

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

BIOSCIENCE Series

Серия **БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№2(131)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

Бас редакторы: Р.І. Берсімбай

ҚР ҰҒА академигі, б.ғ.д, проф.,Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Бас редактордың орынбасары: Р.Т. Омаров, PhD, б.ғ.к., профессор Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)

Редакция алқасы

Абжалелов А.Б.	б.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Акильжанова А.Р.	PhD, м.ғ.д., Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Алиқұлов З.А.	б.ғ.к., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Антипов А.Н.	б.ғ.к., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей)
Асқарова Ш.Н.	б.ғ.к., PhD, Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан(Қазақстан)
Ау У.	PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ)
Бисенбаев А.К.	б.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы (Қазақстан)
Высоцкая Л.В.	б.ғ.д., проф., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей)
Закиян С.М.	б.ғ.д., проф., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей)
Изотти А.	PhD, проф., Генуя университеті, Генуя (Италия)
Ильдербаев О.З.	м.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Константинов Ю.М.	б.ғ.д., проф., Иркутск мемлекеттік университеті, Иркутск (Ресей)
Кухар Е.В.	б.ғ.д., доц., С.Сейфуллин атындағы ҚазАТУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Масалимов Ж.К.	PhD, б.ғ.к., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Моше Саги	PhD, проф., Бен Гурион Негев университеті, Беэр-Шева (Израиль)
Сарбасов Д.Д.	PhD, проф., Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан (Қазақстан)
Стегний В.Н.	б.ғ.д., проф., Томск мемлекеттік университеті, Томск (Ресей)
Шустов А.В.	PhD, б.ғ.к., Ұлттық биотехнология орталығы, Нұр-Сұлтан(Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.

Тел: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: eurjourbio@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:

А. Нұрболат

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж тіркелген. №16998-Ж тіркеу куәлігі. Тиражы: 12 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі ,12/1, тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

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

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

Deputy Editor-in-Chief:

R.T. Omarov, Prof., Candidate of Biological Sciences, PhD L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Editorial board

Abzhalelov A.B.	Doctor of Biological Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Akilzhanova A.R.	PhD, Doctor of Medical Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Alikulov Z.A.	Prof., Can. of Biological Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Antipov A.N.	Can. of Biological Sciences, Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia)
Askarova Sh.N.	PhD, Can. of Biological Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Au W.	PhD, Prof., University of Texas, Texas (USA)
Bisenbayev A.K.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty (Kazakhstan)
Ilderbayev O.Z.	Doctor of Medical Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Izzotti A.	PhD, Prof., University of Genoa, Genoa (Italy)
Konstantinov Yu.M.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Irkutsk State University, Irkutsk (Russia)
Kukhar E.V.	Ass. Prof. Doctor of Biological Sciences, Saken Seifullin Kazakh Agriculture Technical University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Massalimov Zh.K.	PhD, Can. of Biological Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Moshe Sagi	PhD, Prof., Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva (Israel)
Shustov A.V.	PhD, Can. of Biological Sciences, National Center for Biotechnology, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Stegniy V.N.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Tomsk State University, Tomsk (Russia)
Sarbassov D.D.	PhD, Prof., Nazarbayev University, Nur-Sultan (Kazakhstan)
Vycotskaya L.V.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia)
Zakiyan S.M.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia)

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

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

Responsible secretary, computer layout:

A.Nurbolat

Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. BIOSCIENCE Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan. Registration certificate №16998-Ж from 27.03.2018. Circulation: 12 copies

Address of printing house: 12/1 Kazhimukan str., Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext.31-428)

Главный редактор: **Р.И. Берсимбай**
профессор, д.б.н., академик НАН РК, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Зам. главного редактора: **Р.Т. Омаров**, PhD, к.б.н., профессор ЕНУ имени Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан

Редакционная коллегия

Абжалелов А.Б.	д.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Акильжанова А.Р.	PhD, д.м.н., Назарбаев Университет, Нур-Султан (Казахстан)
Аликулов З.А.	к.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Антипов А.Н.	к.б.н., Институт Цитологии и генетики, Новосибирск (Россия)
Аскарова Ш.Н.	к.б.н., PhD, Назарбаев Университет, Нур-Султан (Казахстан)
Ау У.	PhD, проф., Техасский университет, Техас (США)
Бисенбаев А.К.	д.б.н., проф., академик НАН РК, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы (Казахстан)
Высоцкая Л.В.	д.б.н., проф., Институт Цитологии и генетики, Новосибирск (Россия)
Закиян С.М.	д.б.н., проф., Институт Цитологии и генетики, Новосибирск (Россия)
Изотти А.	PhD, проф., Университет Генуя, Генуя (Италия)
Ильдербаев О.З.	д.м.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Константинов Ю.М.	д.б.н., проф., Иркутский государственный университет, Иркутск (Россия)
Кухар Е.В.	д.б.н., доц., КазАТУ имени С. Сейфуллина, Нур-Султан (Казахстан)
Масалимов Ж.К.	PhD, к.б.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан (Казахстан)
Моше Саги	PhD, проф., Университет им. Бен-Гуриона в Негеве, Беэр-Шева (Израиль)
Сарбасов Д.Д.	PhD, проф., Назарбаев Университет, Нур-Султан (Казахстан)
Стегний В.Н.	д.б.н., проф., Томский государственный университет, Томск (Россия)
Шустов А.В.	PhD, к.б.н., Национальный центр биотехнологии, Нур-Султан (Казахстан)

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

Ответственный секретарь, компьютерная верстка:
А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Собственник: РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16998-Ж от 27.03.2018г.

Тираж: 12 экземпляров

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1,

тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР СЕРИЯСЫ

2(131)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Иқсат Н.Н., Тоқашева Д., Бейсекова М.К., Аманбаева У.И., Тлеужулова Ж.Б.</i> Салицил қышқылы және оның биотикалық стресске өсімдіктердің индуцирленген тұрақтылығындағы рөлі	8
<i>Садвокасова М.А., Әзімханова Б.Ә., Арипова А.А., Ақпарова А.Ю., Берсимбай Р.И.</i> Өкпенің созылмалы обструктивті ауруының генетикалық және эпигенетикалық гетерогендігі	15
<i>Куприянов А.Н., Туралин Б.А., Курбатова Н.В., Курманбаева М.С., Абидкулова К.Т., Базарғалиева А.А.</i> Ақтөбе облысындағы <i>Crambe tataria</i> Sebeok популяциясының құрылымы	23
<i>Хусаинов А.Т., Қыздарбекова Г.Т.</i> «Агробионов» препаратын және минералды тыңайтқыштарды енгізу кезіндегі кәдімгі қара топырақтың биологиялық қасиеттері мен майлы зығырдың өнімділігі	31
<i>Казыкен Д.</i> Мичиган университетінің Медицина мектебі, Анн-Арбор, Мичиган, АҚШ	38
<i>Мухамеджанова Д.С., Ахсенова И.В., Ильясова Б.Б., Омаров Р.Т.</i> Ион алмасушы сорбенттердің және көмір күлінің арпа өсімдіктерінің (<i>Hordeum vulgare</i> L.) тұз күйзелісі жағдайларындағы төзімділігіне әсері	43

**BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY.
BIOSCIENCE SERIES**

2(131)/2020

CONTENTS

<i>Iksat N.N., Tokasheva D., Beissekova M.K., Amanbayeva U.I., Tleukulova Zh.B., Akbassova A.Zh., Zhangazin S.B., Omarov R.T.</i>	Salicylic acid and its role in induced plant resistance to biotic stress	8
<i>Sadvokasova M.A., Azimkhanova B.A., Aripova A.A., Akparova A.Yu., Bersimbaev R.I.</i>	Genetic and epigenetic heterogeneity of chronic obstructive pulmonary disease	15
<i>Kuprijanov A.N., Turalin B.A., Kurbatova N.V., Kurmanbayeva M.S., Abidkulova K.T., Bazar-galiyeva A.A.</i>	The structure of the populations of <i>Crambe tataria</i> Sebeók in the Aktobe Region	23
<i>Khusainov A.T., Kyzdarbekova G.T.</i>	Biological properties of ordinary chernozem and productivity of oilseed flax when applying the preparation «Agrobions» and mineral fertilizers	31
<i>Kazyken D.</i>	New Insights into the Activation Mechanisms of AMPK	38
<i>Mukhamejanova D., Axyonova I.V., Ilyassova B.B., Omarov R.T.</i>	Effect of ion-exchange sorbents and fly ash on increasing the tolerance of barley (<i>Hordeum vulgare L.</i>) under salt stress	43

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Икнат Н.Н., Токашева Д., Бейсекова М.К., Аманбаева У.И., Тлеукулова Ж.Б.</i> Салициловая кислота и ее роль в индуцированной устойчивости растений к биотическому стрессу	8
<i>Садвокасова М.А., Азимханова Б.А., Арипова А.А., Акпарова А.Ю., Берсимбай Р.И.</i> Генетическая и эпигенетическая гетерогенность хронической обструктивной болезни легких	15
<i>Куприянов А.Н., Туралин Б.А., Курбатова Н.В., Курманбаева М.С., Абидкулова К.Т., Базаргалиева А.А.</i> Структура популяций <i>Crambe tataria</i> Sebeok в Актюбинской области	23
<i>Хусаинов А.Т., Кыздарбекова Г.Т.</i> Биологические свойства чернозёма обыкновенного и урожайность льна масличного при внесении препарата «Агробионов» и минеральных удобрений	31
<i>Казыкен Д.</i> Новое понимание механизмов активации АМРК	38
<i>Мухамеджанова Д.С., Аксенова И.В., Ильясова Б.Б., Омаров Р.Т.</i> Влияние ионообменных сорбентов и золы-уноса на повышение устойчивости растений ячменя (<i>Hordeum vulgare L.</i>) в условиях солевого стресса	43

БИОЛОГИЯ



МРНТИ 34.31.35

**Н.Н. Иқсат, Д. Токашева, М.К. Бейсекова, У.И. Аманбаева, Ж.Б. Тлеукулова,
А.Ж. Акбасова, С.Б. Жангазин, Р.Т. Омаров**

*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: nurguliksat@gmail.com, dana041193@mail.ru, mk.beisekova@gmail.com,
amanbaeva.u@gmail.com, zhanerke.birzhan@gmail.com, a.j.alua@gmail.com,
zhangazin_sayan@mail.ru, romarov@gmail.com)*

Салициловая кислота и ее роль в индуцированной устойчивости растений к биотическому стрессу

Аннотация: Салициловая кислота является природной сигнальной молекулой, которая играет ключевую роль в установлении и передаче сигналов защиты растений от фитопатогенов. Салициловая кислота, модулируя экспрессию защитных генов и изменяя активность антиоксидантных ферментов, может регулировать окислительные процессы, связанные с защитными реакциями растений. В этой обзорной статье рассмотрены исследования, дающие представление о функционировании салициловой кислоты в иммунитете растений.

Ключевые слова: салициловая кислота, резистентность, гиперчувствительный ответ, системная приобретенная резистентность, антиоксидантные ферменты, метилсалицилат.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-8-14>

Вирусы растений приносят колоссальные потери сельскому хозяйству, тем самым являясь преградой на пути к росту и развитию растений. Одни из биологических механизмов в адаптации к патогенам является активация резистентных ответов на инфекцию. В длительных коэволюционных процессах взаимодействия с патогенами растения сформулировали различные механизмы устойчивости к заболеваниям.

Растения реагируют на биотический стресс, активируя сложный защитный механизм, который может действовать как локально (Local Acquired Resistance), так и системно (Systemic Acquired Resistance) [1,2]. В качестве локального противодействия на вторжение патогена выступает гиперчувствительный ответ. Он характеризуется развитием некротических поражений (сверхчувствительность) в тканях растений, которые ограничивают рост и дальнейшее распространение микроорганизмов, таких как вирусы, бактерии и грибы.

Развитие защитных механизмов связано с активацией различных генов. Продукты этих генов играют важную роль в предотвращении развития фитопатогенов косвенно, помогая укрепить защитный барьер клеточной стенки, либо вырабатывая определенные ферменты и вторичные метаболиты [3]. Во время гиперчувствительного ответа также индуцируются патоген-ассоциированные белки (PR-белки) [4]. Большинство PR-белков обладают противопатогенной активностью *in vitro*, тем самым повышая устойчивость растений к болезням при сверхэкспрессии у трансгенных растений [5]. Кроме этого, гиперчувствительный ответ также связан с увеличением активных форм кислорода, которые могут приводить к клеточному апоптозу [6].

Системная приобретенная резистентность проявляется в течении нескольких часов или дней после первичного заражения хозяина растения. Данная устойчивость имеет длительный

эффект и действует как приобретенный иммунитет против тех или иных микроорганизмов. SAR является неспецифичным процессом [7].

С развитием молекулярных и биохимических методов, были выяснены сигнальные пути и их ключевые компоненты, ведущие в активации защитных процессах растений.

Одна из главных составляющих сигнального пути, участвующая в инициации и поддержании защитного ответа растений является салициловая кислота. В высших растениях салициловая кислота играет одну из важных ролей в индуцированной устойчивости к биотическим стрессам. Салициловая кислота, в частности образуется из бензойной кислоты у некоторых видов растений (табак, рис, горох) [8,9,10], а другие виды растений синтезируют салициловую кислоту по О-кумаратному пути [11,12].

В настоящий момент известны данные о влиянии салициловой кислоты на повышение сигнальных защитных механизмов растений, таких как аккумуляция аскорбиновой кислоты [13], активации АФК-ферментов [14] и увеличении экспрессии стресс-ассоциированных кластерных генов [15]. Первые данные, описывающие функцию салициловой кислоты как устойчиво-индуцированная, были получены при исследовании заболеваний вирусом табачной мозаики [16]. После первичного заражения вирусом табачной мозаики, в табаке увеличивается концентрация салициловой кислоты в месте заражения с последующим ее незначительным ростом в неинфицированных системных тканях. В табаке наряду с повышением уровня салициловой кислоты происходит активация транскрипции PR-генов как в инокулированных, так и в незараженных листьях [17].

Данные Sagovar показывают, что нетранслируемая мРНК PR-белков может конвертироваться в транслируемое положение через внесения экзогенной салициловой кислоты в табак [18]. Было выявлено, что уровень эндогенной салициловой кислоты увеличивался в 20-30 раз в первичнозараженных и в 10 раз в неинфицированных листьях табака сорта Xanthi ps [19]. Также при добавлении экзогенной салициловой кислоты в растения активируются те же девять генов, что и при инфекции с TMV [20]. Аналогичные показатели увеличения салициловой кислоты в проводящей ткани, а именно во флоэме были выявлены при заражении огурца [21] и вирусом некроза табака (TNV) [22], и бактерией *Colletotrichum lagenarium* [23]. Что касается грибов, то по данным цитологических исследований они не имеют способности проникать в клетки растений и проводить репродукцию в связи с тем, что идет активация сигнальных путей с последующей экспрессией защитных генов [24].

