателями. Получаемые продукты могут использоваться в качестве функционального и профилактического напитка, способствующего укреплению иммунитета и профилактике заболеваний. Хотя различные отрасли пищевой промышленности, связанные с производством функциональных продуктов питания, включая использование в качестве сырья фруктов и овощей, широко используют штаммы пробиотиков *L. plantarum*, обновленные накопленные научные знания имеют первостепенное значение для оптимального использования штаммов *L. plantarum*. Результаты данной обзорной статьи могут быть использованы при проведении дальнейших научных исследований, а также специалистами пищевой промышленности при разработке ферментированных фруктовых напитков функционального и профилактического назначения.

Список литературы

1. Перфилова О.В., Магомедов Г.О., Бабушкин В.А., Зеленский А.А. Социальная значимость создания продуктов для здорового и функционального питания с использованием вторичного фруктово-овощного сырья // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 1. С. 41.
2. Oliveira A., Amaro A.L., Pintado M.A. Impact of Food Matrix Components on Nutritional and Functional Properties of Fruit-Based Products. *Curr. Opin. Food Sci.* 2018. Vol. 22. P. 153–159.
3. Mantzourani I., Plessas S., Odatzidou M., Alexopoulos A., Galanis A., Bezirtzoglou E., Bekatorou A. Effect of a Novel Lactobacillus Paracasei Starter on Sourdough Bread Quality. *Food Chem.* 2019. Vol. 271. P. 259–265.
4. Wong W.-Y., Chan B.D., Leung T.-W., Chen M., Tai W.C.-S. Beneficial and Anti-Inflammatory Effects of Formulated Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics in Normal and Acute Colitis Mice. *J. Funct. Foods.* 2022. Vol. 88. P. 104871.
5. James A., Wang Y. Health Benefits and Applications of Fruits and Vegetable Probiotics Characterization, *CyTA. Food.* 2019. Vol. 17. P. 770–780.
6. Vitali B., Minervini G., Rizzello C.G., Spisni E., Maccaferri S., Brigidi P. Novel Probiotic Candidates for Humans Isolated from Raw Fruits and Vegetables. *Food Microbiol.* 2012. Vol. 31. P. 116–125.

7. Kandyli P., Pissaridi K., Bekatorou A., Kanellaki M., Koutinas A.A. Dairy and Non-Dairy Probiotic Beverages. *Curr. Opin. Food Sci.* 2016. Vol. 7. P. 58–63.
8. Ranadheera C.S., Vidanarachchi J.K., Rocha R.S., Cruz A.G., Ajlouni S. Probiotic Delivery through Fermentation: Dairy vs. Non-Dairy Beverages. *Fermentation*. 2017. Vol. 3. P. 67.
9. Ephrem E., Najjar A., Charcosset C., Greige-Gerges H. Encapsulation of Natural Active Compounds, Enzymes, and Probiotics for Fruit Juice Fortification, Preservation, and Processing: An Overview. *J. Funct. Foods*. 2018. Vol. 48. P. 65–84.
10. Horáková Š., Rokytová K., Bialasová K., Klojdová I. Fruit Juices with Probiotics—New Type of Functional Foods. *Czech J. Food Sci.* 2018. Vol. 36. P. 284–288.
11. Zheng J., Wittouck S., Salvetti E., Franz C.M., Harris H.M. Taxonomic Note on the Genus *Lactobacillus*: Description of 23 Novel Genera, Emended Description of the Genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and Union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2020. Vol. 70. P. 2782–2858.
12. Pontonio E., Montemurro M., Pinto D., Marzani B., Trani A. Lactic Acid Fermentation of Pomegranate Juice as a Tool to Improve Antioxidant Activity. *Front. Microbiol.* 2019. Vol. 10. P. 2345.
13. Plessas S., Nouska C., Karapetsas A., Kazakos S., Alexopoulos A. Characterization and Evaluation of the Probiotic Potential of a Novel *Lactobacillus* Strain Isolated from Feta-Type Cheese. *Food Chem.* 2017. Vol. 226. P. 102–108.
14. Snyder A.B., Worobo R.W. The Incidence and Impact of Microbial Spoilage in the Production of Fruit and Vegetable Juices as Reported by Juice Manufacturers. *Food Control*. 2018. Vol. 85. P. 144–150.
15. Panitsa A., Petsi T., Kandyli P., Kanellaki M., Koutinas A.A. Tubular Cellulose from Orange Juice By-Products as Carrier of Chemical Preservatives; Delivery Kinetics and Microbial Stability of Orange Juice. *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 1882.
16. Filannino P., Tlais A.Z., Morozova K. Lactic Acid Fermentation Enriches the Profile of Biogenic Fatty Acid Derivatives of Avocado Fruit (*Persea Americana* Mill.). *Food Chem.* 2020. Vol. 317. P. 126384.
17. Ricci A., Cirilini M., Levante A., Dall'Asta C., Galaverna G., Lazzi C. Volatile Profile of Elderberry Juice: Effect of Lactic Acid Fermentation Using *L. Plantarum*, *L. Rhamnosus* and *L. Casei* Strains. *Food Res. Int.* 2018. Vol. 105. P. 412–422.
18. Di Cagno R., Filannino P., Gobbetti M. Lactic Acid Fermentation Drives the Optimal Volatile Flavor-Aroma Profile of Pomegranate Juice. *Int. J. Food Microbiol.* 2017. Vol. 248. P. 56–62.
19. Kwaw E., Ma Y., Tchabo W., Apaliya M.T., Wu M., Sackey A.S. Effect of *Lactobacillus* Strains on Phenolic Profile, Color Attributes and Antioxidant Activities of Lactic-Acid-Fermented Mulberry Juice. *Food Chem.* 2018. Vol. 250. P. 148–154.
20. Valero-Cases E., Nuncio-Jáuregui N., Frutos M.J. Influence of Fermentation with Different Lactic Acid Bacteria and *in vitro* Digestion on the Biotransformation of Phenolic Compounds in Fermented Pomegranate Juices. *Agric. Food Chem.* 2017. Vol. 65. P. 6488–6496.
21. Mantzourani I., Kazakos S., Terpou A., Alexopoulos A. Potential of the Probiotic *Lactobacillus Plantarum* ATCC 14917 Strain to Produce Functional Fermented Pomegranate Juice. *Foods*. 2019. Vol. 8. P. 4.
22. Mantzourani I., Terpou A., Bekatorou A., Mallouchos A., Alexopoulos A., Kimbaris A. Functional Pomegranate Beverage Production by Fermentation with a Novel Synbiotic *L. Paracasei* Biocatalyst. *Food Chem.* 2020. Vol. 308. P. 125658.
23. Mantzourani I., Terpou A., Alexopoulos A., Bezirtzoglou E., Bekatorou A., Plessas S. Production of a Potentially Synbiotic Fermented Cornelian Cherry (*Cornus Mas* L.) Beverage Using *Lactobacillus Paracasei* K5 Immobilized on Wheat Bran. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2019. Vol. 17. P. 347–351.
24. Vergara C.M.d.A.C., Honorato T.L., Maia G.A., Rodrigues S. Prebiotic Effect of Fermented Cashew Apple (*Anacardium Occidentale* L.) Juice. *LWT-Food Sci. Technol.* 2010. Vol. 43. P. 141–145.
25. de Godoy Alves Filho E., Rodrigues T.H.S., Fernandes F.A.N., Pereira A.L.F. Chemometric Evaluation of the Volatile Profile of Probiotic Melon and Probiotic Cashew Juice. *Food Res. Int.* 2017. Vol. 99. P. 461–468.
26. Mantzourani I., Bontsidis C.A., Plessas S., Alexopoulos A. Comparative Susceptibility Study against Pathogens Using Fermented Cranberry Juice and Antibiotics. *Front. Microbiol.* 2019. Vol. 10. P. 1294.
27. Chen C., Lu Y., Yu H., Chen Z., Tian H. Influence of 4 Lactic Acid Bacteria on the Flavor Profile of Fermented Apple Juice. *Food Biosci.* 2019. Vol. 27. P. 30–36.
28. Li Z., Teng J., Lyu Y., Hu X., Zhao Y., Wang M. Enhanced Antioxidant Activity for Apple Juice Fermented with *Lactobacillus Plantarum* ATCC14917. *Molecules*. 2019. Vol. 24. P. 51.
29. Li T., Jiang T., Liu N., Wu C., Xu H., Lei H. Biotransformation of Phenolic Profiles and Improvement of Antioxidant Capacities in Jujube Juice by Select Lactic Acid Bacteria. *Food Chem.* 2021. Vol. 339. P. 127859.
30. Nayak B.S., Marshall J.R., Isitor G., Adogwa A. Hypoglycemic and Hepatoprotective Activity of Fermented Fruit Juice of *Morinda Citrifolia* (Noni) in Diabetic Rats. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2010. Vol. 2011.
31. Zhao M.-N., Zhang F., Zhang L., Liu B.-J., Meng X.-H. Mixed Fermentation of Jujube Juice (*Ziziphus Jujuba* Mill.) with *L. Rhamnosus* GG and *L. Plantarum*-1: Effects on the Quality and Stability. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2019. Vol. 54. P. 2624–2631.
32. Shubhada N., Rudresh D.L., Jagadeesh S.L., Prakash D.P., Raghavendra S. Fermentation of Pomegranate Juice by Lactic Acid Bacteria. *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* 2018. Vol. 7. P. 4160–4173.
33. Muhiyaldin B.J., Kadum H., Hussin A.S.M. Metabolomics Profiling of Fermented Cantaloupe Juice and the Potential Application to Extend the Shelf Life of Fresh Cantaloupe Juice for Six Months at 8 C. *Food Control*. 2021. Vol. 120. P. 107555.
34. Verón H.E., Cano P.G., Fabersani E., Sanz Y., Isla M.I. Cactus Pear (*Opuntia Ficus-Indica*) Juice Fermented with Autochthonous *Lactobacillus Plantarum* S-811. *Food Funct.* 2019. Vol. 10. P. 1085–1097.
35. Srisukchayakul P., Charalampopoulos D., Karatzas K.A. Study on the Effect of Citric Acid Adaptation toward the Subsequent Survival of *Lactobacillus Plantarum* NCIMB 8826 in Low PH Fruit Juices during Refrigerated Storage. *Food Res. Int.* 2018. Vol. 111. P. 198–204.
36. Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics Consensus Statement on the Scope and Appropriate Use of the Term Probiotic. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2014. Vol. 11. P. 506–514.
37. Papadimitriou K., Alegria Á., Bron P.A., De Angelis M., Gobbetti M. Stress Physiology of Lactic Acid Bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2016. Vol. 80. P. 837–890.
38. Bucka-Kolendo J., Sokolowska B. Lactic Acid Bacteria Stress Response to Preservation Processes in the Beverage and Juice Industry. *Acta Biochim. Pol.* 2017. Vol. 64. P. 459–464.
39. Gaucher F., Bonnassie S., Rabah H., Marchand P., Blanc P., Jeantet R., Jan G. Adaptation of Beneficial Protonibacteria, *Lactobacilli*, and *Bifidobacteria* Improves Tolerance toward Technological and Digestive Stresses. *Front. Microbiol.* 2019. Vol. 10. P. 841.
40. Colín-Cruz M.A., Pimentel-González D.J., Carrillo-Navas H., Alvarez-Ramírez J., Guadarrama-Lezama A.Y. Co-Encapsulation of Bioactive Compounds from Blackberry Juice and Probiotic Bacteria in Biopolymeric Matrices. *LWT* 2019. Vol. 110. P. 94–101.
41. Dimitrellou D., Kandyli P., Lević S., Petrović T., Ivanović S., Nedović V., Kourkoutas Y. Encapsulation of *Lactobacillus Casei* ATCC 393 in Alginate Capsules for Probiotic Fermented Milk Production. *LWT* 2019. Vol. 116. P. 108501.
42. Sarao L.K., Arora M. Probiotics, Prebiotics, and Microencapsulation: A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017. Vol. 57. P. 344–371.
43. Racioppo A., Corbo M.R., Piccoli C., Sinigaglia M., Speranza B., Bevilacqua A. Ultrasound Attenuation of *Lactobacilli* and *Bifidobacteria*: Effect on Some Technological and Probiotic Properties. *Int. J. Food Microbiol.* 2017. Vol. 243. P. 78–83.