Результаты исследований Tong Li и соавторов показывают, что салициловая кислота может эффективно регулировать накопление аскорбиновой кислоты, особенно в томатах сорта “Jinpeng – 1” [25]. Данные также показывают, что после инокуляции растений вирусом TYLCV увеличивалась активность аскорбат пероксидазы и пероксидазы под действием аккумуляции салициловой кислоты. Напротив, активность супероксиддисмутазы снизилась в томатах сорта “Jinpeng – 1” и увеличивалась в “Zhefen – 702” соответственно

Пероксидазы класс белков, которые катализируют синтез лигнина, тем самым могут быть непосредственно связаны с повышенной способностью системно защищать ткани путем лигнификации при биотических стрессах. Пероксидаза широко распространена в высших растениях и защищает растительные клетки от разрушительного воздействия H_2O_2 , катализируя его разложение [26, 27]. Влияние салициловой кислоты на активность пероксидазы, полифенолоксидазы и накопление перекиси водорода было изучено также на арахисе. При всех обработках наблюдалось общее увеличение активности POD по сравнению с контрольными растениями. Из них 1% концентрация показала более высокую активность по испытательному периоду, чем другие концентрации салициловой кислоты. Содержание белка в листьях растений, обработанных салициловой кислотой, было значительно выше, чем в необработанных контрольных группах при 0,14% концентрации через 72 часа после инокуляции [28]. Сильная, но положительная корреляция была обнаружена между окислительным состоянием растения хозяина и устойчивостью к различным стрессам [29]. ВУМВ-инфицированные листья показали активность, индуцированную пероксидазой, каталазой, аскорбат пероксидазой и супероксиддисмутазой, тогда как обработка салициловой кислотой ингибировала активность пероксидазы, каталазы, но индуцировала активность

супероксиддисмутазы. Другие эксперименты показали, что активность каталазы значительно увеличивалась после еженедельного комбинированного применения салициловой кислоты и бензотиадиазола [30]. Активность фермента, скорее всего, зависела от концентрации салициловой кислоты. Эксперименты по анализу активности антиоксидантных ферментов в ответ на комбинированное воздействие салициловой кислоты с жасмоновой кислотой и инокуляции CMV в томате (*Solanum lycopersicum*) показали, что салициловая кислота снижала активность САТ до 6 дня после инокуляции, а затем увеличивала активность САТ до 15 дня после инокуляции. Самая высокая активность POD наблюдалась при обработке салициловой кислоты с жасмоновой кислотой, а самая высокая активность SOD и PAL была связана с обработкой СК+ЖК+CMV [31]. Эти данные показывают, что комбинация СК с ЖК может контролировать аккумуляцию CMV в томатах.

Высокие концентрации H_2O_2 были установлены в зараженных вирусом листьях, по сравнению с контролем, в то время как обработка салициловой кислотой с последующей инокуляцией вируса, вызывала уменьшение ущерба от перекисного окисления липидов [32].

Известно, что экзогенная салициловая кислота в концентрации 2 мМ индуцирует резистентность томатов как ответ на вирусную постинокуляцию. Растения, обработанные салициловой кислотой, имели нормальный ростовой фенотип. Данные результаты указывают на то, что экзогенное применение салициловой кислоты и ее функциональных аналогов относительно понижает аккумуляцию вируса TYLCV и этот эффект длится около 10 дней [33].

Усиление в растениях резистентности через индуцирование биологическими и химическими факторами это один из самых эффективных путей по контролю заболеваний растений. Салициловая кислота – химически индуцирующий фактор, и она является ключевой сигнальной молекулой в СПР (SAR) сигнальной трансдукции.

Для определения локализации салициловой кислоты при биотическом стрессе использовали радиоактивные метки. В этих опытах было установлено, что основная часть салицилата транспортировалась из первичного места заражения в верхние не инокулированные листья растения. Трансгенные растения табака и арабидопсиса с инсертным геном *NahG*, который кодирует фермент салицилатгидроксилазу, катализирующий превращение салициловой кислоты в катехол, не накапливали салициловые кислоты и не проявляли резистентность к фитопатогенам при механическом заражении [34].

Для объяснения природы влияния салициловой кислоты и ее роли в резистентности растений к микроорганизмам Greenberg и другие использовали две группы мутантов растений арабидопсиса [35]. В первой группе были трансгенные растения, которые на постоянной основе экспрессируют гены PR-белков, имели сверхконцентрацию салициловой кислоты, то есть всегда проявляли системную приобретенную устойчивость (*acd 2*, *lsd*, *srp*). Ко второй группе относились мутанты, не способные проявлять SAR в ответ на обработку экзогенной салициловой кислотой (*eds*, *ndr 1*, *prg 1*, *nim 1*). Тем самым было предположено, что системную приобретенную устойчивость индуцирует салициловая кислота, образующаяся при некротических поражениях при первичном заражении растений. Во избежания токсичности, вызванной высокими концентрациями салициловой кислоты, растения выработали системы преобразования салициловой кислоты в его производные, такие как метилсалицилат, аминокислотные конъюгаты и другие [36]. Метилсалицилат является летучим веществом. Помимо его роли в передаче сигналов по воздуху между растениями [37], было выдвинуто, что метилсалицилат является критическим мобильным индуктором SAR [38]. По данным Park и других при ингибировании ферментов метилсалицилатэстеразы и метилтрансферазы салициловой кислоты, которые катализируют круговые превращения метилсалицилата в салициловую кислоту, явление SAR не выявлялось [39]. При обработке метилсалицилатом листьев табака развитие системной приобретенной устойчивости наблюдалось и в верхних листьях этого же растения. Есть данные, что при инфицировании табака TMV в инокулированных нижнего, а также здоровых верхнего ряда листьев накапливался газообразный метилсалицилат. Однако в *Arabidopsis thaliana* корреляции между SAR и метилсалицилатом обнаружено не было [40].

Таким образом, полученные данные могут служить основой для создания эффективной стратегии, которая максимизирует потенциальные SAR-индуцированные компоненты для контроля заболеваний. Детальный анализ биохимических и молекулярных исследований требуются для создания новых подходов в разработке технологий для увеличения продуктивности растений и адаптации к стрессам.

Список литературы

- 1 Ross, A.F. Localized acquired resistance to plant virus infection in hypersensitive hosts // *Virology* 14.- 1961. -P. 329-339.
- 2 Ross A.F. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants // *Virology* 14.- 1961. - P. 340-358.
- 3 Radwan D.E.M., Fayez K.A., Mahmoud S.Y., Lu G. Modifications of antioxidant activity and protein composition of bean leaf due to Bean yellow mosaic virus infection and salicylic acid treatments // *Acta Physiol Plant* 32.- 2010. – P. 891-904.
- 4 Antoniw, J.F., White, R.F. Changes with time in the distribution of virus and PR protein around single local lesions of TMV infected tobacco // *Plant Molecular Biology* 6.- 1986.- P.145–149.
- 5 Ohshima M., Itoh H., Matsuoka M., Murakami T., Ohashi Y. Analysis of stress-induced or salicylic acid-induced expression of the pathogenesis-related 1a protein gene in transgenic tobacco // *The plant cell* 2.- 1990.- P. 95-106.
- 6 Baxter, A., Mittler, R., Suzuki, N. ROS as key players in plant stress signaling // *J. Exp. Bot.* 65.- 2014.- P. 1229-1240.
- 7 Anand A., Uppalapati S., Ryu Ch.-M., Allen S.A., Kang L., Tang Y., and Mysore K.S. Salicylic Acid and Systemic Acquired Resistance Play a Role in Attenuating Crown Gall Disease Caused by *Agrobacterium tumefaciens* // *Plant Physiol.* 146(2).- 2010.- P. 703–715. doi: 10.1104/pp.107.111302.
- 8 Klambt H.D. Conversion in plants of benzoic acid to salicylic acid and its β – D – glucoside // *Nature* 196.- 1967. -P. 491.
- 9 Yalpani N., Leon J., Lawton M.A., Raskin I. Pathway of salicylic acid biosynthesis in healthy and virus-inoculated tobacco // *Plant Physiol.* 103.- 1993.- P. 315– 321.
- 10 Sticher L., Mauch-Mani B., Мйтраux J.P. Systemic acquired resistance // *Annu. Rev. Phytopathol.* 35.- 1997.- P. 235– 270.
- 11 Silverman P., Seskar M., Kanter D., Schweizer P., Metraux J.P., Raskin I. Salicylic acid in rice: biosynthesis, conjugation and possible role // *Plant Physiol.* 108.- 1995.- P. 633– 639.
- 12 Leon J., Shulaev V., Yalpani N., Lawton M.A., Raskin I. Benzoic acid 2-hydroxylase, a soluble oxygenase from tobacco, catalyzes salicylic acid biosynthesis // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92.- 1995.- P. 10413– 10417.
- 13 Popova L., Ananieva E., Hristova V., Christov K., Georgieva K., Alexieva V., Stoinova Zh.. Salicylic acid and methyl jasmonate-induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress // *Bulg J Plant Physiol.* 2003.- P. 133-152.
- 14 Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // *Trends Plant Sci* 7(9).- 2002.- P.405-410.
- 15 Mittler R., Vanderauwera S., Gollery M., Van Breusegem F. Reactive oxygen gene network of plants // *Trends Plant Sci* 9(10).- 2004.- P. 490-498.
- 16 White R.F. Acetylsalicylic (aspirin) induces resistance to tobacco mosaic virus in tobacco // *Virology* 99.- 1979.- P. 410-412.
- 17 Katoch. Induction of pathogenesis-related protein in pea after treatment with inducers or inoculation with *Erysiphe polygoni* // *J Veg Sci* 12(3).- 2007.- P. 15-25.
- 18 Sarowar S., Kim Y.J., Kim E.N., Kim K.D., Hwang B.K., Islam R., Shin J.S. Overexpression of a pepper basic pathogenesis-related protein 1 gene in tobacco plants enhances resistance to heavy metal and pathogen stresses // *Plant Cell Rep* 24.- 2005.- P. 216-224.
- 19 Maiami J., Carlut J., Klessig D., Raskin I. *Science* 250 (4983).- 1990.- P. 1002-1004.
- 20 Chivasa S., Murphy A. M., Naylor M., Car J. P. Salicylic Acid Interferes with Tobacco Mosaic Virus Replication via a Novel Salicylhydroxamic Acid-Sensitive Mechanism // *Plant Cell.* 9(4).- 1997.- P.547–557.
- 21 Metraux, J.P., Signer, H., Ryals, J., Ward, E., Wyss-Benz, M., Gaudin, J., Rassdorf, K., Schmid, E, Blum, W., Inverdi, B. Increase in salicylic Acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber // *Science* 250.- 1990.- P. 1004-1006.
- 22 Molders W., Buchala A., Metraux J. P. Transport of Salicylic Acid in Tobacco Necrosis Virus-Infected Cucumber Plants // *Plant Physiol.* 112(2).- 1996.- P. 787–792.
- 23 Prell H., Day P. () *Plant-Fungal Pathogen Interaction: A Classical and Molecular View.* Springer -Verlag Berlin Heidelberg New York – 2001.- 187 p.
- 24 Milavec M., Ravnikar M., Kovac M. Peroxidases and photosynthetic pigments in susceptible potato infected with potato virus YNTN // *Plant Physiol Biochem* 39.- 2001.- P. 891-898.
- 25 Li T., Huang Y., Xu Zh-Sh., Wang F., Xiong A-Sh. Salicylic acid-induced differential resistance to the Tomato yellow leaf curl virus among resistant and susceptible tomato cultivars // *BMC Plant Biology* 19.- 2019.- P.173.

- 26 Lin, C.L., Kao C.H. Osmotic stress induced changes in cell wall peroxidase activity and hydrogen peroxide level in roots of rice seedlings // J. Plant Growth. Regul., 37.- 2002.- P. 177-184.
- 27 Fernandes, C.F., Moraes V.C.P., Vasconcelos L.M., Silveira J.A.G., Oliveira J.T.A. Induction of an anionic peroxidase in cowpea leaves by exogenous salicylic acid. J. Plant Physiol., 163.- 2006.- P.1040-1048.
- 28 War A.R., Lingathurai Sh., Paulraj M.G., War M.Y., Ignacimuthu S. Oxidative Response of Groundnut (*Arachis hypogaea*) Plants to Salicylic Acid, Neem Oil Formulation and *Acalypha fruticosa* Leaf Extract // American Journal of Plant Physiology 6 (4).- 2011.- P. 209-219.
- 29 Zhao, L.Y., Chen J.L., Cheng D.F., Sun J.R., Liu Y. and Tian Z., Biochemical and molecular characterizations of Sitobion avenae-induced wheat defense responses // Crop Protect., 28.- 2009.- P. 435-442.
- 30 Tariq Rana M.Sabir, Akhtar Khalid P., Hameed Amjad, Ullah Najeeb, Saleem Muhammad Y., Imran ul Haq. Determination of the role of salicylic acid and Benzothiadiazole on physico-chemical alterations caused by *Cucumber mosaic virus* in tomato // European Journal of Plant Pathology 150.- 2018.-P. 911-922.
- 31 Gholi - Tolouie, S., M. Davari, N. Sokhandan - Bashir и M. Sedghi. Influence of salicylic and jasmonic acids on the antioxidant systems of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Superchief) plants under biotic stresses // Iranian journal of Plant physiology 8(2).-2018.- P. 2345–2351. doi:10.22034/IJPP.2018.539110
- 32 Rani, P.U. and Y. Jyothsna. Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense // Acta Physiol. Planta., 32.- 2010.-P. 695-701.
- 33 Li T, Huang Y, Xu ZS, Wang F, Xiong AS. Salicylic acid-induced differential resistance to the Tomato yellow leaf curl virus among resistant and susceptible tomato cultivars // BMC Plant Biol. 2;19(1).-2019.- P.173. doi: 10.1186/s12870-019-1784-0
- 34 Cao, H., Bowling, S.A., Gordon, A.S., Dong, X. Characterization of an Arabidopsis mutant that is nonresponsive to inducers of systemic acquired resistance // Plant Cell 6.- 1994.- P.1583-1592.
- 35 Debra N. Rate, Jean T. Greenberg. The Arabidopsis aberrant growth and death2 mutant shows resistance to *Pseudomonas syringae* and reveals a role for NPR1 in suppressing hypersensitive cell death // The Plant Journal 27 (3).-2001.-P.201.
- 36 Vlot AC, Dempsey DA, Klessig DF. Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease // Ann. Rev. Phytopathol. 47.-2009.-P. 177– 206.
- 37 Lee HI, Leyn J, Raskin I. Biosynthesis and metabolism of salicylic acid // Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92.- 1995.- P. 4076– 4079.
- 38 Park SW, Kaimoyo E, Kumar D, Mosher S, Klessig DF. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance // Science 318.- 2007.-P. 113– 116.
- 39 Eneyedi, A.J., Yalpani, N., Silverman, P., Raskin, I. Localization, conjugation and function of salicylic acid in tobacco during the hypersensitive reaction to tobacco mosaic virus // Proc. Natl. Acad. Sci. USA 89.- 1992.- P. 2480-2484.
- 40 Chen F., Dauria J.C., Tholl D., Ross J.R., Gershenzon J., Noll J.P. An Arabidopsis thaliana gene for methylsalicylate biosynthesis, identified by a biochemical genomics approach, has a role in defense // Plant J. 36 (5)/-2003.- P. 577-588.

Н.Н. Иқсат, Д. Токашева, М.К. Бейсекова, У.И. Аманбаева, Ж.Б., Тлеукулова, А.Ж. Акбасова,
С.Б. Жангазин, Р.Т. Омаров

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

Салицил қышқылы және оның биотикалық стресске өсімдіктердің индуцирленген тұрақтылығындағы рөлі

Аннотация. Салицил қышқылы фитопатогендерге қарсы өсімдіктердің қорғаныш сигналдарының пайда болуы мен тасымалдауында маңызды рөл атқаратын табиғи сигналды молекула болып табылады. Салицил қышқылы қорғаныш гендердің экспрессиясын модуляциялау және соның арқасында антиоксиданттық ферменттердің белсенділігін өзгерте отырып, өсімдіктердің қорғаныш реакцияларымен байланысты тотығу процестерін реттей алады. Бұл мақалада өсімдіктердің иммунитетінде салицил қышқылының қызметі туралы мәлімет беретін зерттеулер қарастырылған.

Түйін сөздер. салицил қышқылы, резистенттілік, гиперсезімтал жауап, жүйелі пайда болған резистенттілік, антиоксиданттық ферменттер, метилсалицилат.

N.N. Iksat, D. Tokasheva, M.K. Beissekova, U.I. Amanbayeva, Zh.B., Tleukulova, A.Zh. Akbassova,
S.B. Zhangazin, R.T. Omarov

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

Salicylic acid and its role in induced plant resistance to biotic stress

Annotation. Salicylic acid is a natural signaling molecule that plays a key role in establishing and transmitting plant protection signals from phytopathogens. Salicylic acid, by modulating the expression of protective genes and changing the activity of antioxidant enzymes, can regulate oxidative processes associated with plant protective reactions. This review article reviews studies that provide insight into the functioning of salicylic acid in plant immunity.

Keywords. salicylic acid, resistance, hypersensitive response, systemic acquired resistance, antioxidant enzymes, methyl salicylate.