44. Bevilacqua A., Casanova F.P., Petrucci L., Sinigaglia M., Corbo M.R. Using Physical Approaches for the Attenuation of Lactic Acid Bacteria in an Organic Rice Beverage. *Food Microbiol.* 2016. Vol. 53. P. 1–8.
45. Gawkowski D., Chikindas M.L. Non-Dairy Probiotic Beverages: The next Step into Human Health. *Benef. Microbes.* 2013. Vol. 4. P. 127–142.
46. Perricone M., Corbo M.R., Sinigaglia M., Speranza B., Bevilacqua A. Viability of *Lactobacillus Reuteri* in Fruit Juices. *J. Funct. Foods.* 2014. Vol. 10. P. 421–426.
47. Mantzourani I., Chondrou P., Bontsidis C., Karolidou K., Terpou A. Assessment of the Probiotic Potential of Lactic Acid Bacteria Isolated from Kefir Grains: Evaluation of Adhesion and Antiproliferative Properties in *in Vitro* Experimental Systems. *Ann. Microbiol.* 2019. Vol. 69. P. 751–763.
48. Terpou A., Papadaki A., Lappa I.K., Kachrimanidou V., Bosnea L.A., Kopsahelis N. Probiotics in Food Systems: Significance and Emerging Strategies towards Improved Viability and Delivery of Enhanced Beneficial Value. *Nutrients.* 2019. Vol. 11. P. 1591.
49. Arellano K., Vazquez J., Park H., Lim J. Ji, Y., Kang H.-J., Cho D. Safety Evaluation and Whole-Genome Annotation of *Lactobacillus Plantarum* Strains from Different Sources with Special Focus on Isolates from Green Tea. *Probiotics Antimicrob. Proteins.* 2020. Vol. 12. P. 1057–1070.
50. Szutowaska J. Functional Properties of Lactic Acid Bacteria in Fermented Fruit and Vegetable Juices: A Systematic Literature Review. *Eur. Food Res. Technol.* 2020. Vol. 246. P. 357–372.
51. Wang Q., Sun Q., Wang J., Qiu X., Qi R., Huang J. *Lactobacillus Plantarum* 299v Changes miRNA Expression in the Intestines of Piglets and Leads to Downregulation of LITAF by Regulating Ssc-MiR-45 Probiotics Antimicrob. Proteins. 2021. P. 1–13.
52. Oh Y.J., Kim T.S., Moon H.W., Lee S.Y., Ji G.E., Hwang K.T. *Lactobacillus Plantarum* PMO 08 as a Probiotic Starter Culture for Plant-Based Fermented Beverages. *Molecules.* 2020. Vol. 25. P. 5056.
53. Behera S.S., Ray R.C., Zdolec N. *Lactobacillus Plantarum* with Functional Properties: An Approach to Increase Safety and Shelf-Life of Fermented Foods. *BioMed Res. Int.* 2018. P. 23.
54. Wang S.-Y., Zhu H.-Z., Lan Y.-B., Liu R.-J., Liu Y.-R., Zhang B.-L., Zhu B.-Q. Modifications of Phenolic Compounds, Biogenic Amines, and Volatile Compounds in Cabernet Gernishet Wine through Malolactic Fermentation by *Lactobacillus Plantarum* and *Oenococcus Oeni*. *Fermentation.* 2020. Vol. 6 (15).
55. Lanza B., Zago M., Di Marco S., Di Loreto G., Cellini M., Tidona F., Bonvini B., Bacchi M., Simone N. Single and Multiple Inoculum of *Lactiplantibacillus Plantarum* Strains in Table Olive Lab-Scale Fermentations. *Fermentation.* 2020. Vol. 6. P. 126.
56. Campaniello D., Speranza B., Bevilacqua A., Altieri C., Rosaria Corbo M., Sinigaglia M. Industrial Validation of a Promising Functional Strain of *Lactobacillus Plantarum* to Improve the Quality of Italian Sausages. *Microorganisms.* 2020. Vol. 8. P. 116.
57. Alemneh S.T., Emire S.A., Hitzmann B. Teff-Based Probiotic Functional Beverage Fermented with *Lactobacillus Rhamnosus* and *Lactobacillus Plantarum*. *Foods.* 2021. Vol. 10. P. 2333.
58. Ibrahim F., Ouwehand A.C. The Genus *Lactobacillus*. *Lact. Acid Bact. Microbiol. Funct. Asp.* 2019. Vol. 47. P. 23.
59. Prete R., Long S.L., Joyce S.A., Corsetti A. Genotypic and Phenotypic Characterization of Food-Associated *Lactobacillus Plantarum* Isolates for Potential Probiotic Activities. *FEMS Microbiol. Lett.* 2020. Vol. 367. fnaa076.
60. Shahidi F., Peng H. Bioaccessibility and Bioavailability of Phenolic Compounds. *J. Food Bioact.* 2018. Vol. 4. P. 11–68.
61. Park J.-B., Lim S.-H., Sim H.-S., Park J.-H., Kwon H.-J. Changes in Antioxidant Activities and Volatile Compounds of Mixed Berry Juice through Fermentation by Lactic Acid Bacteria. *Food Sci. Biotechnol.* 2017. Vol. 26. P. 441–446.
62. Huang R. An Overview of the Perception and Mitigation of Astringency Associated with Phenolic Compounds. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2021. Vol. 20. P. 1036–1074.
63. Al-Tawaha R., Meng C. Potential Benefits of *Lactobacillus Plantarum* as Probiotic and Its Advantages in Human Health and Industrial Applications: A Review. *Adv. Environ. Biol.* 2018. Vol. 12. P. 16–27.
64. Li P., Li X., Gu Q., Lou X., Zhang X., Song D., Zhang C. Comparative Genomic Analysis of *Lactobacillus Plantarum* ZJ316 Reveals Its Genetic Adaptation and Potential Probiotic Profiles. *Li J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 2016. Vol. 17. P. 569–579.
65. Moradi M.A., Guimarães J.T. Review on Preparation and Chemical Analysis of Postbiotics from Lactic Acid Bacteria. *Enzym. Microb. Technol.* 2021. Vol. 143. P. 109722.
66. Kumar N., Goel N. Phenolic Acids: Natural Versatile Molecules with Promising Therapeutic Applications. *Biotechnol. Rep.* 2019. Vol. 24. e00370.
67. Putnik P., Pavlić B., Šojić B., Zavadlav S., Žuntar I., Kao L., Kitionić D., Kovačević D.B. Innovative Hurdle Technologies for the Preservation of Functional Fruit Juices. *Foods.* 2020. Vol. 9. P. 699.
68. Tanganurat P. Probiotics Encapsulated Fruit Juice Bubbles as Functional Food Product. *Cell.* 2020. Vol. 4. P. 5.
69. Zhu W., Lyu F., Naumovski N., Ajlouni S., Ranadheera C.S. Functional Efficacy of Probiotic *Lactobacillus Sanfranciscensis* in Apple, Orange and Tomato Juices with Special Reference to Storage Stability and *In Vitro* Gastrointestinal Survival. *Beverages.* 2020. Vol. 6. P. 13.
70. Mantzourani I., Nouska C., Terpou A., Alexopoulos A., Bezirtzoglou E. Production of a Novel Functional Fruit Beverage Consisting of Cornelian Cherry Juice and Probiotic Bacteria. *Antioxidants.* 2018. Vol. 7. P. 163.
71. Mantzourani I., Nouska C., Terpou A., Alexopoulos A., Bezirtzoglou E. Fermented Sweet Lemon Juice (*Citrus Limetta*) Using *Lactobacillus Plantarum* LS5: Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities. *J. Funct. Foods.* 2017. Vol. 38. P. 409–414.
72. Mantzourani I., Nouska C., Terpou A., Alexopoulos A., Bezirtzoglou E. Fermentation of Blueberry and Blackberry Juices Using *Lactobacillus Plantarum*, *Streptococcus Thermophilus* and *Bifidobacterium Bifidum*: Growth of Probiotics, Metabolism of Phenolics, Antioxidant Capacity *In Vitro* and Sensory Evaluation. *Food Chem.* 2021. Vol. 348. P. 129083.
73. Hossain M.A., Hoque M.M., Hossain M.M., Kabir M.H., Yasin M., Islam M.A. Biochemical, Microbiological and Organoleptic Properties of Probiotic Pineapple Juice Developed by Lactic Acid Bacteria. *Journal of Scientific Research.* 2020. Vol. 12 (4). P. 743–750. DOI: 10.3329/jsr.v12i4.46179.
74. Wu Y., Li S., Tao Y., Li D., Han Y., Show P.L., Wen G., Zhou J. Fermentation of blueberry and blackberry juices using *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus thermophilus* and *Bifidobacterium bifidum*: Growth of probiotics, metabolism of phenolics, antioxidant capacity *in vitro* and sensory evaluation. *Food Chem.* 2021. Jun 30. № 348. P. 129083. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129083.
75. Yang J., Sun Y., Gao T., Wu Y., Sun H., Zhu Q., Liu C., Zhou C., Han Y. and Tao Y. Fermentation and Storage Characteristics of “Fuji” Apple Juice Using *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum*: Microbial Growth, Metabolism of Bioactives and *in vitro* Bioactivities. *Front. Nutr.* 2022. № 9. P. 833906. DOI: 10.3389/fnut.2022.833906.
76. Dey G. Non-Dairy Probiotic Foods: Innovations and Market Trends. In *Innovations in Technologies for Fermented Food and Beverage Industries*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 2018. P. 159–173.

УДК 57:616.12-009.86

РОЛЬ ЭНДОТЕЛИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ В РЕГУЛЯЦИИ ФУНКЦИЙ ПОЧЕК И АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

^{1,2}Чаулин А.М., ¹Григорьева Ю.В., ¹Суворова Г.Н.

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара,

e-mail: alekseymichailovich22976@gmail.com;

²ГБУЗ «Самарский областной клинический кардиологический диспансер», Самара,

e-mail: alekseymichailovich22976@gmail.com

В последнее время эндотелиновая система, состоящая из трех основных пептидов (ЕТ-1, ЕТ-2, ЕТ-3) и двух типов рецепторов (ЕТА и ЕТВ), рассматривается в качестве одного из ключевых регуляторов функций почек и артериального давления, поддержание которых имеет жизненно важную роль для организма человека. Понимание точной роли и регуляторных механизмов эндотелиновой системы является фундаментом для улучшения диагностических и лечебных подходов при ведении пациентов, страдающих артериальной гипертензией и почечными патологиями. Цель данной статьи заключается в систематизации информации о роли эндотелиновых рецепторов в регуляции функции почек и артериального давления. Для достижения поставленной цели проведен анализ зарубежной литературы по базам данных Embase и Pubmed. По результатам проведенного анализа литературы выявлено, что эндотелиновая система играет важную роль в регуляции функции почек и артериального давления, контролируя водно-солевой гомеостаз организма и тонус (диаметр просвета) артериальных сосудов. Нарушение регуляторных эффектов эндотелиновой системы способствует развитию артериальной гипертензии. Кроме того, эндотелиновая система участвует в патогенезе почечных заболеваний. Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения и уточнения молекулярных механизмов регуляции функций почек и артериального давления, что поможет разработать новые группы лекарственных препаратов для лечения заболеваний почек и артериальной гипертензии.

Ключевые слова: обзор литературы, артериальное давление, эндотелиновые рецепторы, вазопрессия, эндотелин-1, натрийурез, циркадные ритмы

THE ROLE OF ENDOTHELIN RECEPTORS IN THE REGULATION OF KIDNEY FUNCTION AND BLOOD PRESSURE

^{1,2}Chaulin A.M., ¹Grigoreva Yu.V., ¹Suvorova G.N.

¹Samara State Medical University, Samara, e-mail: alekseymichailovich22976@gmail.com;

²Samara Regional Clinical Cardiological Dispensary, Samara,

e-mail: alekseymichailovich22976@gmail.com

Recently, the endothelin system consisting of three main peptides (ET-1, ET-2, ET-3) and two types of receptors (ETA and ETB) has been considered as one of the key regulators of kidney function and blood pressure, the maintenance of which has a vital role for the human body. Understanding the exact role and regulatory mechanisms of the endothelin system is the foundation for improving diagnostic and therapeutic approaches in the management of patients suffering from hypertension and renal pathologies. The purpose of this article is to systematize information about the role of endothelin receptors in the regulation of kidney function and blood pressure. To achieve this goal, the analysis of foreign literature on Embase and Pubmed databases was carried out. According to the results of the literature analysis, it was revealed that the endothelin system plays an important role in the regulation of kidney function and blood pressure, controlling the body's water-salt homeostasis and the tone (diameter of the lumen) of arterial vessels. Violation of the regulatory effects of the endothelin system contribute to the development of arterial hypertension. In addition, the endothelin system is involved in the pathogenesis of renal diseases. Further studies are needed to confirm and clarify the molecular mechanisms of regulation of kidney function and blood pressure, which will help to develop new groups of drugs for the treatment of kidney diseases and hypertension.

Keywords: literature review, blood pressure, endothelin receptors, vasopression, endothelin-1, natriuresis, circadian rhythms

Регуляция функций почек и артериального давления имеет жизненно важную роль для организма человека, в связи с чем усилия многих исследователей направлены на открытие новых регуляторных молекул и изучения их конкретной физиологической роли. Тесная связь функционального состояния почек и артериального давления известна давно. Так, при ослаблении функции почек отмечается нарастание объема циркулирующей крови, что приводит к повы-

шению артериального давления [1]. В свою очередь, высокое артериальное давление приводит к усилению скорости клубочковой фильтрации и повышению диуреза, что способствует снижению объема циркулирующей крови и нормализации артериального давления. Процессы регуляции артериального давления и диуреза могут нарушаться, что лежит в основе ряда опасных патологических состояний: артериальная гипертензия, атеросклеротические формы сердеч-

но-сосудистых заболеваний (ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда) сердечная недостаточность, гломерулопатии, хроническая болезнь почек (ХБП) и др. [2–4]. Благодаря достижениям методов молекулярной биологии и биохимии в последнее время было открыто множество пептидов, мишенями которых являются клетки почек и сосудов. К числу наиболее значимых регуляторных пептидов относятся молекулы эндотелинов и их рецепторов, которые образуют эндотелиновую систему.

Эндотелиновая система оказывает глубокое влияние как на сосудистую, так и на канальцевую функцию почек и играет ключевую роль в контроле потребления соли и воды. В дополнение к эндотелиальным клеткам, из которых первоначально был выделен эндотелин-1 (ЕТ-1), было показано, что большинство типов клеток в почках продуцируют и связывают ЕТ-1, причем эпителиальные клетки почечных канальцев, особенно внутреннего медуллярного собирательного протока, имеют большое значение [5]. Из трех эндотелиновых пептидов (ЕТ-1, ЕТ-2 и ЕТ-3) ЕТ-1 обычно рассматривается как основная циркулирующая форма, она была наиболее широко изучена. Однако следует отметить, что как ЕТ-1, так и ЕТ-3 продуцируются канальцевыми клетками и могут способствовать внутрипочечному действию эндотелиновой системы [5]. Данные об экспрессии ЕТ-2 менее обширны, но, по крайней мере на уровне мРНК, ЕТ-2, по-видимому, присутствует в почках большинства видов. Высвобождение эндотелинов из поляризованных клеток происходит аблюминально [6], что подчеркивает важность этой системы как паракринного/аутокринного модулятора функции почек.

Эндотелины действуют через два рецептора, связанных с G-белком, ЕТА и ЕТВ, которые высоко экспрессируются в почках. Экспрессия рецепторов ЕТВ преобладает в канальцевых эпителиальных клетках и, как правило, считается единственным рецептором эндотелина, экспрессируемым эндотелием, тогда как гладкие мышцы сосудов почек экспрессируют как рецепторы ЕТА, так и ЕТВ. Рецептор ЕТА связывает пептиды с разной силой сродства (ЕТ-1 ≥ ЕТ-2 ≥ ЕТ-3), а рецептор ЕТВ связывает все три пептида с аналогичным высоким сродством. Эти рецепторы задействуют множество внутриклеточных сигнальных путей специфичным для типа клетки образом [7, 8]. Так, рецепторы ЕТА и ЕТВ на гладкомышечных клетках сосудов увеличивают внутриклеточную концентрацию Ca²⁺ и вызывают сужение сосудов, что является доминирующим эффектом ЕТ-1 в большин-

стве сосудистых русел. Эндотелиальные рецепторы ЕТВ оказывают сосудорасширяющее влияние посредством выработки оксида азота (NO) и сосудорасширяющих простаноидов и эйкозаноидов. Рецептор ЕТВ также служит рецептором «клиренса» для эндотелинов, опосредуя их интернализацию и деградацию. Соответственно, фармакологическая блокада или дисфункция рецептора ЕТВ увеличивает доступность эндотелинов для связывания с рецептором ЕТА. Рецепторы ЕТВ, расположенные на канальцевых эпителиальных клетках, индуцируют сигнальные пути, конечным эффектом которых обычно является ингибирование реабсорбции соли и воды. Как продукция ЕТ-1, так и плотность рецепторов выше в мозговом веществе почек, чем в коре, при этом рецепторы ЕТВ преобладают, однако соотношения рецепторов ЕТА и ЕТВ различаются у разных видов [7, 8].

Цель данной статьи заключается в систематизации информации о роли эндотелиновых рецепторов в регуляции функции почек и артериального давления.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели нами проведен анализ зарубежной литературы по базам данных Embase и PubMed. В общей сложности было проанализировано порядка 130 опубликованных литературных источников.