References

- 1 Ross, A.F. Localized acquired resistance to plant virus infection in hypersensitive hosts, *Virology* 14.- 1961. -P. 329-339.
- 2 Ross A.F. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants, *Virology* 14.- P. 1961.- 340-358.
- 3 Radwan D.E.M., Fayez K.A., Mahmoud S.Y., Lu G. Modifications of antioxidant activity and protein composition of bean leaf due to Bean yellow mosaic virus infection and salicylic acid treatments, *Acta Physiol Plant* 32.- 2010. – P. 891-904.
- 4 Antoniw, J.F., White, R.F. Changes with time in the distribution of virus and PR protein around single local lesions of TMV infected tobacco, *Plant Molecular Biology* 6.- 1986.- P.145–149.
- 5 Ohshima M., Itoh H., Matsuoka M., Murakami T., Ohashi Y. Analysis of stress-induced or salicylic acid-induced expression of the pathogenesis-related 1a protein gene in transgenic tobacco, *The plant cell* 2.- 1990.- P. 95-106.
- 6 Baxter, A., Mittler, R., Suzuki, N. ROS as key players in plant stress signaling, *J. Exp. Bot.* 65.- 2014.- P. 1229-1240.
- 7 Anand A., Uppalapati S., Ryu Ch.-M., Allen S.A., Kang L., Tang Y., and Mysore K.S. Salicylic Acid and Systemic Acquired Resistance Play a Role in Attenuating Crown Gall Disease Caused by *Agrobacterium tumefaciens*, *Plant Physiol.* 146(2).- 2010.- P. 703–715. doi: 10.1104/pp.107.111302.
- 8 Klambt H.D. Conversion in plants of benzoic acid to salicylic acid and its β - D - glucoside, *Nature* 196.- 1967. -P. 491.
- 9 Yalpani N., Leon J, Lawton M.A., Raskin I. Pathway of salicylic acid biosynthesis in healthy and virus-inoculated tobacco, *Plant Physiol.* 103.- 1993.- P. 315– 321.
- 10 Sticher L., Mauch-Mani B., Miträux J.P. Systemic acquired resistance, *Annu. Rev. Phytopathol.* 35.- 1997.- P. 235– 270.
- 11 Silverman P., Seskar M., Kanter D., Schweizer P., Metraux J.P., Raskin I. Salicylic acid in rice: biosynthesis, conjugation and possible role, *Plant Physiol.* 108.- 1995.- P. 633– 639.
- 12 Leon J., Shulaev V., Yalpani N., Lawton M.A., Raskin I. Benzoic acid 2-hydroxylase, a soluble oxygenase from tobacco, catalyzes salicylic acid biosynthesis, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92.- 1995.- P. 10413– 10417.
- 13 Popova L., Ananieva E., Hristova V., Christov K., Georgieva K., Alexieva V., Stoinova Zh.. Salicylic acid and methyl jasmonate-induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress, *Bulg J Plant Physiol.*- 2003.- P. 133-152.
- 14 Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends Plant Sci* 7(9).- 2002.- P.405-410.
- 15 Mittler R., Vanderauwera S., Gollery M., Van Breusegem F. Reactive oxygen gene network of plants, *Trends Plant Sci* 9(10).- 2004.- P. 490-498.
- 16 White R.F. Acetylsalicylic (aspirin) induces resistance to tobacco mosaic virus in tobacco, *Virology* 99.- 1979.- P. 410-412.
- 17 Katoch. Induction of pathogenesis-related protein in pea after treatment with inducers or inoculation with *Erysiphe polygoni*, *J Veg Sci* 12(3).- 2007.- P. 15-25.
- 18 Sarowar S., Kim Y.J., Kim E.N., Kim K.D., Hwang B.K., Islam R., Shin J.S. Overexpression of a pepper basic pathogenesis-related protein 1 gene in tobacco plants enhances resistance to heavy metal and pathogen stresses, *Plant Cell Rep* 24.- 2005.- P. 216-224.
- 19 Maiami J., Carlut J., Klessig D., Raskin I. *Science* 250 (4983).- 1990.- P. 1002-1004.
- 20 Chivasa S., Murphy A. M., Naylor M., Car J. P. Salicylic Acid Interferes with Tobacco Mosaic Virus Replication via a Novel Salicylhydroxamic Acid-Sensitive Mechanism, *Plant Cell.* 9(4).- 1997.- P.547–557.
- 21 Metraux, J.P., Signer, H., Ryals, J., Ward, E., Wyss-Benz, M., Gaudin, J., Rassdorf, K., Schmid, E, Blum, W., Inverdi, B. Increase in salicylic Acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber, *Science* 250.- 1990.- P. 1004-1006.
- 22 Molders W., Buchala A., Metraux J. P. Transport of Salicylic Acid in Tobacco Necrosis Virus-Infected Cucumber Plants, *Plant Physiol.* 112(2).- 1996.- P. 787–792.
- 23 Prell H., Day P. () *Plant-Fungal Pathogen Interaction: A Classical and Molecular View.* Springer -Verlag Berlin Heidelberg New York – 2001.- 187 p.
- 24 Milavec M., Ravnikar M., Kovac M. Peroxidases and photosynthetic pigments in susceptible potato infected with potato virus YNTN, *Plant Physiol Biochem* 39.- 2001.- P. 891-898.
- 25 Li T., Huang Y., Xu Zh-Sh., Wang F., Xiong A-Sh. Salicylic acid-induced differential resistance to the Tomato yellow leaf curl virus among resistant and susceptible tomato cultivars, *BMC Plant Biology* 19.- 2019.- P.173.
- 26 Lin, C.L., Kao C.H. Osmotic stress induced changes in cell wall peroxidase activity and hydrogen peroxide level in roots of rice seedlings, *J. Plant Growth. Regul.*, 37.- 2002.- P. 177-184.
- 27 Fernandes, C.F., Moraes V.C.P., Vasconcelos L.M., Silveira J.A.G., Oliveira J.T.A. Induction of an anionic peroxidase in cowpea leaves by exogenous salicylic acid. *J. Plant Physiol.*, 163.- 2006.- P.1040-1048.
- 28 War AR., Lingathurai Sh., Paulraj M.G., War M.Y., Ignacimuthu S. Oxidative Response of Groundnut (*Arachis hypogaea*) Plants to Salicylic Acid, Neem Oil Formulation and *Acalypha fruticosa* Leaf Extract, *American Journal of Plant Physiology* 6 (4).- 2011.- P. 209-219.

- 29 Zhao, L.Y., J.L. Chen, D.F. Cheng, J.R. Sun, Y. Liu and Z. Tian, Biochemical and molecular characterizations of Sitobion avenae-induced wheat defense responses, Crop Protect., 28.- 2009.- P. 435-442.
- 30 Tariq Rana M.Sabir, Akhtar Khalid P., Hameed Amjad, Ullah Najeeb, Saleem Muhammad Y., Imran ul Haq. Determination of the role of salicylic acid and Benzothiadiazole on physico-chemical alterations caused by *Cucumber mosaic virus* in tomato, European Journal of Plant Pathology 150.- 2018.-P. 911-922.
- 31 Gholi - Tolouie, S., M. Davari, N. Sokhandan - Bashir и M. Sedghi. Influence of salicylic and jasmonic acids on the antioxidant systems of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Superchief) plants under biotic stresses, Iranian journal of Plant physiology 8(2).-2018.- P. 2345–2351. doi:10.22034/IJPP.2018.539110
- 32 Rani, P.U. and Y. Jyothsna. Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense, Acta Physiol. Planta., 32.- 2010.-P. 695-701.
- 33 Li T, Huang Y, Xu ZS, Wang F, Xiong AS. Salicylic acid-induced differential resistance to the Tomato yellow leaf curl virus among resistant and susceptible tomato cultivars, BMC Plant Biol. 2;19(1).-2019.- P.173. doi: 10.1186/s12870-019-1784-0
- 34 Cao, H., Bowling, S.A., Gordon, A.S., Dong, X. Characterization of an Arabidopsis mutant that is nonresponsive to inducers of systemic acquired resistance, Plant Cell 6.- 1994.- P.1583-1592.
- 35 Debra N. Rate, Jean T. Greenberg. The Arabidopsis aberrant growth and death2 mutant shows resistance to *Pseudomonas syringae* and reveals a role for NPR1 in suppressing hypersensitive cell death, The Plant Journal 27 (3).-2001.-P.201.
- 36 Vlot AC, Dempsey DA, Klessig DF. Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease, Ann. Rev. Phytopathol. 47.-2009.-P. 177– 206.
- 37 Lee HI, Leyn J, Raskin I. Biosynthesis and metabolism of salicylic acid, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92.- 1995.- P. 4076– 4079.
- 38 Park SW, Kaimoyo E, Kumar D, Mosher S, Klessig DF. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance, Science 318.- 2007.-P. 113– 116.
- 39 Eneyedi, A.J., Yalpani, N., Silverman, P., Raskin, I. Localization, conjugation and function of salicylic acid in tobacco during the hypersensitive reaction to tobacco mosaic virus, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 89.- 1992.- P. 2480-2484.
- 40 Chen F., Dauria J.C., Tholl D., Ross J.R., Gershenzon J., Noll J.P. An Arabidopsis thaliana gene for methylsalicylate biosynthesis, identified by a biochemical genomics approach, has a role in defense, Plant J. 36 (5)/-2003.- P. 577-588.

Сведения об авторах:

- Иқсат Н.Н.* – PhD студент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Токашева Д. - PhD студент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Бейсекова М.К. - PhD студент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Аманбаева У.И. - PhD студент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Тлеукулова Ж.Б. - PhD студент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
- Ақбасова А.Ж.* – PhD, и.о. доцента, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Жангазин С.Б. – PhD, и.о. доцента, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Омаров Р.Т. – PhD, профессор, заведующий кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
- Iksat N.N.* – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Tokasheva D. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Beissekova M.K. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Amanbayeva U.I. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Tleukulova Zh.B. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Akbassova A.Zh. – PhD, acting assistant professor, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Zhangazin S.B. – PhD, acting assistant professor, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.
Omarov R.T. – PhD, professor, head of department, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 28.04.2020

МРНТИ 34.23.02.

М.А. Садвокасова, Б.Ә. Әзімханова, А.А. Арипова, А.Ю. Акпарова,
Р.И. Берсимбай

*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
(E-mail: mika94s@mail.ru)*

Өкпенің созылмалы обструктивті ауруының генетикалық және эпигенетикалық гетерогендігі

Аңдатпа: Өкпенің созылмалы обструктивті ауруы (ӨСОА) – тыныс алу жүйесінің жаһандық созылмалы ауруы. Өкпеде патологиялық өзгерістердің қалыптасуы, бірінші кезекте, темекі түтінінің зиянды агенттердің тыныс алу жолдарына тигізетін әсерімен байланысты. ӨСОА-ның негізгі процесстердің белсендіруінен басқа, аурудың дамуына генетикалық детерминанттар мен эпигенетикалық регуляциясының бұзылуы, сонымен қоса. ДНҚ метилденуінің өзгеруі, гистондардың модификациясы және микроРНК-ның экспрессиясы маңызды рөл атқарады. Мақалада ӨСОА-ның генетикалық және эпигенетикалық аспектілері күрделі патогенезі бар біртекті емес ауру ретінде қарастырылады.

Түйін сөздер: өкпенің созылмалы обструктивті ауруы, генетикалық қауіптің факторлары, ДНҚ метилденуі, хроматиннің модификациясы, микроРНК.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-15-22>

Кіріспе. Өкпенің созылмалы обструктивті ауруы (ӨСОА) өлімге әкеп соқтырудың жиілігі жоғары адамның кең таралған ауруларының қатарына жатады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы СОӨА-дан аурулардан болатын өлім-жітім құрылым үлесі 2030 жылға қарай төртінші позициядан үшінші позицияға ауысу ықтималдығы туралы хабарлайды [1].

ӨСОА-қоршаған орта факторлары мен тұқым қуалайтын бейімділік маңызды рөл атқаратын мультифакториалды ауру [2]. Темекі түтіні, кәсіби зияндылық, атмосфералық поллютанттар, респираторлық трактінің инфекциялары ӨСОА сияқты бастамашы факторлардың ұзақ әсері созылмалы тыныс алу жеткіліксіздігінің үдемелі құбылыстарымен қайтымсыз бронхиалды обструкцияның дамуына әкеледі. Өкінішке орай, қазіргі уақытта ӨСОА емдеу стандарттары ауруды түрлендіретін терапияны ұсынбайды, және осыған орай генетикалық және патофизиологиялық механизмдерді терең түсіну жаңа терапевтік араласулар мен алдын алу стратегияларын әзірлеуге ықпал етеді [3]. Осы шолу ғылыми зерттеулердің соңғы нәтижелеріне негізделі отырып, ӨСОА генетикасы мен эпигенетикасын зерттеудегі жетістіктерін баяндауға арналған.

ӨСОА патогенезі. Қазіргі уақытта ӨСОА патогенезінің негізгі буындары белгілі, алайда ауру дамуының көптеген аспектілері түсініксіз. Тотығу стресс, протеазды-антипротеазды дисбаланс, жасушалық өлім мен қабынуға жауап беру ӨСОА патогенезінің аса маңызды рөл атқаратын негізгі процесстер болып табылады[4].

Сыртқы патогенді факторларға жауап ретінде шырышты бездердің көлемі мен мөлшерін ұлғаяуы, шырышты қабықтың қабынуы, эмфиземаның пайда болуы, альвеолдың ұсақ тыныс алу жолдарымен қосылуының бұзылуы, тыныс алу жолдарының саңылауында қабыну экссудаты түрінде пайда болатын бронх-өкпе аппаратының елеулі өзгерістері байқалады. Сондай-ақ мукоцилиарлық жетіспеушілік дамиды, антиоксиданттық және инфекцияға қарсы қорғаныс төмендейді, бронхта созылмалы, мезгіл-мезгіл асқынатын жұқпалы үдерістің дамуына ықпал етеді. Қабыну реакциясына нейтрофилдер, макрофагтар және Т-лимфоциттер, әсіресе CD8+-жасушалар барлық иммундық жасушалық элементтер басымдықпен қатысады. Созылмалы қабыну бронхтар мен өкпе паренхимасының қайтымсыз патологиялық өзгерістеріне алып келетін дәнекер-тоқпалы матрикс тұтастығының бұзылуына ықпал етеді [5].

Тұқым қуалайтын бейімділік ӨСОА даму қаупінің негізгі ішкі факторы болып табылады және иммунологиялық реактивтілік, өкпенің өсуі мен даму ерекшеліктерімен тығыз байланысты [6].

ӨСОА генетикасы. ӨСОА генетикалық негіздері көп жылдар бойы бүкіл әлемде кең ауқымды зерттеулердің объектісі болып табылады. Көптеген мультифакториалды аурулар сияқты ӨСОА кезіндегі генетикалық бейімділік факторларын және патогенетикалық механизмдерді анықтау белгілі бір қиындықтарға ие. Көбінесе, ауру сипатының түрлігіне байланысты. Өртүрлі фенотиптік белгілер күрделі қиылысатын немесе қиылыспайтын генетикалық желілермен жанама болуы мүмкін. Қазіргі заманғы диагностикалық технологияларды, мысалы, компьютерлік томографияны қолдана отырып, жекелеген фенотиптік көріністерді дәл өлшеу генотип-фенотиптік корреляцияларды нақты анықтауға мүмкіндік береді [7].

Ерте генетикалық тәсілге ӨСОА отбасында кездесуінің ерекшеліктерін зерттеу, егіздік және сегрегациялық зерттеулер кірді. ӨСОА ерлі-зайыптыларға қарағанда ата-аналар мен балалар немесе аға-інілер мен апа-қарындастар арасындағы анық корреляцияны көрсететіндігі анықталды. Егіздік зерттеулер мен сегрегациялық талдау ӨСОА-ға генетикалық сезімталдық аздаған әсері бар көптеген гендермен, сондай-ақ ауруға елеулі үлесі бар бірнеше гендермен байланысты деп болжауға мүмкіндік берді [8].