Результаты исследования и их обсуждение

ЕТ-1 как мощный сосудосуживающий медиатор для почек

ЕТ-1 уже давно был признан мощным сосудосуживающим медиатором [9], и сосудистая сеть почек чрезвычайно чувствительна к его действию [10]. Примечательно, что вазоконстрикция почечных сосудов в ответ на ЕТ-1 необычайно длительно по сравнению с другими вазоконстрикторами, такими как ангиотензин II, который вызывает временное снижение почечного кровотока при болюсном введении. В качестве возможного объяснения было предложено необратимое связывание ЕТ-1 с его рецепторами, но другое исследование показало, что ЕТ-1 индуцирует дифосфорилирование регуляторной легкой цепи миозина в афферентных артериолах с последующим более медленным дефосфорилированием этого белка, потенциально опосредующим длительную вазоконстрикцию, индуцированную ЕТ-1 [10]. Есть некоторые доказательства того, что кальцитонин-ген-родственный пептид (КГРП) может служить физиоло-

гическим антагонистом связывания ЕТА-рецептора ЕТ-1 в почечном и некоторых других сосудистых руслах, что позволяет остановить сокращение гладкомышечных сосудистых клеток и, соответственно, уменьшить вазоконстрикцию [11]. Чувствительность сосудистой сети почек к сосудосуживающему действию ЕТ-1 может способствовать развитию артериальной гипертензии, а также модулируется высоким потреблением соли.

В отличие от выраженных сосудосуживающих эффектов эндотелина на почечный кортикальный и общий почечный кровоток, болюсная инъекция ЕТ-1 крысам и кроликам вызывает временное опосредованное рецептором ЕТВ увеличение мозгового кровотока в почках [12]. Значение этого медуллярного сосудорасширяющего влияния эндотелина заключается в концепции, отстаиваемой А. Cowley et al [13], что гемодинамические изменения в мозговом кровообращении почек (либо шунтирование кровотока из коры в мозговое вещество, либо относительно плохая ауторегуляция мозговой микроциркуляции в ответ на повышение артериального давления) лежат в основе механизма «давление – натрийурез», при котором повышенный мозговой кровоток увеличивает интерстициальное гидростатическое давление и способствует выведению солей и воды. Система эндотелина особенно хорошо подходит для того, чтобы служить усилителем этого механизма, при этом этот паракринный/аутокринный медиатор вырабатывается и способен воздействовать как на канальцевые, так и на сосудистые элементы мозгового вещества почек, что позволяет осуществлять перекрестные взаимодействия. Важно отметить, что ЕТ-1, полученный из собирательных протоков, регулирует активность синтазы оксида азота (NOS) в мозговом веществе таким образом, что выработка NO, которая имеет решающее значение для регуляции давления, ослабевает, что приводит к ослаблению натрийуреза у мышей с нокаутом ЕТ-1, специфичным для собирательных протоков [14]. Относительная резистентность к индуцированной ЕТ-1 медуллярной вазоконстрикции также, по-видимому, способствует большей опосредованной ЕТ-1 диуретической и натрийуретической реакциям у самок крыс по сравнению с самцами [15]. Активация рецепторов ЕТ на канальцевых эпителиальных клетках ингибирует реабсорбцию жидкости [5], и поэтому медуллярная эндотелиновая система обеспечивает координацию сосудистых и канальцевых действий для стимулирования выведения соли и воды *in vivo*.

ЕТ-1 в почечных клубочках

Клубочковая экспрессия ЕТ-1 повышается при различных заболеваниях почек. В дополнение к стимулированию пролиферации мезангиальных клеток и способности изменять СКФ посредством воздействия на предгломерулярные и постгломерулярные микрососуды [5], недавние исследования показывают, что ЕТ-1 через рецептор ЕТА напрямую увеличивает проницаемость клубочков для альбумина. Это было продемонстрировано с использованием изолированных клубочков *ex vivo* [16] и с использованием двухфотонной микроскопии *in vivo* [17]. Двухфотонная микроскопия также показала, что отфильтрованный альбумин поглощается проксимальными канальцами, обеспечивая дополнительное патологическое действие эндотелина, поскольку ряд исследований показывают, что повышенное поглощение альбумина проксимальными канальцами оказывает повреждающее действие. Другое недавнее исследование продемонстрировало, что хроническая инфузия субпрессорной дозы ЕТ-1 увеличивает окислительный стресс в клубочках и что высокое потребление соли усиливает экспрессию ЕТ-1 в эндотелиальных клетках клубочков и окислительный стресс в клубочках через рецепторы ЕТА [18]. Два недавних исследования клеток подоцитов показали, что, во-первых, активация рецептора ЕТА способствует фенотипическим изменениям в подоцитах до более мезенхимального состояния, и это может способствовать образованию гиперпластического поражения [19], а во-вторых, специфичный для подоцитов нокаут рецепторов ЕТА и ЕТВ защищает мышей от вызванного диабетом повреждения клубочков и потери подоцитов [20]. Вместе эти результаты расширяют наше понимание механизмов, с помощью которых эндотелиновая система способствует развитию протеинурических заболеваний почек.

В дополнение к опосредованному повреждению клубочков эндотелины, действующие преимущественно через рецептор ЕТА, также участвуют в повреждении почечной паренхимы, приводящем к прогрессированию хронической болезни почек (ХБП). Было показано, что на модели реноваскулярного заболевания свиней блокада рецептора ЕТА в значительной степени предотвращает или обращает вспять микрососудистое повреждение, фиброз и атрофию стенозированной почки, а также улучшает перфузию и функцию почек [21].

*Роль эндотелина
в регуляции диуреза и натрийуреза*

Преобладающий канальцевый эффект эндотелинов заключается в противодействии реабсорбции соли и воды, способствуя диурезу и натрийурезу [5, 21]. Собирательный проток является ключевым местом для этого эффекта, что подтверждается задержкой натрия и чувствительностью к соли кровяного давления в результате удаления ET-1 из клеток собирательного протока. Удаление рецепторов ETB из клеток собирательного протока также способствует развитию чувствительной к соли гипертензии [5]. Это открытие, вполне вероятно, отражает существование важного паракринного действия ET-1 в собирательных протоках. Работы за последние несколько лет показывают, что множественные, преимущественно опосредованные рецептором ETB сигнальные пути снижают активность эпителиального натриевого канала (ENaC) в собирательном протоке, а также повышают деградацию ENaC [22]. Кроме того, ET-1 снижает чувствительность собирательных протоков к действию аргинина-вазопрессина, который усиливает реабсорбцию воды [22]. Считается, что толстая восходящая часть петли Генле также способствует пронатрийуретическим эффектам эндотелинов посредством ET-1 через рецепторы ETB, способствующие выработке оксида азота (NO), однако конкретный механизм данного влияния пока не изучен [23].

Синергизм между канальцевым и сосудистым эффектами эндотелинов в стимулировании выведения соли и воды особенно очевиден в условиях высокого потребления соли. Опубликованные данные показывают, что выработка и высвобождение ET-1 почками увеличиваются в ответ на высокое потребление соли [24]. Исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что увеличение осмолярности может служить сигналом для увеличения выработки и высвобождения эндотелина и усиления регуляции критических нижестоящих медиаторов в мозговом веществе почки, таких как NOS3 [23]. Недавние исследования сосредоточились на напряжении сдвига, возникающем при увеличении потока в трубах, в качестве стимула для выработки ET-1 в почечных канальцах. Увеличенный поток сам по себе увеличивает выработку ET-1 в собирательном канале [24]. Более того, усиленная канальцевая доставка натрия, ENaC-опосредованный вход натрия и митохондриальный обмен Na-Ca²⁺ также способствуют синтезу ET-1 в собирательном канале [25]. Высокое потребление

соли усиливает расширение сосудов и уменьшает сужение сосудов юкстамедуллярных эфферентных артериол в ответ на ET-1, а также усиливает реакцию мозгового кровотока на пептид-предшественник ET-1. Эти эффекты усиливают прямое ET-1-опосредованное ингибирование реабсорбции канальцевой жидкости.