Тіркесіп талдауға қосымша отбасында ӨСОА гендерінің полиморфты нұсқаларының ассоциацияларын зерттеу кең таралған. Өкпенің созылмалы обструктивті ауруларының қаупін арттыратын алғашқы мутациялардың бірі альфа-1-антитрипсинді (ААТ) кодтайтын SERPINA1 генінде анықталған [9]. ААТ- бауырда синтезделетін ақуыз, ферменттерді инактивациялауға қатысады. Оның негізгі функциясы қабынуға және зақымдануға жауап ретінде нейтрофилдер арқылы синтезделген эластазадан өкпені қорғау болып табылады. Эластаза- протеолитикалық белсенділігі бар ферменттер тобы, өкпеде көп мөлшерде кездесетін серпімді талшықтар түзетін дәнекер тініндегі фибрилярлы ақуыздарды гидролиздейді [10]. ААТ-нің жетіспеушілігі байқалған жағдайда, эластазаның концентрациясы артып, өкпе тіндерін жойылуына эмфиземаға әкеліп соғады. ААТ эластазадан басқа, 3 (PR3) протеиназасын және G катепсинін; калликреиндерді, матриптазаны, каспазаны-3 және ADAM-17 қоса басқа серин протеиназаларын тежейді [11].

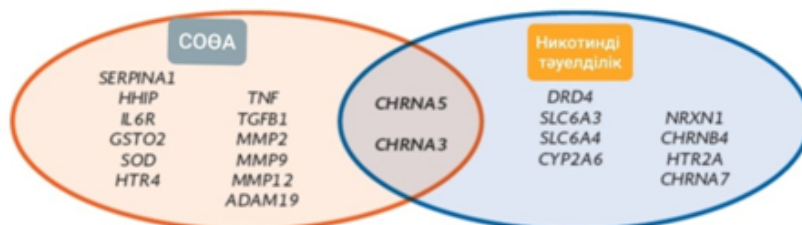
ААТ тапшылығы альвеол мен ұсақ тыныс алу жолдарының үдемелі бұзылуын туындатады және ӨСОА кезінде дамитын протеазды/антипротеазды теңгерімсіздіктің негізгі компоненті болып табылады. Осылайша, генетикалық мутациядан себеп болуы мүмкін ААТ жүйелік тапшылығы бауыр қызметінің бұзылуына және өкпе деструкциясымен бірге жүретін өкпенің созылмалы ауруларына әкеледі [12].

ӨСОА-ның кандидаттық гендерінің бастапқы зерттеулері көп үміт күттіретін болса да, көптеген нәтижелер келесі талдауларда қайталанбады. Сонымен қатар, анықталған ассоциациялар барлық геном - $p < 5 \times 10^{-8}$ үшін статистикалық маңыздылық деңгейіне сирек қол жеткізді, сондай-ақ көптеген елеуетті гендер мета-талдауларда зерттеулерді біріктіру кезінде маңызды бола алмады. Кандидат-гендерді зерттеу кезінде этникалық тиістілікті есепке алудың маңыздылығы атап өтіледі, өйткені көптеген нәтижелер тек бір этникалық топқа ғана тиесілі [13].

Кастальди және оның әріптестері 2009 жылға дейін ӨСОА-да кездесетін кандидат гендер ассоциацияның зерттеулеріне мета-талдау жүргізді. Олар 3 немесе одан да көп тәуелсіз популяцияларда зерттелген 27 нұсқаны анықтады. Бұл зерттеуде статистикалық мәнділік глутатион-S-трансферазы 1 (GSTM1) генінің, ісік некрозы факторының генінің (TNF), бета-1 өсуінің өзгермелі факторының (TGFB1) генінің және 3 супероксиддисмутаза (SOD3) генінің нұсқалары үшін анықталды. Сезімталдықты бағалағаннан кейін тек GSTM1 локусы елеуетті ассоциациядан тұрақты қалды. Бұл зерттеу ӨСОА түрінде генетикалық нұсқаларды анықтау барысында үміткер гендерді талдаудың мүмкіндігі шектеулі екендігін көрсетеді [14].

"Бақылау-жағдай" зерттеулері жекелеген гендердің аурудың патофизиологиясына қатысуын анықтауға мүмкіндік береді, ал бүкіл геномның ассоциативті зерттеулері (GWAS) полигонды аурулардың генетикалық нұсқаларының барлық геномдық жиынтығын сәйкестендіреді. Когортты зерттеулерде ассоциациялардың едәуір көп саны генетикалық нұсқалар мен өкпе функциясының спирометриялық көрсеткіштері арасында табылған. ӨСОА-ғы ең маңызды гендер CHRNA3/5 (альфа 3/5 холинергиялық никотин рецепторы),

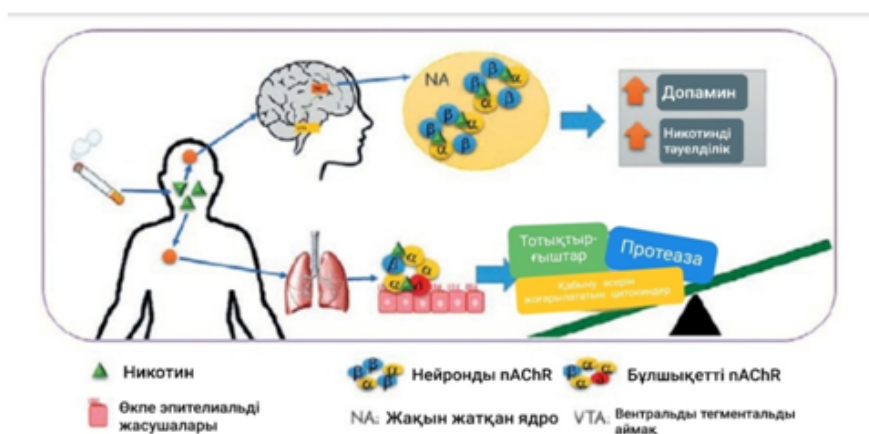
IREB2 (2 темір-сезімтал элементті байланыстыратын ақуыз), HHIP (Hedgehog-пен өзара әрекеттесетін ақуыз), FAM13A (13-а мүшесі сияқты отбасы) және AGER (рецепторларға тән ерекше гликозилдеудің кеңейтілген рецепторы) болып табылады (1-сурет). Олардың оң қауымдастығы бірнеше популяцияларда табылған, алайда бұл гендердің функционалдық маңыздылығын анықтау үшін қосымша зерттеулер жүргізу қажет. Оларды диагностикалық биомаркерлер немесе ӨСОА емдеу нысаналары ретінде пайдалану көзделеді [15].



Сурет 1 – Өкпенің созылмалы обструктивті ауруы және никотинге тәуелді, сондай-ақ екі патологияда байланыста болған негізгі гендер [16].

GWAS зерттеулері ӨСОА қаупіне әсер ететін 15q25 CHRNA3, CHRNA5 және IREB2 10-12., гендерді хромосомада анықтауға мүмкіндік берді. Никотин ацетилхолин рецепторы (ағылш. nACh-receptor) цетилхолинмен немесе никотинмен белсендірілген кезде синапстар арқылы нерв импульсін беруді қамтамасыз ететін цистеин ілгектері бар лиганд-тәуелді иондық арналар тобының мүшесі болып табылады. nAChrs никотиннің мінез-құлық әсерін реттейді (1-сурет). Мысалы, nAChr - CHRNA5 (rs16969968) генінің мутантты аллеліне ие темекі шегушілер осы аллелі жоқ темекі шегушілерге

қарағанда жиі темекі шегеді. Жиі темекі шегетін адамдарға темекі түтіні қарқынды әсер етуі нәтижесінде тыныс алу жолдарының эпителий қабаты функциясының бұзылуына және ӨСОА даму қаупін тудырады (2-сурет). Толық геномды ассоциативті зерттеулер, сондай-ақ CHRNA3/CHRNA5 локусы өкпе обырымен және басқа да аурулармен байланысы бар екендігі анықталды [17].



Сурет 2 – Никотин тәуелділігіне және өкпенің созылмалы обструктивті ауруларына никотин холинергиялық рецепторлардың қос қатысуы туралы ұсыныс [18].

ӨСОА-ға сезімталдық локусы 15 (15q25.1) хромосомада орналасқан және мРНҚ байланыстыру жолымен темір метаболизмін реттеуге қатысатын IRP2 - ақуызды кодтайтын ireb2 генінен тұрады. Темір гомеостазының қатты реттелуі қалыпты жасушалық функцияларды қолдау үшін ғана емес, сонымен қатар тотығу стресс және оның жоғары концентрациясы туындаған зақымдануларды болдырмау үшін де шешуші мәнге ие. Сау

темекі шегушілер мен ӨСОА диагнозы қойылған темекі шегушілердің өкпесінде темірдің бос атомдары жиналады, сол сияқты әуе поллютанттарының әсеріне ұшыраған адамдардан да байқалады. Бос темір атомдары артық болғанда, оттегінің белсенді формаларымен байланысып, ол өкпе жасушалары мен тіндерінің зақымдануына себеп болады [19].

Толық геномдық ассоциативті зерттеулер нәтижесінде 4 хромосомада орналасқан ӨСОА-ға жоғары сезімталдық локустарын анықтауға мүмкіндік берді: 4Q22 (FAM13) және 4Q31 (HNIP). СОӨА-да FAM13A генінде бір нуклеотидтік полиморфизмі (SNP) ең жоғары ассоциацияны көрсетті [20]. Бұл геннің функциясы әлі толық зерттелмеген болса да, fam13a гипоксияға жауап ретінде жасушалық сигналды беруге қатысады деп болжанады. Ең статистикалық маңызды бір нуклеотидтік полиморфизмдері Rho GTPase белсендіруші ақуыз (RhoGAP) доменінің төменгі аймағында интронды бөлігінде орналасқан[21]. ӨСОА қауіпі бар науқастардың өкпесінде FAM13A гені жоғары деңгейде экспрессияланады. Таяуда жарыққа шыққан мақалада FAM13A нөлдік тышқандардан қарағанда-түтіннен туындаған созылмалы эмфиземаға төзімді болып келетіні айтылған[22]. Сонымен қатар, fam13a 2A протеинфосфатазасымен өзара әрекеттесу жолымен катенин жолын құрайды және β -катениннің дегредациясына әкелетін гликогенсинтазинкиназа 3 β белсенділігін реттеу үшін 2A протеинфосфатазасын толықтырады. Бұл нәтижелер fam13a β -Катенин сигналдық жолдарын тежей отырып, эмфиземаның дамуына тіндердің сезімталдығын арттыра алатынын көрсетеді. Ол жасушалар мен жасушалардың дифференциалдануын және жасушалардың пролиферациясын шектейді. FAM13A болмаған кезде β -катенин жолы қалпына келтіріледі, бұл темекі түтінінің әсерінен кейін өкпенің альвеолярлы эпителиалды жасушаларында өкпе репарациясының тиімді бағдарламасына әкеледі [23].

ӨСОА эпигенетикалық ерекшеліктері. Эпигенетикалық регуляция ӨСОА патогенезіне қатысатын гендердің белсенділігінің өзгеруінде маңызды рөл атқарады. Қазіргі уақытта анықталған эпигенетикалық механизмдер ДНҚ метилденуін, гистондардың метилденуін және ацетилденуін, сондай-ақ микроРНК экспрессиясын қамтиды. Эпигенетикалық модификациялар ДНҚ метилденуін, гистон ақуыздарының ковалентті модификациясын, микроРНК мен мРНК арасындағы өзара әрекеттесуді қосатын ковалентті емес байланыстардың пайда болуын қамтиды. Әдетте, CpG динуклеотидтеріндегі цитозиннің 5' жағдайындағы көміртегі метилденуге ұшырайды. ДНҚ метилденуі хроматиннің құрылымын өзгертіп, оның агрегациясына кластерлерге және транскрипциялық белсенділіктің жоғалуына әкеп соқтыруы мүмкін. Қарқынды темекі шегу тыныс алу жолдары жасушасындағы көптеген гендердің басқа да эпигенетикалық өзгерістерімен корреляцияланады. Бұл метилденумен, тіндегі репарацияның төмендеуі Сонымен қатар, бұл өзгерістер ӨСОА ауырлығымен байланысты болатынын көрсетті [24].

H3 және H4 гистон белоктардың ұштарындағы аминқышқылды қалдықтарының посттранскрипционды модификациясы хроматиннің әртүрлі коактиваторлар немесе корепрессорлар үшін қолжетімділігін анықтайды. Гистонды ацетилдеу гистонацетилтрансферазаның (НАТ) және гистондеацетилазаның (HDAC) деңгейлері мен белсенділіктерімен реттеледі. НАТ белсенділігінің артуы гистондардағы лизин қалдықтарының ацетилденуін және гендердің транскрипциясын арттырады, ал HDAC белсенділігінің артуы гендердің транскрипциясын теріс реттейді. Болжам бойынша, HDAC2 белсенділігінің ингибирлеуі ӨСОА кезінде бақылатын глюкокортикоидтарға төзімділікке әкеледі. Бұл ӨСОА науқастарынан алынған өкпе және макрофагтардың биоптаталарында HDAC2 белсенділігінің төмендеуі және гистондардың H2A, H2B, H3 және H4 ацетилдеуінің жоғарылауы анықталды [25].

Негізінен сателлитті бұлшықет жасушаларының дифференцировкасын басу арқылы ДНҚ метилденуімен қаңқа бұлшықет тінінің азаюын байланыстырады. ӨСОА науқастарындағы ДНҚ метилденуін зерттеу дифференциалды метилденудің локустары CHRM1, GLT1D1 және C10 немесе f11-де оқшауланғанын көрсетті, ал егер GWAS зерттеулерінің р-мәніне байланысты қарастырсақ, FRMD4A, THSD4 және C10 немесе f11 локустары ең маңызды екенін көрсетеді. Сондай-ақ, бұлшықеттердің дамуында микроРНК (miR) маңызды рөл атқарады, олардың көбі тін-спецификалық болып табылады. Белгілі болғандай, miR-1, miR-133 және miR-206 қаңқа

бұлшық еттерінде жиі кездеседі. MiR-133 бұлшықеттерді HDAC4-ке ықпал етеді, ал miR-133 миобластардың пролиферациясын ынталандырып және осылайша миотубулдың түзілуін бәсеңдетіп сарысуға жауап факторын ингибирлейді. ДНҚ-полимеразаны- α реттейтін MiR-206 миотубуланың P180 суббірлігі арқылы түзілуіне ықпал етеді. MiR-206 және miR-486 миобластардың дифференцировкасына ықпал етеді және осы микроРНК экспрессиясының ингибирленуі жасушалардың дифференцировкасын ұстай алатындығын көрсетті. Жоғарыда көрсетілген эпигенетикалық өзгерістер бұлшықет дисфункциясының негізгі факторларына және ӨСОА науқастарындағы бұлшықет массасының жоғалуына әсер етуі мүмкін [26].

Данг пен оның әріптестері өкпе тіндерінің үлгісіндегі miR-145-5p экспрессиясының деңгейін, сондай-ақ адам қалыпты бронхының эпителиалды жасушаларындағы (HBECS) апоптозының реттеуіш рөлін және темекі түтінінің сығындысы (CSE) әсерінен кейін болатын қабынуды зерттеді. Темекі шекпейтін адамдардан қарағанда темекі шегетін ӨСОА диагнозы бар немесе жоқ адамдардың өкпе тіндерінде айтарлықтай miR-145-5p экспрессиясы төмендегені анықтады. Алынған нәтижелердің негізінде авторлар CSE негізінде туындаған тыныс алу жолдарының эпителиалды жасушалардың қабынуы мен апоптоз процесі барысында miR-145-5p қорғаныс рөлін атқарады және көбінесе, NF- κ B сигналдық жолын реттеуді деп болжады [27].