Недавние исследования показывают, что рецептор ETA также играет роль в усвоении почками соли и воды, способствуя феномену задержки жидкости, наблюдаемому у пациентов, получающих антагонисты рецептора ETA. Экспрессия рецептора ETA в канальцах низкая по сравнению с рецептором ETB [5]. Недавнее исследование продемонстрировало, что рецепторы ETA могут способствовать ингибирующему действию ET-1 на активность ENaC и реабсорбцию натрия кортикальным собирательным протоком [26]. При разрушении рецептора ETA по всему нефрону взрослых мышей отмечалась небольшая задержка жидкости в организме, которую было легче обнаружить, когда мышей помещали на диету с высоким содержанием натрия [27]. Удаление рецепторов ETA из гладкомышечных клеток мышечной ткани обеспечивало защиту от задержки жидкости, индуцированной антагонистом рецептора ETA. Это исследование свидетельствует о том, что сосудорасширяющий эффект, возникающий в результате блокады рецептора ETA, также может способствовать задержке жидкости [28, 29]. Рецепторы ETA были вовлечены в натрийуретический эффект интрамедуллярной инфузии ET-1 у самок крыс [15], но было ли это опосредовано конкретно канальцевыми рецепторами ETA, неизвестно.

Что касается регуляции артериального давления, то вклад канальцевых рецепторов эндотелина также требует уточнения. В одном из исследований сообщалось, что ни клеточно-специфическая, ни полная делеция рецептора ETA в нефроне не влияют на кровяное давление ни при нормальной, ни при диете с высоким содержанием соли [27]. Однако комбинированная основная клеточная делеция как рецепторов ETA, так и ETB приводит к большему солезависимому повышению артериального давления, чем нокаут только рецепторов ETB [30]. Это может свидетельствовать о существовании функциональной кооперации и даже гетеродимеризации между рецепторами ETA и ETB, что подчеркивает возможность того, что рецепторы ETA могут играть более важную роль в условиях нарушения функции рецепторов ETB.

Циркадные ритмы эндотелина

Важность суточных колебаний артериального давления, подчеркнутая повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, наблюдаемых при так называемом «неснижении ночного артериального давления», в настоящее время хорошо известна. Также появляется все больше свидетельств того, что многие аспекты функции почек имеют циркадные колебания [31]. Недавние исследования начали давать представление о молекулярных механизмах, управляющих этими суточными ритмами, называемыми циркадными часами, и было показано, что эндотелиновая система находится под ее контролем, как в почках, так и в других органах [32]. Сам ген ET-1 является мишенью для часового белка Per1, который подавляет транскрипцию ET-1 в собирательном протоке. У мышей с нокаутом Per1 наблюдается повышение уровня ET-1 в почечной ткани [33]. Что касается суточных изменений, почечная мРНК ET-1 была высокой во время активной фазы и низкой во время неактивной фазы сна, что соответствует реципрокному паттерну экспрессии Per1, тогда как уровни пептида ET-1 были выше во время неактивной фазы [33]. мРНК рецепторов ETA и ETB также имеют суточные вариации в почках, которые, по-видимому, не зависят от Per1, причем ETA выше во время неактивной фазы, тогда как экспрессия рецептора ETB была выше в коре головного мозга во время неактивной фазы [32]. Per1 также усиливает экспрессию альфа-субъединицы ENaC [33], канала, который ингибируется ET-1 в собирательном протоке, что приводит к стимулированию натрийуреза. Соответственно, измененная функция циркадных часов может вызвать нарушение регуляции эндотелиновой системы, как внутри почек, так и за их пределами, что влияет на солевой и водный гомеостаз, а также контроль артериального давления.

Существуют клинические доказательства того, что циркадные ритмы в эндотелиновой системе изменяются и способствуют возникновению патологических состояний у людей. Например, недавно было показано, что нарушение нормальных суточных колебаний артериального давления у пациентов с ХБП по крайней мере частично связано с активацией эндотелиновой системы, при этом блокада рецептора ETA усиливает «ночное снижение» артериального давления [34]. По мере роста фундаментального научного понимания того, как циркадные часы регулируют эндотелиновую систему, несомненно, будет расти и наше понимание того, как измененная функция биоритмов

может способствовать возникновению различных заболеваний.

Эндотелин как фактор, влияющий на артериальную гипертензию

Вскоре после открытия эндотелина в сосудах интерес исследователей был обращен к потенциальной роли ET-1 в развитии гипертензии. На данный момент известно, что блокада рецептора ETA или обоих рецепторов ETA и ETB снижает кровяное давление у людей с гипертензией [35] и ослабляет или устраняет гипертензию на нескольких экспериментальных животных моделях гипертензии в результате инфузии ангиотензина II [36], крысах соль-чувствительной линии Даля и дезоксикортикостерон-индуцированной гипертензии [37], а также при других заболеваниях, таких как преэклампсия и системная красная волчанка [5].

На системном уровне повышенная экспрессия и высвобождение ET-1 в сосудах, приводящие к сочетанию вазоконстрикции и ремоделирования сосудов, увеличивая общее периферическое сопротивление, могут лежать в основе сосудистого вклада ET-1 в гипертензию [8]. Эти преимущественно опосредованные рецепторами ETA эффекты на сосудистую сеть сопровождаются окислительным стрессом, эндотелиальной дисфункцией и воспалением, а также сложными изменениями внутриклеточных сигнальных путей и наблюдались как на животных моделях, так и в биопсиях у людей с артериальной гипертензией [8]. Делеция ET-1 вызывает умеренное снижение артериального давления [38], а увеличение выработки ET-1 в сосудах может приводить к гипертензии. Кроме того, у мышей со сверхэкспрессией ET-1 в эндотелии наблюдалось ремоделирование сосудов, воспаление и окислительный стресс. При введении диеты с высоким содержанием соли сосудистый фенотип ухудшался, и у мышей с избыточной экспрессией ET-1 развивалась выраженная гипертензия, также подчеркивая роль ET-1 в формировании чувствительной к соли гипертензии [39].

Действия эндотелина вне почек, несомненно, могут способствовать развитию гипертензии, но внутрипочечные действия также, вероятно, играют более важную роль. Повышенная почечная мРНК ET-1 и повышенная экскреция ET-1 с мочой [40, 41] при гипертензивных состояниях являются убедительными доказательствами того, что почечная продукция ET-1 увеличивается при гипертензии. Также было обнаружено повышенное содержание пептида ET-1 в самой почке при артериальной гипертензии

[42]. Преимущественно действия, опосредованные рецептором ETA, были связаны с артериальной гипертензией. К ним относятся опосредованное рецептором ETA повышение сосудистого сопротивления почек в исследованиях как на животных, так и на людях [43–45]. ET-1 также может способствовать образованию активных форм кислорода в почках [46], а повышенные уровни ET-1 сами по себе способствуют воспалению почек через активацию рецептора ETA [47]. Кроме того, в настоящее время широко признано, что Т-клетки способствуют развитию гипертензии. Активация рецептора ETA увеличивает инфильтрацию коркового вещества почек мышцей Т-клетками при гипертензии, индуцированной ангиотензином II, а недавние исследования *in vitro* продемонстрировали, что активация рецептора ETA усиливает выработку CD4+ Т-клетками интерлейкина-17 (IL-17) [48], цитокина, который вовлечен в патогенез гипертензии [49]. Было выдвинуто предположение, что активация рецептора ETA может способствовать воспалению почек или инфильтрации паренхимы иммунными клетками через стресс эндоплазматического ретикулума [50], что является еще одним новым механизмом при гипертензии.