Као және оның әріптестері ӨСОА науқастарының перифериялық қанынан бөлініп алынған miR-183, miR-200b және miR-200c экспрессиясының жоғары деңгейін байқаған, бірақ ӨСОА ауырлығының әртүрлі дәрежелері арасында елеулі айырмашылықтарды байқалмаған. Олардың зерттеуі ӨСОА науқастарының перифериялық қанындағы miR-183 экспрессия деңгейінің жоғары болуы, өз кезегінде аурудың ауырлығын салыстырушы ВКС α β 1 (Ca²⁺-activated K⁺ channel) экспрессиясының реттелуіне қатысуы мүмкін екенін көрсетті. Осыған орай, ВКС α β 1 және miR-183 ӨСОА-ын клиникалық диагностикалау және емдеу үшін перспективті биомаркерлер ретінде деп санауға болады [28].

Молина-Пинело және оның әріптестерімен жарияланған зерттеуде әр түрлі микроРНК (66 микроРНК) профилдер экспрессиясын сәйкестендірген және тапқан. miR-132 және miR-212 ӨСОА науқастарында белсендірілгендігін көрсетті; алайда темекі шегу статусы мен микроРНК экспрессиясының сипаты арасында айқын корреляция анықталған жоқ. Осыдан басқа, авторлар мРНК альфа1-антитрипсин мен miR-132-212 кластерінің экспрессиясы арасында теріс корреляция тапты. Осы мәліметтерге сәйкес альфа1-антитрипсин мРНК miR-132-212 кластері үшін нысан ретінде ұсынылған, ал оның тапшылығы ӨСОА дамуымен байланысты [29].

Қорытынды. ӨСОА-дамуына көптеген гендер мен эпигенетикалық факторлар қатысатын кешенді ауру. Алдыңғы зерттеулер эпигенетикалық механизмдердің олардың әртүрлі гендердің экспрессиясын модуляциялау қабілетіне байланысты ӨСОА патогенезінде маңызды рөл атқаратынын куәландырады. ӨСОА кезінде ДНҚ метилдеу паттерналары, хроматинді ремоделдеу және микроРНК экспрессиясының және науқастардың топшаларында өз ерекшеліктері бар. Темекі түтінінің немесе басқа да ауа ластағыштардың созылмалы әсері эпигенетикалық модификациялардың пайда болуын, өкпе тінінің жасушалық сәулегінің өзгеруін және эпителийдің дисфункциясын туындатуы мүмкін. ӨСОА науқастарындағы өкпе тініндегі эпигенетикалық бұзылыстарды одан әрі сәйкестендіру және осы деректерді науқастарды стратификациялау үшін арнайы биомаркерлерді анықтау және терапияның жаңа тәсілдерін әзірлеу мақсатында аурудың патофизиологиясын егжей-тегжейлі талдаумен салыстыру қажеттілігі бар.

Әдебиеттер тізімі

- 1 May S., Li J. Burden of chronic obstructive pulmonary disease: Healthcare costs and beyond // *Allergy Asthma Proc.* - 2015. - Vol. 36 (1). - P. 4-10.
- 2 Huang X., Mu X., Deng L., Fu A., Pu E., Tang T., Kong X. The etiologic origins for chronic obstructive pulmonary disease // *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease.* - 2019. - Vol. 14. - P. 1139-1158.
- 3 Berndt A., Leme A., and Shapiro S. Emerging genetics of COPD // *EMBO Mol Med.* - 2012. - Vol. 4(11). - P. 1144-1155.

- 4 Jo S.Y., Lim M. N., Han Y.J., and Kim W. J. Epidemiological study of PM2.5 and risk of COPD-related hospital visits in association with particle constituents in Chuncheon, Korea // *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* - 2018. - Vol. 13. - P. 299-307.
- 5 Воронина Л. П. Хроническая обструктивная болезнь легких в практике гериатра. // *Медицинские новости.* - 2014. - №3. - С. 17-22.
- 6 Spirometry for health care providers // *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD)* -2016. -P.2-6 [Электронды? ресурсы] URL: <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2016/04/GOLDSpirometry-2010.pdf>. (К?ні: 15.01.2020).
- 7 Kim V. and Criner G.J. The Chronic Bronchitis Phenotype in COPD: Features and Implications // *Curr Opin Pulm Med.* - 2015. - Vol. 21(2). - P. 133-141.
- 8 Berndt A., Leme A., and Shapiro S. Emerging genetics of COPD // *EMBO Mol Med.* - 2012. - Vol. 4(11) - P. 1144-1149.
- 9 Greene C.M., Marciniak S.J., Teckman J., Ferrarotti I. et al. α 1-antitrypsin deficiency // *Nature Reviews Disease Primers.* - 2016. - P. 28 - 2.
- 10 Alpha-1 antitrypsin // From Wikipedia, the free encyclopedia -2004- P.1-2 [Электронды? ресурсы] URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha-1-antitrypsin>. (К?ні: 17.01.2020).
- 11 Berndt A., Leme A., and Shapiro S. Emerging genetics of COPD // *EMBO Mol Med.* - 2012. - Vol. 4(11). - P. 1150-1155.
- 12 Kass I., Knaupp A.S, Bottomley S.P., Buckle A.M., Biophys J. Conformational properties of the disease-causing Z variant of α 1-antitrypsin revealed by theory and experiment // *National Center for Biotechnology Information.* - 2012. - Vol. 102(12). - P. 2856-65.
- 13 Reinhold D., Morrow J.D., Jacobson S. et al. Meta-analysis of peripheral blood gene expression modules for COPD phenotypes // *Plos one.* - 2017. - Vol. 12(10). - P. 1-20.
- 14 Hardin M. and Silverman E.K. Chronic Obstructive Pulmonary Disease Genetics: A Review of the Past and a Look Into the Future // *Chronic Obstr Pulm Dis.* - 2014. - Vol. 1(1). - P. 33-46.
- 15 Cho M.H., Boutaoui N., Klanderman B. J. et al. Variants in FAM13A are associated with chronic obstructive pulmonary disease // *Nature Genetics.* - 2010 - Vol. 42(3). - P. 200-202.
- 16 Rubio G.P., Lanus E.C., Cupertino P. et al. Role of Genetic Susceptibility in Nicotine Addiction and Chronic Obstructive Pulmonary Disease // *Rev Invest Clin.* - 2019. - Vol. 71. - P. 36-54.
- 17 Hardin M., Zielinski J., Wan E.S. et al. CHRNA3/5, IREB2, and ADCY2 Are Associated with Severe Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Poland // *Am J Respir Cell Mol Biol.* - 2012. - Vol. 47(2). - P. 203-208.
- 18 Rubio G.P., Lanus E.C. et al. Role of Genetic Susceptibility in Nicotine Addiction and Chronic Obstructive Pulmonary Disease // *Rev Invest Clin.* - 2019. - Vol. 71. - P. 36-54.
- 19 Zhou H., Yang J., Li D., Xiao J., Wang B. et al. Association of IREB2 and CHRNA3/5 polymorphisms with COPD and COPD-related phenotypes in a Chinese Han population // *Human genetics.* - 2012. - Vol. 57. - P. 738-746.
- 20 Cho M.H., Boutaoui N., Klanderman B.J., Sylvia J.S., Ziniti J.P. et al. Variants in FAM13A are associated with chronic obstructive pulmonary disease // *Nat Genet.* - 2010. - Vol. 42(3). - P. 200-2.
- 21 Kim W.J., Lim M.N., Hong Y., Silverman E.K. et al. Association of lung function genes with chronic obstructive pulmonary disease // *Lung.* - 2014. - Vol. 192(4). - P. 473-80.
- 22 Fineschi S., Cunto D.G., Facchinetti F., Civelli M. et al. Receptor for advanced glycation end products contributes to postnatal pulmonary development and adult lung maintenance program in mice // *National Center for Biotechnology Information* - 2013. - Vol. 48(2) - P. 164-71.
- 23 Malhotra R. and Vaarala O. Genetics Association and Epigenetic Changes in COPD // *Intech.* - 2017. - Vol. 23(9) - P. 2810-2819.
- 24 Wu D.D., Song J. et al. The potential for targeted rewriting of epigenetic marks in COPD as a new therapeutic approach // *Pharmacology Therapeutics.* - 2018. - Vol. 182. - P. 1-14.
- 25 Morrow J.D., Chase R.P., Parker M.M. et al. RNA-sequencing across three matched tissues reveals shared and tissue-specific gene expression and pathway signatures of COPD // *Respir Res.* - 2019. - Vol. 20 - P. 65.
- 26 Dang X., Yang L., Guo J. et al. miR-145-5p is associated with smoke-related chronic obstructive pulmonary disease via targeting KLF5 // *Chem Biol Interact.* - 2019. - Vol. 25(300) - P. 82-90.
- 27 Cao Z., Zhang N., Lou T. et al. microRNA-183 down-regulates the expression of BKCa α 1 protein that is related to the severity of chronic obstructive pulmonary disease // *Hippokratia.* - 2014. - Vol. 18(4). - P. 328-32.
- 28 Pinelo S. M., Pastor M.D., Suarez R. et al. MicroRNA clusters: dysregulation in lung adenocarcinoma and COPD // *European Respiratory Journal.* - 2014. - Vol. 43. - P. 1740-1749.

М.А.Садвокасова, Б.А.Азимханова, А.А.Арипова, А.Ю.Акпарова, Р.И.Берсимбай

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

Генетическая и эпигенетическая гетерогенность хронической обструктивной болезни легких

Аннотация. Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – глобальное хроническое заболевание дыхательной системы. Формирование патологических изменений в легких в первую очередь связано с воздействием вредных агентов табачного дыма на эпителий дыхательных путей. Кроме активации ключевых процессов ХОБЛ, в развитии болезни

важная роль отводится генетическим детерминантам и нарушению эпигенетической регуляции, включая изменения метилирования ДНК, модификации гистонов и экспрессии микроРНК. В статье рассматриваются генетические и эпигенетические аспекты ХОБЛ как неоднородного заболевания со сложным патогенезом.

Ключевые слова. хроническая обструктивная болезнь легких, генетические факторы риска, метилирование ДНК, модификация хроматина, микроРНК.

М.А.Sadvokasova, В.А.Azimkhanova, А.А. Aripova, А.Ю. Akparova, Р.И.Bersimbaev

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

Genetic and epigenetic heterogeneity of chronic obstructive pulmonary disease

Abstract. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is a global chronic disease of the respiratory system. The formation of pathological changes in the lungs is primarily associated with the impact of harmful chemicals of the tobacco smoke on the epithelium of the respiratory tract. In addition to the activation of key COPD processes, an important role in the development of the disease played by genetic determinants and disruption of epigenetic regulation, including changes in DNA methylation, histone modification, and microRNA expression. The article discusses the genetic and epigenetic aspects of COPD as a heterogeneous disease with a complex pathogenesis.

Keywords. chronic obstructive pulmonary disease, genetic risk factors, DNA methylation, chromatin modification, microRNA.

References

- 1 May S., Li J. Burden of chronic obstructive pulmonary disease: Healthcare costs and beyond, *Allergy Asthma Proc*, 36 (1), 4-10 (2015).
- 2 Huang X, Mu X, Deng L, Fu A, Pu E, Tang T, Kong X. The etiologic origins for chronic obstructive pulmonary disease: *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 14, 1139-1158(2019).
- 3 Berndt A, Leme A, and Shapiro S. Emerging genetics of COPD, *EMBO Mol Med*. 4(11), 1144-1155(2012).
- 4 Jo S.Y, Lim M N, Han Y.J, Kim W. J. Epidemiological study of PM2.5 and risk of COPD-related hospital visits in association with particle constituents in Chuncheon, Korea, *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 13, 299-307 (2018).
- 5 Voronina L. P. Khronicheskaya obstruktivnaya bolezn legkikh v praktike geriatra [Chronic obstructive pulmonary disease in the practice of a geriatrician], *Meditinskiye novosti [Medical news]*, 3, 17-22(2014).
- 6 Spirometry for health care providers, *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD)*, 2-6(2016) [Electronic resource] Available at: <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2016/04/GOLD-Spirometry-2010.pdf>. (Accessed: 15.01.2020).
- 7 Kim V. and Criner G.J. The Chronic Bronchitis Phenotype in COPD: Features and Implications, *Curr Opin Pulm Med*, 21(2), 133-141(2015).
- 8 Berndt A, Leme A. and Shapiro S. Emerging genetics of COPD, *EMBO Mol Med*, 4(11), 1144-1149(2012).
- 9 Greene C.M, Marciniak S.J, Teckman J, Ferrarotti I. et al. α 1-antitrypsin deficiency, *Nature Reviews Disease Primers*, 2, 28(2016).
- 10 Alpha-1 antitrypsin // From Wikipedia, the free encyclopedia, 1-2(2004) [Electronic resource] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha-1-antitrypsin>. (Accessed: 17.01.2020).
- 11 Berndt A, Leme A. and Shapiro S. Emerging genetics of COPD, *EMBO Mol Med*, 4(11), 1150-1155(2012).
- 12 Kass I, Knaupp A.S, Bottomley S.P, Buckle A.M, Biophys J. Conformational properties of the disease-causing Z variant of α 1-antitrypsin revealed by theory and experiment, *Biophys J*, 102(12), 2856-65(2012).
- 13 Reinhold D, Morrow J.D, Jacobson S. et al. Meta-analysis of peripheral blood gene expression modules for COPD phenotypes, *Plos one*, 12(10), 1-20(2017).
- 14 Hardin M. and Silverman E.K. Chronic Obstructive Pulmonary Disease Genetics: A Review of the Past and a Look Into the Future, *Chronic Obstr Pulm Dis*, 1(1), 33-46(2014).
- 15 Cho M.H, Boutaoui N, Klanderma B. J. et al. Variants in FAM13A are associated with chronic obstructive pulmonary disease, *Nature Genetics*, 42(3), 200-202(2010).
- 16 Rubio G.P, Lanus E.C, Cupertino P. et al. Role of Genetic Susceptibility in Nicotine Addiction and Chronic Obstructive Pulmonary Disease, *Rev Invest Clin*, 71, 36-54(2019).
- 17 Hardin M, Zielinski J, Wan E.S. et al. CHRNA3/5, IREB2, and ADCY2 Are Associated with Severe Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Poland, *Am J Respir Cell Mol Biol*, 47(2), 203-208(2012).
- 18 Rubio G.P, Lanus E.C. et al. Role of Genetic Susceptibility in Nicotine Addiction and Chronic Obstructive Pulmonary Disease, *Rev Invest Clin*, 71, 36-54(2019).
- 19 Zhou H, Yang J, Li D, Xiao J, Wang B. et al. Association of IREB2 and CHRNA3/5 polymorphisms with COPD and COPD-related phenotypes in a Chinese Han population, *Human genetics*, 57, 738-746(2012).
- 20 Cho M.H, Boutaoui N, Klanderma B.J, Sylvia J.S, Ziniti J.P. et al. Variants in FAM13A are associated with chronic obstructive pulmonary disease, *Nat Genet*, 42(3), 200-2(2010).
- 21 Kim W.J, Lim M.N, Hong Y, Silverman E.K. et al. Association of lung function genes with chronic obstructive pulmonary disease, *Lung*, 192(4), 473-80(2014).
- 22 Fineschi S, Cunto D.G, Facchinetti F, Civelli M. et al. Receptor for advanced glycation end products contributes to postnatal pulmonary development and adult lung maintenance program in mice, *National Center for Biotechnology Information*, 48(2), 164-71(2013).

- 23 Malhotra R. and Vaarala O. Genetics Association and Epigenetic Changes in COPD, *Intech*, 23(9), 2810-2819(2017).
- 24 Wu D.D, Song J. et al. The potential for targeted rewriting of epigenetic marks in COPD as a new therapeutic approach, *Pharmacology Therapeutics*, 182, 1-14(2018).
- 25 Morrow J.D, Chase R.P, Parker M.M. et al. RNA-sequencing across three matched tissues reveals shared and tissue-specific gene expression and pathway signatures of COPD, *Respir Res*, 20, 65(2019).
- 26 Dang X, Yang L, Guo J. et al. miR-145-5p is associated with smoke-related chronic obstructive pulmonary disease via targeting KLF5, *Chem Biol Interact*, 25(300), 82-90(2019).
- 27 Cao Z, Zhang N, Lou T. et al. microRNA-183 down-regulates the expression of BKCa_v1 protein that is related to the severity of chronic obstructive pulmonary disease, *Hippokratia*, 18(4), 328-32(2014).
- 28 Pinelo S. M, Pastor M.D, Suarez R. et al. MicroRNA clusters: dysregulation in lung adenocarcinoma and COPD, *European Respiratory Journal*, 43, 1740-1749(2014).

Авторлар туралы мәлімет:

Садвокасова М.А.- 2 курс магистранты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев көш. 2, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Әзімханова Б.Ә.- 2 курс магистранты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев көш. 2, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Арипова А.А.- PhD докторанты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев көш. 2, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Ақпарова А.Ю.- м.ғ.к., жалпы биология және геномика кафедрасының доценті, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев көш. 2, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Берсимбай Р.И.- б.ғ.д., ҚР ҰҒА академигі, жалпы биология және геномика кафедрасының меңгерушісі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев көш. 2, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Sadvokasova M.A. - 2nd year master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Azimkhanova B.A. - 2nd year master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Aripova A.A. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Akparova A.Yu. - candidate of medical sciences, Associate Professor of General biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Bersimbaev R.I. - doctor of biology sciences, Academician of the National Academy of Sciences, Head of the Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Редакцияға 14.04.2020 қабылданды

A.N. Kuprijanov¹, B.A. Turalin², N.V. Kurbatova², M.S. Kurmanbayeva²,
K.T. Abidkulova², A.A. Bazargaliyeva³

¹ "Kuzbass Botanical garden" Institute of Human ecology of the Federal research center of coal and coal chemistry of the Siberian branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo, Russia.

² al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³ Aktobe Regional State University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan
(E-mail: kupr42@yandex.ru, bauke_1982@mail.ru, kurbatova_nv77@mail.ru,
kurmanbayevakz@gmail.com, Karime.Abidkulova@kaznu.kz, aliya_baz@inbox.ru)

The structure of the populations of *Crambe tataria* Sebeók in the Aktobe Region

Abstract: *Crambe tataria* Sebeók is one from four species of genus *Crambe*, which grow on the territory of Kazakhstan. This species is listed in Red Data Book of Kazakhstan as rare endangered species, and its natural habitats are chalk areas of west part of the country. The structure of seven populations of *Crambe tataria* was studied in the Aktobe Region. The optimum habitat conditions for this species are northern and northeast slopes of chalk uplands, chestnut and light-chestnut soils. In unfavorable conditions of summits and southern slopes of lime uplands, *C. tataria* can form invasive-regressive populations with the prevalence of virgin plants. The variation of the structure of the populations does not lead to a decrease in their resistance, which highlights high plasticity of the species within chalk uplands.

Keywords: *Crambe tataria*, rare endangered species, population, Aktobe Region, population structure, population resistance.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-23-30>

Introduction. *Crambe tataria* Sebeók is a rare South European Mediterranean species that grows in the south of Russia, Austria, Czech Republic, Slovakia, Hungary, Romania, Bulgaria, and Turkey. In Russia, it grows in the steppe area, south Pre-Urals, submountain region of the Caucasus, and the Crimea. In the northern part of the areal, the species does not spread northward beyond the southern part of the forest-steppe zone. On the east, the spreading is limited by the Ural Mountains range, on the south - by the Caucasus Mountains [1-6]. In the southwest part of Europe, the species grows in the Ukraine, Moldova, Hungary, and south of Austria. As a stranger species, it can be sporadically found in the south of Western Siberia [7], Chelyabinsk Oblast [8] and Omsk [9] Oblast. There is evidence of it being found in Moscow Oblast [10] and south of Italy, where it appeared in 9th-10th centuries during the Huns invasion [11]. In Kazakhstan, it primarily spreads on chalk areas of west Kazakhstan [12-15] (Figure 1).

C. tataria is a rare, endangered species that is included in the Directive on Plant Protection [16]. It is a species included in the Red List of the endangered species of the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and Red List of Kazakhstan [17].

The flora of chalk areas in west Kazakhstan is unique and well researched. It includes a lot of rare species [18, 19]. Five types of species are listed in the Red List of Kazakhstan [17]. Presently, there is an increased interest in researching the population structure of rare plants growing on chalk areas [20].

The age-related structure is one of the significant features of the population because it provides the population system capacity for self-maintenance and determines its stability [21].

The study of the age-related (ontogenetic) structure of the populations of rare species is necessary for evaluation of the plants status and development of protective measures. Despite the actual rarity of *C. tataria*, its population structure is understudied.

The research was aimed to study the population structure of a rare and endangered species *Crambe tataria* Sebeók under the conditions of Aktobe Region. The main task of the study was to identify the population structure of the species.

Рисунок 1 – Figure 1. *C. tataria* on a chalk slope

Materials and Methods. The study was performed on the territory of the Aktobe Region. The floristic description was made on the areas with a high density of *Crambe tataria*. In total, seven populations (P) of *C. tataria* were studied.

P-1: 20 km westwards of Akrab Village, 220 m above the sea level, 50° 51836' N, 54° 93359' W of the chalk bald peak. The soils are not fully developed, lack humus horizon, and are covered with a layer of small chalk lumps. The area of the population is 1000 m²; total projective cover (TPC) is 10%, TPC of *C. tataria* is 1%. The population includes 22 species. The most widespread species in the canopy are *Anabasis truncata* (Schrenk) Bunge, *Anthemis trotzkiana* Claus ex Bunge, *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., *Matthiola superba* Conti, *Poa bulbosa* L., and *Seseli eriocephalum* (Pall. ex Spreng.) Schischk.

P-2: 20 km westwards of Akrab Village, 226 m above the sea level, 50° 51792' N, 54° 32769' W, southeastern slopes of chalk peaks with a slope of 20°. The soils are not fully developed, lack humus horizon, and are covered with a layer of small chalk lumps. The area of the population is 300 m², TPC is 15%, TPC of *C. tataria* is 1%, the population includes only 20 species. The most widespread species in the canopy are *Anabasis truncata* (Schrenk) Bunge, *Anthemis trotzkiana* Claus ex Bunge, *Centaurea sibirica* L., *Echinops meyeri* (DC.) Iljin, *Nanophyton erinaceum* (Pall.) Bunge, *Rindera tetraspis* Pall., and *Rhammatophyllum pachyrhizum* (Kar. & Kir.) O.E.Schulz.

P-3: 40 km to Wil Village, bald peaks of Akshatau, 160 m above the sea level, 49° 93420' N, 54° 51433' W, eastern slope of chalk bald peaks, valley, 20° slope. The soils are fully developed, light chestnut, mellow loamy with inclusions of lumps of pure chalks. The area of the population is 1000 m², TPC is 30%, TPC of *C. tataria* is 5%. The population includes 38 species. The most widespread species in the canopy are *Allium decipiens* Fisch. ex Schult. & Schult. f., *Alyssum tortuosum* Waldst. et Kit. ex Willd., *Anthemis trotzkiana* Claus ex Bunge, *Artemisia aralensis* Krasch., *A. salsaloides* Willd., *Astragalus aktubiensis* Knjasev, *A. varius* S.G. Gmel, *Ferula caspica* M.Bieb., *Limonium caspium* (Willd.) Gams, and *Taraxacum turgaicum* Schischk.

P-4: 40 km to Wil Village, bald peaks of Akshatau, 143 above the sea level, 49° 33529' N, 54° 50869' W, valley occupied by brushwood along the shores of temporary water flow. The soils are chestnut, fully developed, loamy. The area of the population is 1000 m², TPC is 100%, TPC of *C. tataria* is 5%. The population includes 33 species. The most widespread species in the canopy are *Achillea nobilis* L., *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Camphorosma monspeliaca* L., *Centaurea kasakorum* Iljin, *Echinops meyeri* L., *Ephedra distachya* L., *Euphorbia microcarpa* Prokh., *Ranunculus polyrhizos* Steph., *Rhinopetalum karelinii* Fisch. ex Alexander, *Scorzonera tuberosa* Pall.,

Tanacetum santolina C.Winkl., *Tragopogon ruber* S.G.Gmel., and *Tulipa biebersteiniana* Schult. & Schult. f.

P-5: 15 km northeastwards of Akshatau Village, 126 m above the sea level, 49° 33475' N, 54° 51334' W, northern slopes of chalk bald peaks. The soils are light chestnut, fully developed with numerous chalk inclusions. The area of the population is 2500 m², TPC is 30%, TPC of *C. tataria* is 3%. The area of the population includes 32 species. The most widespread species in the canopy are *Achillea micrantha* Willd., *A. millefolium* L., *Adonis wolgensis* Steven, *Artemisia marschalliana* Spreng., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Chaerophyllum prescottii* DC., *Chorisporea tenella* (Pall.) DC., and *Galatella villosa* (L.) Rchb. f.

P-6: 15 km northeastward of Akshatau Village, Mukashtau mountains (a complex of chalk small Akshatau mountains), 192 m above the sea level, 49° 43102' N, 54° 59277' W, the southwestern slope of chalk bold peaks. The soils are chestnut, not fully developed with numerous chalk inclusions. The area of the population is 200 m², TPC is 20%, TPC of *C. tataria* is 3%. The area of the population includes 29 species. The most widespread species in the canopy are *Allium inderiense* Fisch. ex Bunge, *Anthemis trotzkiana* Claus ex Bunge, *Artemisia lerchiana* Weber, *Echinops meyeri*, *Ephedra lomatolepis* Schrenk, *Glycyrrhiza korshinskyi*, *Onosma simplicissima* L., *Rhammatophyllum pachyrhizum* (Kar. & Kir.) O.E.Schulz, *Scorzonera pubescens* DC., *Seseli eriocephalum* (Pall. ex Spreng.) Schischk, and *Zygophyllum pinnatum* Cham.

P-7: 15 km northeastward of Akshatau Village, Mukashtau mountains (complex of chalk small Akshatau mountains), 125 m above the sea level, 49° 42394' N, 54° 58876' W, steep norther slope of 30° on chalk bald peaks. The soils are chestnut, fully developed, loamy, and loose with numerous chalk lumps inclusions. The area of the population is 3000 m², TPC is 35%, TPC of *C. tataria* is 5%. The area of the population includes 26 species. The most widespread species in the canopy are *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Astragalus testiculatus* Pall., *Caragana laeta* Kom., *Centaurea kasakorum* Iljin, *Goldbachia laevigata* (M. Bieb.) DC., *Nepeta cataria* L., *Serratula gmelinii* Tausch., and *Verbascum phoeniceum* L.

The borders of the population were defined by generally accepted methods [21]. The area of the population was identified using JPS system. Floristic descriptions were performed by a standard method in the area of 100 m². The authors evaluated the species composition, and general and individual projecting cover of each species. Twenty model plots (1 m²) were set inside the population area. A *C. tataria* species of any age was used as a counting unit. Age-related conditions of plants were defined according to the methodical recommendations [21-23]. The authors studied the structures of the population according to the Program and method of observation of plant populations [24]. A type of population was identified by Rabotnov's method [22] and the classification of "delta-omega" [25].

The index of age population (Δ) was calculated by the formula:

$$\Delta = \sum K_i m_i / \sum K_i,$$

where $\sum K_i$ is the sum of plants in all age-related conditions, m_i is the age-related condition of species [23]. Efficiency index (ω) was calculated by the formula:

$$\omega = \sum p_i e_i,$$

where $p_i = n_i/n$ is the share of plants of i^{th} condition in the specified population, n_i is the absolute number of plants of i^{th} condition, $n = \sum n_i$ is the total amount of plants, e_i - energetic effectiveness [25].

Population recovery index (I) is calculated by the formula:

$$I = \sum j \rightarrow v / \sum g1 \rightarrow g3,$$

where $\sum j \rightarrow v$ is the sum of plants in all age-related conditions of the pre-generative period, $\sum g1 \rightarrow g3$ is the sum of plants in all age-related conditions of the generative period [26].

Results and Discussion. By environmental condition, *C. tataria*'s habitats can be divided into favorable and unfavorable ones. Favorable habitat conditions are observed in the populations P-3,

P-4, P-5, P-7. As a rule, they are located on the northeast and north slopes or in the valley and have fully developed loose soil. Unfavorable habitat conditions are observed in the populations P-1, P-2 and P-6. These habitats are located on the peaks, south, or southwest slopes and have not fully developed soils with high water permeability, which are primarily alkaline.

The best total projective cover (TPC) was observed in the valley along the shores of the water flow (100%). For *C. tataria*, this is an uncommon place for the habitat. Its species spread in narrow lines along the swarded areas of steppe vegetation. Its share in the projective cover is 5%. In the rest of habitats, TPC varies from 10% to 35%. The biggest share of *C. tataria* in TPC was observed in P-3 (17%) and P-7 (14%). In the rest population, it occupies 6%-10% (Table 1).

The spread of the species on chalk uplands is uneven. The largest populations occupy 2500 - 3000 m² and are found on north and northeast slopes that are more protected from direct solar isolation and have more developed soil horizon. Single species that did not form populations were found on chalk uplands in the area of diluvial outwash. The highest density of species (more than 100 pcs/100 m²) was observed in the populations located in more favorable environmental conditions (P-3 and P-4), except for P-1, due to a higher number of plants in a virgin condition.

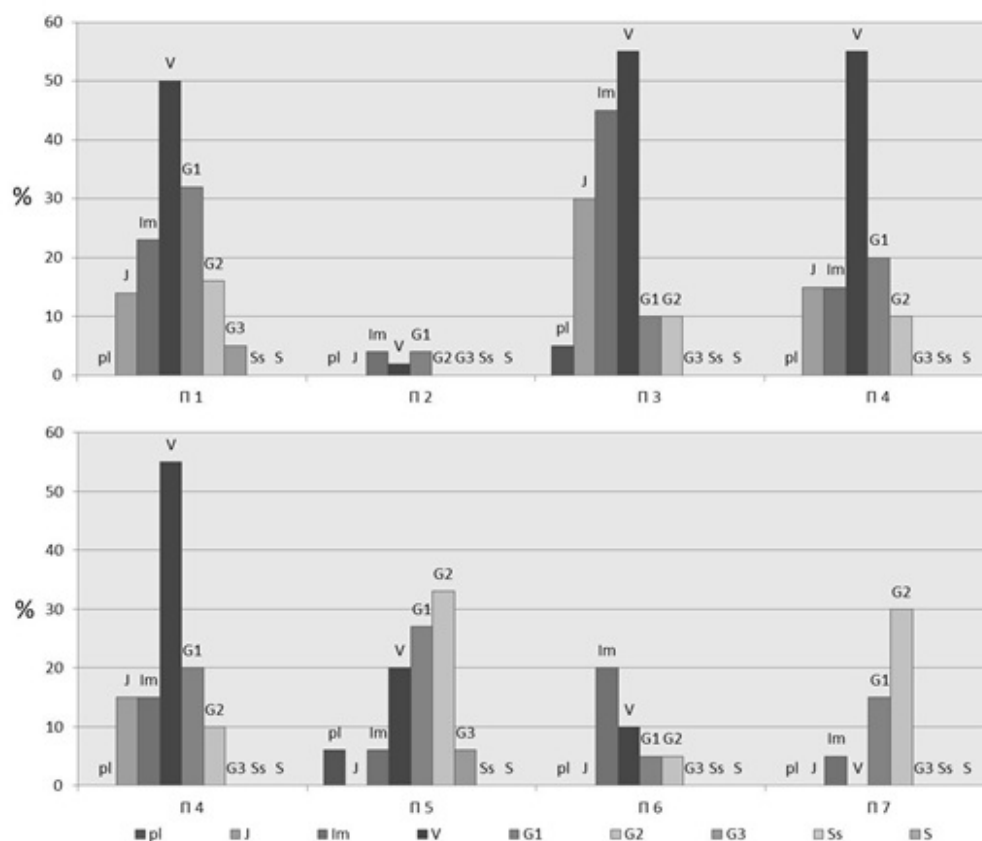
Table 1 - Features of *C. tataria* populations

Parameter	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7
Projective cover, %	10	15	30	100	30	20	35
Projective cover, <i>C. tataria</i> %	1	1	5	5	3	3	5
Population area, m ²	1000	300	1000	1000	2500	200	3000
Species density, pcs/100 m ²	140	10	150	115	98	40	50
Number of reproductive species in the population, pcs	530	0	200	300	1650	20	1800
Age index in the population (Δ)	0.18	0.15	0.11	0.16	0.31	0.13	0.15
Efficiency index (ω)	0.50	0.47	0.34	0.46	0.70	0.42	0.55
Population recovery index (I)	1.64	0	6.50	2.83	0.48	3.00	0.11

Population-demographic studies focus on the spectrum of age-related (ontogenetic) conditions that represents the intra-population distribution of species depending on the environmental conditions [27]. A certain ratio of the age-related groups provides a precise understanding of a general condition of a population, its capability of self-maintenance, and perspectives of its development.