Заключение

Таким образом, эндотелиновая система играет важную роль в регуляции функции почек и артериального давления, контролируя водно-солевой гомеостаз организма и тонус (диаметр просвета) артериальных сосудов. Нарушение регуляторных эффектов эндотелиновой системы способствует развитию артериальной гипертензии. Кроме того, эндотелиновая система участвует в патогенезе почечных заболеваний, способствуя повреждению клубочков и прогрессированию хронической болезни почек. Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения и уточнения молекулярных механизмов регуляции функций почек и артериального давления, что поможет разработать новые группы лекарственных препаратов для лечения заболеваний почек и артериальной гипертензии.

Список литературы

1. Chaulin A. Clinical and Diagnostic Value of Highly Sensitive Cardiac Troponins in Arterial Hypertension. *Vasc Health Risk Manag.* 2021. Vol. 17. P. 431–443.
2. Чаулин А.М., Карслян Л.С., Григорьева Е.В., Нурбалтаева Д.А., Дупляков Д.В. Клинико-диагностическая ценность кардиомаркеров в биологических жидкостях человека // *Кардиология.* 2019. Т. 59. № 11. С. 66–75.
3. Chaulin A.M. Biology of Cardiac Troponins: Emphasis on Metabolism. *Biology (Basel).* 2022. Vol. 11. No 3. P. 429.

4. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В., Суворова Г.Н., Дупляков Д.В. Способы моделирования атеросклероза у кроликов // *Современные проблемы науки и образования.* 2020. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30101> (дата обращения: 10.07.2022).
5. Kohan D.E. Endothelin synthesis by rabbit renal tubule cells. *Am J Physiol.* 1991. Vol. 261 (2 Pt. 2). P. 221–226.
6. Raina R., Chauvin A., Vajapey R., Khare A., Krishnapa V. Endothelin-1 as a therapeutic target in autosomal dominant polycystic kidney disease. *Clin Nephrol.* 2019. Vol. 91. No. 6. P. 370–379.
7. Kohan D.E., Rossi N.F., Inscho E.W., Pollock D.M. Regulation of blood pressure and salt homeostasis by endothelin. *Physiol Rev.* 2011. Vol. 91. No. 1. P. 1–77.
8. Rautureau Y., Schiffrin E.L. Endothelin in hypertension: an update. *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 2012. Vol. 21. No. 2. P. 28–36. DOI: 10.1097/MNH.0b013e32834f0092.
9. Асфандияров Ф.Р., Ляшенко В.В., Полунина Е.А. Анализ уровня эндотелина-1 у больных доброкачественной гиперплазией предстательной железы с и без синдрома зависимости от алкоголя // *Современные проблемы науки и образования.* 2018. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27837> (дата обращения: 10.07.2022).
10. Takeya K., Wang X., Kathol I., Loutzenhiser K., Loutzenhiser R., Walsh M.P. Endothelin-1, but not angiotensin II, induces afferent arteriolar myosin diphosphorylation as a potential contributor to prolonged vasoconstriction. *Kidney Int.* 2015. Vol. 87. No. 2. P. 370–81.
11. Meens M.J., Mattheij N.J., Nelissen J., Lemkens P., Compeer M.G., Janssen B.J., De Mey J.G. Calcitonin gene-related peptide terminates long-lasting vasopressor responses to endothelin 1 in vivo. *Hypertension.* 2011. Vol. 58. No. 1. P. 99–106.
12. Guan Z., VanBeusecum J.P., Inscho E.W. Endothelin and the renal microcirculation. *Semin Nephrol.* 2015. Vol. 35. No. 2. P. 145–155.
13. Cowley A.W. Jr. Role of the renal medulla in volume and arterial pressure regulation. *Am J Physiol.* 1997. Vol. 273 (1 Pt. 2). P. R1–15.
14. Schneider M.P., Ge Y., Pollock D.M., Pollock J.S., Kohan D.E. Collecting duct-derived endothelin regulates arterial pressure and Na excretion via nitric oxide. *Hypertension.* 2008. Vol. 51. No. 6. P. 1605–1610.
15. Nakano D., Pollock D.M. Contribution of endothelin A receptors in endothelin 1-dependent natriuresis in female rats. *Hypertension.* 2009. Vol. 53. No. 2. P. 324–330.
16. Saleh M.A., Boesen E.I., Pollock J.S., Savin V.J., Pollock D.M. Endothelin-1 increases glomerular permeability and inflammation independent of blood pressure in the rat. *Hypertension.* 2010. Vol. 56. No. 5. P. 942–949.
17. Saleh M.A., Sandoval R.M., Rhodes G.J., Campos-Bilderback S.B., Molitoris B.A., Pollock D.M. Chronic endothelin-1 infusion elevates glomerular sieving coefficient and proximal tubular albumin reuptake in the rat. *Life Sci.* 2012. Vol. 91. No. 13–14. P. 634–637.
18. Heimlich J.B., Speed J.S., Bloom C.J., O'Connor P.M., Pollock J.S., Pollock D.M. ET-1 increases reactive oxygen species following hypoxia and high-salt diet in the mouse glomerulus. *Acta Physiol (Oxf).* 2015. Vol. 213. No. 3. P. 722–730.
19. Buelli S., Rosanò L., Gagliardini E., Corna D., Longaretti L., Pezzotta A., Perico L., Conti S., Rizzo P., Novelli R., Morigi M., Zoja C., Remuzzi G., Bagnato A., Benigni A. β -arrestin-1 drives endothelin-1-mediated podocyte activation and sustains renal injury. *J Am Soc Nephrol.* 2014. Vol. 25. No. 3. P. 523–533.
20. Lenoir O., Milon M., Virsolvy A., Hénique C., Schmitt A., Massé J.M., Kotelevtsev Y., Yanagisawa M., Webb D.J., Richard S., Tharaux P.L. Direct action of endothelin-1 on podocytes promotes diabetic glomerulosclerosis. *J Am Soc Nephrol.* 2014. Vol. 25. No. 5. P. 1050–1062.