Age-related spectra of the studied populations are presented in Figure 2. None of the populations included species that could be classified as senile or obsolescent. The types of age-related spectra are primarily left-sided, except for P-5 and P-7 that are right-sided. P-2 has a bimodal distribution with its maximum values in immature and young generative species.

C. tataria, studied by the age-related spectra, are classified as normal because they are capable of self-maintaining by the seed pathway and do not depend on stranger seeds. Nearly all the populations, except for P-7, are invasive because they have pre-generative species prevailing. Usually, such populations are characterized as young and expanding ones [28]. But in case of the population of *C. tataria*, this is associated with unfavorable development conditions. Probably, it is explained by the fact that plants that grow on the peaks, south and southwest slopes start to wither in virgin and even immature conditions not reaching the generative stage. Those populations are called invasive-regressive [29]. They can exist for a long time provided a population receives stranger seeds from outside. Taking into account that *C. tataria* has a tumbleweed lifeform, seeds can be obtained from other populations.

Рисунок 2 – Figure 2. Age-related structure of *C. tataria* populations

According to the classification of "delta-omega", nearly all the (P) populations are young, except for P-5 that is young and close to maturing according to the Zhivotovsky's classification [25] (Figure 2). Efficiency index (ω) is <0.6 as in young populations. Only in P-7, it is equal to 0.7, which makes it closer to a transition type. The index of population recovery (I) is normally >1 , except for P-2, P-5 and P-7, where it is <1 , and in P-2, it is 0 because generative species were not revealed (Table 1).

Conclusion. The analysis of the age-related structure of *C. tataria* population showed that the interpretation of a certain ontogenetic spectrum should be performed with the account and understanding of the environment of *C. tataria* habitat. The studies showed that the optimum habitat for this species is chestnut and light chestnut soil that are fully developed and have chalk inclusions. On the other hand, *C. tataria* can form invasive-regressive populations in extreme soil and ecological conditions on the peaks and south slopes of chalk uplands. The variance of the population structure does not lead to a decrease in the resistance of the population resistance. It highlights high plasticity of the species that grow on chalk uplands.

References

- 1 Добрачаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. Определитель высших растений Украины. Киев: Наукова думка. -1987. - 113 с.
- 2 Гейдеман Т.С. Определитель высших растений Молдавской ССР. Кишинев: Штиинца. -1975. - 225 с.
- 3 Гроссгейм А.А. Флора Кавказа. 2-е изд. Т.4. Nymphaeaceae - Platanaceae. Баку: Изд-во АЗАН СССР. - 1950. - С.175-176.
- 4 Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). Т.2. Москва.: Т-во научных изданий КМК. - 2003. -501с.
- 5 Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 10-е изд. Москва.: Т-во научных изданий КМК. - 2006. - 600 с.

- 6 Михайлова О.А. Катран татарский - *Grambe tatarica* Sebeok. // Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли, грибы. Симферополь: ООО "ИТ Ариал". - 2015. - 192 с.
- 7 Черняховская Е.Г. Катран - *Grambe* // Флора СССР, Т.8. М.: Изд-во АН СССР. - 1939. - С. 474-491.
- 8 Куликов П.В. *Grambe L.* - Катран // Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН. - 2010. - 301 с.
- 9 Малышев Л.И. *Grambe L.* - Катран // Флора Сибири в 14 томах, Т. 7. Berberidaceae- Grossulariaceae. Новосибирск: "Наука". - 1994. - 137 с.
- 10 Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербаков А.В. Адвентивная флора Москвы и Московской области. М.: Т-во научных изданий КМК. - 2012. - 158 с.
- 11 Prina A. Taxonomic review of the genus *Grambe* sect. *Grambe* (Brassicaceae, Brassicaceae). *Anales Jard. Bot. Madrid.* - 2009. 66(1). P. 7-24.
- 12 Васильева А.Н. Катран - *Grambe L.* // Флора Казахстана. Т. IV. Алма-Ата: изд-во АН Каз ССР. - 1961. - С. 303-305.
- 13 Котов М.И. Катран- *Grambe L.* // Флора Европейской части СССР. Т. 4. - 1979. - С. 48-52.
- 14 Айпишова С. А. Конспект флоры Актюбинского флористического округа. Актюбе. - 2012. - 175 с.
- 15 Дарбаева Т.Е. Конспект флоры меловых возвышенностей Северо-Западного Казахстана. Уральск. - 2002. - 107 с.
- 16 Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora
- 17 Красная книга Казахстана. Т.2, Ч. 2. Растения (Изд-е 2-е, исправленное и дополненное). Астана: LTD "Art-Print XXI". - 2014. - 452 с.
- 18 Дарбаева Т.Е. Меловая растительность урочища Алгабас // Эколого- социальные проблемы использования природных ресурсов Западного Казахстана. Уральск. - 1990. - С. 45-47.
- 19 Дарбаева Т.Е. Анализ флоры меловых обнажений Северного Прикаспия // Экосистемы Западного Казахстана. Уральск, - 1999. - С. 35-41. 20. Каримова О.А., Абрамова М.Н., Мустафина А.Н., Голованов Я.М. Состояние ценопопуляций *Anthemis trotzkiana* (Asteraceae) в Оренбургской области // Ботанический журнал. - 2018. Т. 103. № 6. - С. 740-754.
- 20 Животовский Л.А. Онтогенетические спектры, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. - 2001. № 1. - С. 3-7.
- 21 Смирнова О.В., Заугольнова Л.Б. Популяции растений (основные понятия и структура). М.: Наука. - 1976. - 217 с.
- 22 Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в лесных ценозах. Тр. БИНа АН СССР. Сер. 3. - 1950. Вып. 6. М.-Л. С. 7-204.
- 23 Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических процессов // Биологические Науки. - 1975. - № 2. - С. 7-34.
- 24 Программа и методика наблюдений за популяциями видов растений Красной Книги СССР /Сост. Л.В. Денисова и др. М.: ВНИИ охраны природы и заповедного дела - М. - 1986. - 34 с.
- 25 Жукова Л.А. Динамика популяций луговых растений в естественных фитоценозах // Динамика популяций травянистых растений. Киев: Наукова думка. - 1987. - С. 9-19.
- 26 Баранова О.Г. Изучение популяций растений "Красной Книги Удмурдской Республики" в природе и при интродукции. Ижевск. - 2006. - 74 с.
- 27 Пархоменко В.М., Кашин А.С. Возрастная и виталитетная структура популяций *Hypericum perforatum L.* на территории национального парка "Хвалынский" // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Самарская Лука. - 2009. - Т. 18. № 2. - С. 196-202.
- 28 Глазырина М. А., Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Чибрик Т. С. Изучение популяций растений на промышленных отвалах. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та. - 2016. - 228 с.

А.Н. Куприянов¹, Б.А. Туралин², Н.В. Курбатова², М.С. Курманбаева², К.Т. Абидкулова²,
А.А. Базаргалиева³

¹ Кузбасский ботанический сад Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН Кемерово, Россия

² Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³ Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

Структура популяций *Crambe tatarica* Sebeok в Актюбинской области

Аннотация. *Grambe tatarica* Sebeok - один из четырех видов рода *Crambe*, произрастающих на территории Казахстана. Этот вид занесен в Красную книгу Казахстана как редкий и находящийся под угрозой исчезновения, а его естественной средой обитания являются меловые районы западной части страны. В Актюбинской области изучена структура семи популяций редкого, исчезающего вида *Grambe tatarica* Sebeok. Оптимальными местообитаниями являются северные, северо-восточные склоны меловых возвышенностей, каштановые и светло-каштановые почвы. В неблагоприятных условиях вершин и южных склонов меловых возвышенностей *G. tatarica* способен образовывать инвазионно-регрессивные популяции с преобладанием особей виргинильного состояния. Варьирование структуры популяций не приводит к снижению их устойчивости, что подчеркивает высокую пластичность вида внутри меловых возвышенностей.

Ключевые слова. *Grambe tatarica*, редкий, находящийся под угрозой исчезновения вид, популяция, Актюбинская область, структура популяций, устойчивость популяций.

А.Н. Куприянов¹, Б.А. Туралин², Н.В. Курбатова², М.С. Курманбаева², К.Т. Абидкулова²,
А.А. Базарғалиева³

¹ Кузбасс ботаникалық бағы Федеральді зерттеу орталығы, көмір және көмір химиясы сiбір бөлiм, РАН, Кемерово, Ресей

² әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³ Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Ақтөбе облысындағы *Crambe tataria* Sebeok популяциясының құрылымы

Аңдатпа. Қазақстан аумағында өсетін *Crambe tataria* Sebeok, *Crambe*, туысының төрт түрінің бірі. Бұл түр, Қазақстанның Қызыл кітабында сирек кездесетін және жойылып кету қаупі төнген түрлердің тізіміне енгізілген, ал оның табиғи мекендеу ортасы елдің батыс аймағының Борлы аудандары болып табылады. Ақтөбе облысында жеті популяцияның құрылымы зерттелді. Ақтөбе облысында *Crambe tataria* Sebeok сирек кездесетін, жойылып бара жатқан түрдің жеті популяциясының құрылымы зерттелді. Бор қыратының солтүстік, солтүстік-шығыс беткейлері, каштан және ашық-каштан топырақтары қолайлы өсетін жерлер болып табылады. Биік бор шыңдарының оңтүстік беткейлері қолайсыз жағдайларда. *C. tataria* виргинелді жағдайы инвазиялық регрессивті популяциялар дарақтарын құруға қабілетті. Популяциялар құрылымының өзгеруі олардың тұрақтылығының төмендеуіне алып келмейді, бұл бор төбешіктеріндегі түрлердің жоғары икемділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: *Crambe tataria*, сирек, жойылып кету қаупі төнген түр, популяция, Ақтөбе облысы, популяция құрылымы, популяцияның тұрақтылығы.

References

- 1 Dobrochayeva D.N., Kotov M.I., Prokudin Yu.N. Opredelitel vysshikh rasteniy Ukrainy [Determinant of higher plants of Ukraine.] (Naukova dumka, Kiyev, 1987, 133 p) [in Russian].
- 2 Geydeman T.S. Opredelitel vysshikh rasteniy Moldavskoy SSR [Determinant of higher plants of the Moldavian SSR] (Shtiintsa, Kishinev, 1975, 225 p) [in Russian].
- 3 Grossgeym A.A. Flora Kavkaza. 2-e izd. T.4. Nymphaeaceae - Platanaceae [Flora of the Caucasus. 2 nd. ed. Vol. Nymphaeaceae-Platanaceae] (Izd-vo AzAN SSSR, Baku, 1950, 175-176 p) [in Russian].
- 4 Gubanov I.A., Kiseleva K.V., Novikov V.S., Tikhomirov V.N. Illyustrirovannyi opredelitel rasteniy Sredney Rossii. [Illustrated determinant of plants of Central Russia], Pokrytosemennyye [Angiosperms], (dvudolnyye: razdelnolepестnyye), [dicotyledons: razdelnyansky].2. (M.: T-vo nauchnykh izdaniy KMK. 2003. 501 p) [in Russian].
- 5 Mayevskiy P.F. Flora sredney polosy evropeyskoy chasti Rossii. [Flora of the middle zone of the European part of Russia], (10-e izd. M.: T-vo nauchnykh izdaniy KMK. 2006. 600 p) [in Russian].
- 6 Mikhaylova O.A. Katran tatarskiy - Grambe tataria Sibe?k. //Krasnaya kniga Respubliki Krym. [Red book of the Republic of Crimea], Rasteniya. vodorosli. griby. [Plants, algae, mushrooms], (Simeropol: ООО "IT Arial". 2016. 192 p).
- 7 Chernyakhovskaya E.G. Katran - Grambe // Flora SSSR. [Flora of the USSR], 8. (M.: Izd-vo AN SSSR. 1939. 474-491 p) [in Russian].
- 8 Kulikov P.V. Grambe L. - Katran // Opredelitel sosudistykh rasteniy Chelyabinskoy oblasti. [Determinant of vascular plants of Chelyabinsk region], (Ekaterinburg: UrO RAN. 2010. 301 p) [in Russian].
- 9 Malyshev L.I. Grambe L. - Katran // Flora Sibiri v 14 tomakh. [Flora of Siberia in 14 vol], 7. (Berberidaceae-Grossulariaceae. Novosibirsk: "Nauka". 1994. 137 p) [in Russian].
- 10 Mayorov S.R., Bochkina V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti. [Adventive flora of Moscow and Moscow region], (M.: T-vo nauchnykh izdaniy KMK. 2012. 158 p) [in Russian].
- 11 Prina A. Taxonomic review of the genus *Crambe* sect. *Crambe* (Brassicaceae, Brassiceae). Anales Jard. Bot. Madrid. 66(1), 7-24(2009).
- 12 Vasilyeva A.N. Katran - Grambe L. // Flora Kazakhstana. 4. [Flora of Kazakhstan, Vol. 4.], (Alma-Ata: izd-vo AN Kaz SSR. 1961. 303-305 p) [in Russian].
- 13 Kotov M.I. Katran- Grambe L. // Flora Evropeyskoy chasti SSSR. 4. [Flora of the European part of the USSR, Vol. 4], (L.: izd-vo Nauka. 1979. 48-52 p) [in Russian].
- 14 Aypisova S. A. Konspekt flory Aktyubinskogo floristicheskogo okruga. [Abstract of flora of the Aktobe floristic district], (Aktobe. 2012. 175 p) [in Russian].
- 15 Darbayeva T.E. Konspekt flory melovykh vozvyshehnostey Severo-Zapadnogo Kazakhstana [Analysis of the flora of Cretaceous outcrops of the Northern Caspian sea] (Uralsk. 2002. 107 p) [in Russian].
- 16 Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora [in England].
- 17 Krasnaya kniga Kazakhstana. [Red Book of Kazakstan] 2. Ch. 2. Plant (Izd.-e 2-e. ispravlennoye i dopolnennoye), [Vol.2, Part 2. Plants] (Ed. 2nd, revised), (LTD "Art-Print XXI". Astana. 2014. 452 p) [in Russian].
- 18 Darbaeva T.E. Melovaya rastitelnost urochishcha Algabas [Cretaceous vegetation of the tract Algabas], Ekologo-socialnye problemy ispolzovaniya prirodnih resursov Zapadnogo Kazahstana. [Ecological and social problems of natural resources use in Western Kazakhstan], (Uralsk. 1990. 45-47 p).
- 19 Darbaeva T.E. Analiz flory melovykh obnazhenij Severnogo Prikaspiya [Analysis of the flora of Cretaceous outcrops of the Northern Caspian sea], Ekosistemy Zapadnogo Kazahstana. [Ecosystems of Western Kazakhstan], (Uralsk, 1999. 35-41 p).