21. Chade A.R., Stewart N.J., Peavy P.R. Disparate effects of single endothelin-A and -B receptor blocker therapy on the progression of renal injury in advanced renovascular disease. *Kidney Int.* 2014. Vol. 85. No. 4. P. 833–844.
22. Kohan D.E. Role of collecting duct endothelin in control of renal function and blood pressure. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2013. Vol. 305. No. 7. P. R659–668.
23. Herrera M., Hong N.J., Ortiz P.A., Garvin J.L. Endothelin-1 inhibits thick ascending limb transport via Akt-stimulated nitric oxide production. *J Biol Chem.* 2009. Vol. 284. No. 3. P. 1454–1460.
24. Lyon-Roberts B., Strait K.A., van Peurse E., Kittikusuth W., Pollock J.S., Pollock D.M., Kohan D.E. Flow regulation of collecting duct endothelin-1 production. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2011. Vol. 300. No. 3. P. F650–656.
25. Pandit M.M., Strait K.A., Matsuda T., Kohan D.E. Na delivery and ENaC mediate flow regulation of collecting duct endothelin-1 production. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2012. Vol. 302. No. 10. P. 1325–1330. DOI: 10.1152/ajprenal.00034.2012.
26. Lynch I.J., Welch A.K., Kohan D.E., Cain B.D., Wingo C.S. Endothelin-1 inhibits sodium reabsorption by ET(A) and ET(B) receptors in the mouse cortical collecting duct. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2013. Vol. 305. No. 4. P. F568–573.
27. Stuart D., Rees S., Woodward S.K., Koesters R., Strait K.A., Kohan D.E. Disruption of the endothelin A receptor in the nephron causes mild fluid volume expansion. *BMC Nephrol.* 2012. Vol. 13. P. 166.
28. Шурыгин М.Г., Шурыгина И.А., Кая О.В., Дремина Н.Н., Лушникова Е.Л., Непомнящих Л.М. Значение повышения продукции эндотелина при инфаркте миокарда // Фундаментальные исследования. 2015. № 1–6. С. 1281–1287. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37759> (дата обращения: 15.07.2022).
29. Jin C., Speed J.S., Hyndman K.A., O'Connor P.M., Pollock D.M. Sex differences in ET-1 receptor expression and Ca²⁺ signaling in the IMCD. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2013. Vol. 305. No. 8. P. F1099–1104.
30. Kapsokalyvas D., Schiffers P.M., Majj N., Suylen D.P., Hackeng T.M., van Zandvoort M.A., De Mey J.G. Imaging evidence for endothelin ETA/ETB receptor heterodimers in isolated rat mesenteric resistance arteries. *Life Sci.* 2014. Vol. 11. No. 1–2. P. 36–41.
31. Чаулин А.М., Дуплякова П.Д., Дупляков Д.В. Циркадные ритмы сердечных тропонинов: механизмы и клиническое значение // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25. № 3S. С. 4061.
32. Richards J., Welch A.K., Barilovits S.J., All S., Cheng K.Y., Wingo C.S., Cain B.D., Gumz M.L. Tissue-specific and time-dependent regulation of the endothelin axis by the circadian clock protein Per1. *Life Sci.* 2014. Vol. 118. No. 2. P. 255–262.
33. Stow L.R., Richards J., Cheng K.Y., Lynch I.J., Jeffers L.A., Greenlee M.M., Cain B.D., Wingo C.S., Gumz M.L. The circadian protein period 1 contributes to blood pressure control and coordinately regulates renal sodium transport genes. *Hypertension.* 2012. Vol. 59. No. 6. P. 1151–1156.
34. Dhaun N., Moorhouse R., MacIntyre I.M., Melville V., Oosthuizen W., Kimmitt R.A., Brown K.E., Kennedy E.D., Goddard J., Webb D.J. Diurnal variation in blood pressure and arterial stiffness in chronic kidney disease: the role of endothelin-1. *Hypertension.* 2014. Vol. 64. No. 2. P. 296–304.
35. Bakris G.L., Lindholm L.H., Black H.R., Krum H., Linas S., Linseman J.V., Arterburn S., Sager P., Weber M. Divergent results using clinic and ambulatory blood pressures: report of a darusentan-resistant hypertension trial. *Hypertension.* 2010. Vol. 56. No. 5. P. 824–830.
36. Boesen E.I., Krishnan K.R., Pollock J.S., Pollock D.M. ETA activation mediates angiotensin II-induced infiltration of renal cortical T cells. *J Am Soc Nephrol.* 2011. Vol. 22. No. 12. P. 2187–2192.
37. Montezano A.C., Callera G.E., Mota A.L., Fortes Z.B., Nigro D., Carvalho M.H., Zorn T.M., Tostes R.C. Endothelin-1 contributes to the sexual differences in renal damage in DOCA-salt rats. *Peptides.* 2005. Vol. 26. No. 8. P. 1454–1462.
38. Kisanuki Y.Y., Emoto N., Ohuchi T., Widyantoro B., Yagi K., Nakayama K., Kedziński R.M., Hammer R.E., Yanagisawa H., Williams S.C., Richardson J.A., Suzuki T., Yanagisawa M. Low blood pressure in endothelial cell-specific endothelin 1 knockout mice. *Hypertension.* 2010. Vol. 56. No. 1. P. 121–128.
39. Huang G., Cheng P., Ding L., Wang L., Hu J., Zhang Y., Cai G., Chen M., Shen A., Gao S. Protective effect of Xin-Ji-Er-Kang on cardiovascular remodeling in high salt-induced hypertensive mice. *Exp Ther Med.* 2019. Vol. 17. No. 3. P. 1551–1562.
40. Dhaun N., Lilitkamtakul P., Macintyre I.M., Muilwijk E., Johnston N.R., Kluth D.C., Webb D.J., Goddard J. Urinary endothelin-1 in chronic kidney disease and as a marker of disease activity in lupus nephritis. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2009. Vol. 296. No. 6. P. F1477–1483.
41. Limberg J.K., Baker S.E., Petersen-Jones H., Guo W., Huang A., Jensen M.D., Singh P. Endothelin-1 as a novel target for the prevention of metabolic dysfunction with intermittent hypoxia in male participants. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2022. In Press.
42. Wang L., Wang L., Yan F. Understanding the molecular mechanism of endothelin ET_A receptor selecting isopeptides endothelin-1 and -3. *Biophys J.* 2022. Vol. 121. No. 13. P. 2490–2502.
43. Дремина Н.Н., Шурыгин М.Г., Шурыгина И.А. Эндотелины в норме и патологии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10–2. С. 210–214.
44. Simsek F., Turunc E., Keskin-Arslan E., Erol H., Acar S., Atakul B.K., Aydogmus S., Temiz T. Molecular mechanisms involved in pre-eclampsia through expressional regulation of endothelin-1. *Placenta.* 2022. Vol. 124. P. 55–61.
45. Hoenicka M., Sabau M., Liebold A., Hofmann H.S., Ried M. Preservation of Adrenoceptor and Endothelin Receptor Mediated Vasoconstriction and of Endothelium-Dependent Relaxation after Cold Storage of Explanted Blood Vessels for ex vivo Analyses. *J Vasc Res.* 2022. Vol. 21. P. 1–11.
46. A J., Bc S., S S. Effect of Captopril and BQ123 Endothelin-1 Antagonist on Experimentally Induced Hyperlipidemic Nephropathy in Rats. *Recent Pat Biotechnol.* 2022. In Press.
47. Abraham G.R., Kuc R.E., Althage M., Greasley P.J., Ambery P., Maguire J.J., Wilkinson I.B., Hoole S.P., Cheriyan J., Davenport A.P. Endothelin-1 is increased in the plasma of patients hospitalised with Covid-19. *J Mol Cell Cardiol.* 2022. Vol. 167. P. 92–96.
48. Tanaka K., Yoshioka K., Tatsumi K., Kimura S., Kasuya Y. Endothelin regulates function of IL-17-producing T cell subset. *Life Sci.* 2014. Vol. 118. No. 2. P. 244–247.
49. De Miguel C., Pollock J.S. Does endoplasmic reticulum stress mediate endothelin-1-induced renal inflammation? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2013. Vol. 305. No. 2. P. R107–109.
50. De Miguel C., Hamrick W.C., Hobbs J.L., Pollock D.M., Carmines P.K., Pollock J.S. Endothelin receptor-specific control of endoplasmic reticulum stress and apoptosis in the kidney. *Sci Rep.* 2017. Vol. 7. P. 43152.