- 20 Karimova O.A., Abramova M.N., Mustafina A.N., Golovanov YA.M. Sostoyanie cenopopulyacij Anthemis troztkiana (Asteraceae) v Orenburgskoj oblasti [State of coenopopulations of Anthemis troztkiana (Asteraceae) in the Orenburg region], Botanicheskiy zhurnal. [Botanical journal], 103. (6). 740-754 (2018)
- 21 Zhivotovskiy L.A. Ontogeneticheskiye spektry. effektivnaya plotnost i klassifikatsiya populyatsiy rasteniy [Ontogenetic spectr, effective density and classification of plant populations] (Ekologiya. 1, 3-7 (2001) [in Russian].
- 22 Smirnova O.V., Zaugolnova L.B. Populyatsii rasteniy (osnovnyye ponyatiya i struktura) [Plant Populations], (basic concepts and structure), (Nauka. M., 1976. 217p) [in Russian].
- 23 Rabotnov T. A. Zhiznennyi tsikl mnogoletnikh travyanistykh rasteniy v lesnykh tsenozakh. [Life cycle of perennial herbaceous plants in forest coenoses.] Tr. BINA AN SSSR. [Tr. BIN, USSR Academy of Sciences.] 3 (6), 7-204. (1950) [in Russian].
- 24 Uranov A.A. Vozrastnoy spektr fitotsenopopulyatsiy kak funktsiya vremeni i energeticheskikh protsessov [Age spectrum of phytocenopopulations as a function of time and energy processes] // Biologicheskiye Nauki [Biological Sciences], 2, 7-34 (1975) [in Russian].
- 25 Programma i metodika nablyudeniy za populyatsiyami vidov rasteniy Krasnoy Knigi SSSR [Program and methodology for coenopopulations of plant species of the Red Book of the USSR]. (M. 1986. 34p) [in Russian].
- 26 Zhukova L.A. Dinamika populyatsiy lugovykh rasteniy v estestvennykh fitotsenozakh [Dynamics of meadow plant populations in natural phytocenoses] // Dinamika populyatsiy travyanistykh rasteniy [Dynamics of herbaceous plant populations]. (Naukova dumka, Kiyev, 9-19p (1987) [in Russian].
- 27 Baranova O.G. Izucheniye populyatsiy rasteniy "Krasnoy Knigi Udmurtskoy Respubliki" v prirode i pri introduktsii [Study of plant populations of the "red Book of the Udmurt Republic" in nature and during introduction] (Izhevsk, 2006. 74 p) [in Russian].
- 28 Parkhomenko V.M., Kashin A.S. Age and vital structure of Hypericum perforatum L. populations on the territory of the national Park "Khvalynsky" [Age and vital structure of Hypericum perforatum L. populations on the territory of the national Park "Khvalynsky"], Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii. Samarskaya Luka [Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii], 18 (2) 196-202 (2009) [in Russian].
- 29 Glazyrina M.A., Filimonova E.I., Lukina N.V., Chibrik T.S. Study of plant populations on industrial dumps [Study of plant populations on industrial dumps] (Ekaterinburg, 2016. 228p) [in Russian].

Сведения об авторах:

Кутриянов А.Н. - биология ғылымдарының докторы, профессор, Кузбасс ботаникалық бағының бөлім меңгерушісі Федеральді зерттеу орталығы, көмір және көмір химиясы сiбір бөлімі, РҒА, Ленинград даңғ. 10 Кемерово, Ресей.

Туралин Б.А. - PhD-докторантураның студенті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ. 71 Алматы, Қазақстан.

Курбатова Н.В. -биология ғылымдарының кандидаты, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ. 71 Алматы, Қазақстан.

Курманбаева М.С. - биология ғылымдарының докторы, профессор м.а., биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының меңгерушісі әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ. 71 Алматы, Қазақстан.

Абидкулова К.Т. - биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби даңғ. 71 Алматы, Қазақстан.

Базарғалиева А.А.- биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

Куприянов А. Н. - Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of the Kuzbass Botanical garden of the Federal research center of coal and coal chemistry of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences Ave. Leningradskiy 10, Kemerovo, Russia.

Turalin B.A. - PhD student, al-Farabi Kazakh National University, Ave. al-Farabi 71, Almaty, Kazakhstan .

Kurbatova N. V. - Candidate of biological Sciences, senior lecturer of the Department of biodiversity and bioresources al-Farabi Kazakh National University, Ave. al-Farabi 71, Almaty, Kazakhstan.

Kurmanbayeva M.S. - Doctor of Biological Sciences, acting Professor, head of the Department of biodiversity and bioresources al-Farabi Kazakh National University, Ave. al-Farabi 71, Almaty, Kazakhstan.

Abidkulova K. T. - Senior lecturer of the Departament of of biodiversity and bioresources al-Farabi Kazakh National University, Ave. al-Farabi 71, Almaty, Kazakhstan .

Bazargaliyeva A.A. - Candidate of biological Sciences, Associate Professor, Aktobe Regional state University named after K. Zhubanov, Ave. A. Muidagulova 34, Aktobe, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 14.05.2020

А.Т. Хусаинов, Г.Т. Кыздарбекова

*Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан
(E-mail: abil_tokan@mail.ru, gulmira_80_01@mail.ru)*

**Биологические свойства чернозёма обыкновенного и урожайность льна
масличного при внесении препарата «Агробионов» и минеральных удобрений**

Аннотация: К числу основных процессов деградации почв относится истощение органического углерода в почве. Повышение плодородия почвы может снизить риски деградации почвы и улучшить состояние окружающей среды.

В данной статье приводятся результаты исследования биологических свойств чернозема обыкновенного и урожайность льна масличного при внесении препарата «Агробионов» и минеральных удобрений.

Полевые опыты проводились на опытном поле Учебно-научно-производственного центра «Элит» Кокшетауского государственного университета имени Ш. Уалиханова. Микробиологическую активность почвы определяли методом аппликации льнополотна, микрофлору учитывали путем высева почвенной суспензии на твердые питательные среды. Установили влияние препарата «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями на состав микрофлоры, микробиологическую активность чернозема обыкновенного и урожайность семян льна масличного.

Препарат «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями оказал положительное воздействие на численность агрономически ценных групп микроорганизмов и на урожайность льна масличного.

Ключевые слова: чернозём обыкновенный, лен масличный, препарата «Агробионов» микрофлора, микробиологическая активность, урожайность.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-31-37>

Одним из основных факторов экологических процессов является плодородие почвы и поэтому относится к приоритетным экологическим исследованиям [1]. Быстрое промышленное развитие и человеческая деятельность привели к ухудшению качества почвы и ее плодородия. Растёт интерес к восстановлению почвенного плодородия для получения высоких и устойчивых урожаев. Biochar, углеродистый материал, произведённый из биомассы, широко используется в качестве удобрения, для улучшения плодородия почвы путём сохранения питательных веществ и, повышения биодоступности питательных элементов растениям. [2].

Утилизация золошлака вызывает значительные экономические и экологические проблемы. Золошлак загрязняет окружающую среду, в то же время он является важным сырьём для применения его в сельском хозяйстве [3]. Золошлак является мелиоративным препаратом, который улучшает физические, химические и биологические свойства проблемных почв и является источником легкодоступных растительных макроэлементов и микроэлементов [4]. Применение золошлака в небольших дозах в почве повышает содержание питательных микроэлементов, микробную активность и урожайность [5].

Применение органического удобрения может ещё больше усилить связи между растениями и микробами и повысить урожайность [6]. Внесение навоза является надёжной стратегией для регулирования урожайности сельскохозяйственных культур, благодаря улучшению почвенного плодородия [7]. Исследуемый нами препарат в некоторой степени является аналогом навоза в плане содержания в своём составе макро- и микроэлементов, в том числе и углерода.

А.А. Сарсенова также указывает, что 1кг внесённого препарата эквивалентно 100кг перегноя. Препарат «Агробионов» является катализатором микробиологических процессов [8].

Цель данной статьи – дать агроэкологическую оценку применения препарата «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями по биологическим свойствам чернозема обыкновенного и урожайности льна масличного.

Были поставлены следующие задачи: установить влияние препарата «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями на состав микрофлоры, микробиологическую активность чернозема обыкновенного и урожайность семян льна масличного.

В условиях Северного Казахстана установлено положительное влияние препарата в сочетании с минеральными удобрениями на микрофлору, микробиологическую активность чернозёма обыкновенного и урожайность льна масличного.

Объекты, условия и методика проведения исследования. Объект исследования: чернозём обыкновенный и лен масличный. Предмет исследования: препарат Агробионов, в порошковом виде, в состав которого входит низкокальциевая зола уноса каменных углей Экибастузского происхождения, технический углерод. Химический состав золы уноса углей Экибастузского месторождения: SiO_2 62,9%, Fe_2O_3 6,35%, Al_2O_3 26,35%, CaO 1,9%, MgO 0,9%, SO_3 1,2%, Na_2O 0,23%. Макро- и микроэлементный состав золы представлен следующими элементами по убыванию: $\text{K} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{Sr} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Sn} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Hg}$. Углерод технический состоит из углерода более чем на 99% (Сарсенова А.А. 2013).

Полевые исследования проводились на опытном поле Учебно-научно-производственного центра «Элит» Кокшетауского государственного университета имени Ш. Уалиханова.

Почва опытного участка – чернозём обыкновенный, среднесиловой, малогумусный, тяжелосуглинистый со следующими показателями: содержание гумуса 3,8%, легкогидролизуемого азота 46,0 мг/кг, подвижного фосфора 17,0 мг/кг и обменного калия 582 мг/кг. Реакция почвенного раствора слабощелочная (рН – 7,6). На основании данных были рассчитаны дозы минеральных удобрений под лен масличный. Полная расчётная доза составила 100 кг/га действующего вещества P_2O_5 .

Опыт «Оптимизация минерального питания путём внесения препарата из золошлаков и наночастиц углерода под посевы льна масличного» заложен в 4-х кратной повторности по следующей схеме: контроль - без применений удобрения; полная расчётная доза; препарат 100 кг/га + 1/2 расчётная доза; препарат 100 кг/га + 1/5 расчётная доза; препарат 100 кг/га + 1/10 расчётная доза; препарат 100 кг/га под предпосевную обработку почвы. Площадь делянки 125 м²; учётная площадь 100 м².

В опытах проведены следующие наблюдения: численность почвенных микроорганизмов учитывали путём высева почвенной суспензии на твёрдые питательные среды; бактерий, утилизирующие органические соединения азота на мясо-пептоном агаре (МПА); микроорганизмы, потребляющие минеральный азот на крахмально-аммиачном агаре; олигонитрофилы в среде Мишустинной; бактерий, мобилизующие минеральные фосфаты в среде Муромцева – Герретсена; целлюлозоразрушающие микроорганизмы в среде Гетчинсона; нитрификаторы - в водном агаре с добавлением двойной аммонийно-магниевой соли фосфорной кислоты; для грибов в среде Чапека, подкислённая молочной кислотой (Аристовская Т.В., Владимирская М.Е., Голлербах М.М. и др., 1962). Микробиологическая активность почвы – методом льяных полотён по Е.Н. Мишустину (1979). Учёт урожая - сплошным методом. Урожайные данные обрабатывали по методике Фишера в изложении Доспехова. Статистическая обработка результатов проводилась при помощи программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Представленные данные свидетельствуют о том, что общее количество микроорганизмов в чернозёме обыкновенном на варианте препарат 100кг/га + 1/10 расчётная доза составило 312,7 млн. КОЕ/г, что выше контроля на 182%; число бактерий, утилизирующие органические соединения азота составили на контроле 24,0 млн. КОЕ/г, а на удобренных вариантах их количество выше на 22,1-22,9 млн. КОЕ/г; число микроорганизмов, потребляющих минеральный азот составило 42,1-50,2 млн. КОЕ/г, на контроле 18,6 млн. КОЕ/г; число олигонитрофилов составило на контроле 76,5 млн. КОЕ/г, а на удобренных вариантах 106,2 – 115,4 млн. КОЕ/г, что выше контроля на 139% и 151%; наибольшее количество фосфоромобилизирующих микроорганизмов отмечено на варианте препарат 100кг/га + 1/10 расчётная доза – 109,8 млн. КОЕ/г, что превышает, уровень контроля в 2 раза (рис.1).

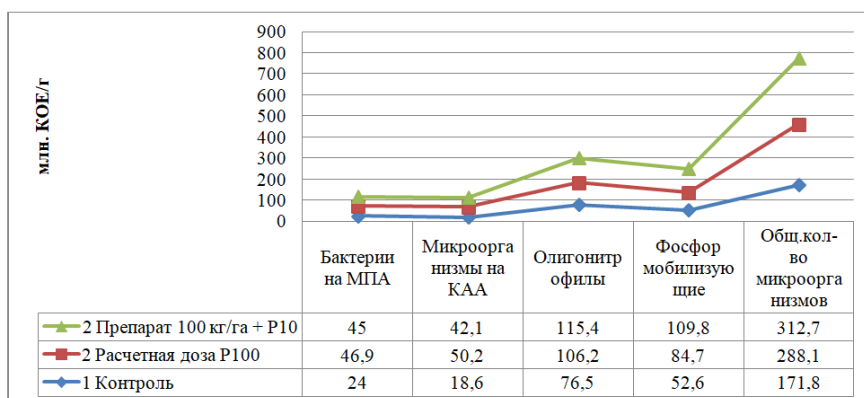


Рисунок 1 – Влияние препарата «Агробиотоп» в сочетании с минеральными удобрениями на состав и численность микроорганизмов в чернозёме обыкновенном, среднее за 2018-2019 гг.

Исходя из полученных данных следует заключить, что препарат «Агробиотоп» в сочетании с минеральными удобрениями положительно влияет на количество агрономически ценных микроорганизмов. Анализ показывает, что число целлюлозоразрушающих микробов варьирует в пределах 99,9-114,9 тыс. КОЕ/г; численность нитрификаторов возросла на 164,5-167,7%, наибольшее количество грибов отмечалось на варианте препарат 100 кг/га +1/10 расчетная доза - 76,6 тыс. КОЕ/г, на контроле 33,9 тыс. КОЕ/г, азота нитратов выше контроля на 133,3% и 152,6% (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние препарата «Агробиотоп» и минеральных удобрений на состав микрофлоры в черноземе обыкновенном

№	Состав микроорганизмов	Контроль			Полная расчётная доза			Препарат 100 кг/га +1/10 расчетная доза		
		годы		сред.	годы		сред.	годы		сред.
		2018	2019		2018	2019		2018	2019	
1	Целлюлоз разрушающие тыс. КОЕ/г	161,2	68,6	114,9	112,5	87,3	99,9	130,8	76,8	103,8
2	Нитрификаторы тыс. КОЕ/г	0,6	0,02	0,31	1,0	0,02	0,51	0,5	0,02	0,52
3	Грибы, тыс. КОЕ/г	44,4	23,3	33,9	65,0	73,4	69,2	78,3	74,8	76,6
4	Азот нитратов, тыс. КОЕ/г	0,3	0,83	0,57	0,8	0,93	0,87	0,8	0,71	0,76

Ш.Б. Алибекова, Т.Д. Джаланкузов, А.Т. Сейтменбетова отмечают, что развитие микрофлоры в почвах Северного Казахстана зависит от изменения поступления в почву органических соединений. Окультуривание почв резко изменяет численность микроорганизмов. Наиболее богато представлены бактерии растущие на МПА и актиномицеты растущие на КАА. Грибы здесь содержатся в небольшом количестве. В разложении клетчатки главная роль принадлежит актиномицетам и грибам. В целом, микрофлора в чернозёмах находится в активном состоянии. Это активность выражается в численности аммонификаторов и актиномицетов, разложений клетчатки, и хорошей активности фермента протеазы [9].

Результаты наших исследований показали, что в среднем за два года наблюдалось эффективное действие препарата «Агробионов» в сочетании с минеральным удобрением на микробиологическую активность почвы.

Д.Г. Звягинцев предложил следующую шкалу оценки биологической активности почв по интенсивности разрушения клетчатки (% разложившегося полотна за вегетационный сезон): очень слабая < 10, слабая 10-30, средняя 30-50, сильная 50-80, очень сильная > 80 [10]. В весенний период активность микроорганизмов находилось, на высоком уровне. Это объясняется, с интенсивным прогреванием почвы, разложение льна полотна оценивается как сильная 55,3-62,5% (на контроле средняя 49,4%). В летний период, за счёт высокой температуры и дожливости, процент разложения льняного полотна сохранялся, очевидное влияние препарата «Агробионов» в сочетании с минеральным удобрением оценивается как средняя (37,2-50,8%) на контроле слабая 30,0%, что выше контроля на 167,1%. В осенний период разложение льна полотна оценивается – от средней до сильной 44,1-52,2% (на контроле средняя шкала 31,1%). Необходимо отметить, что наибольшая степень разложения льняного полотна установлена на вариантах с применением препарата «Агробионов» в сочетании с минеральным удобрением (рис.2).

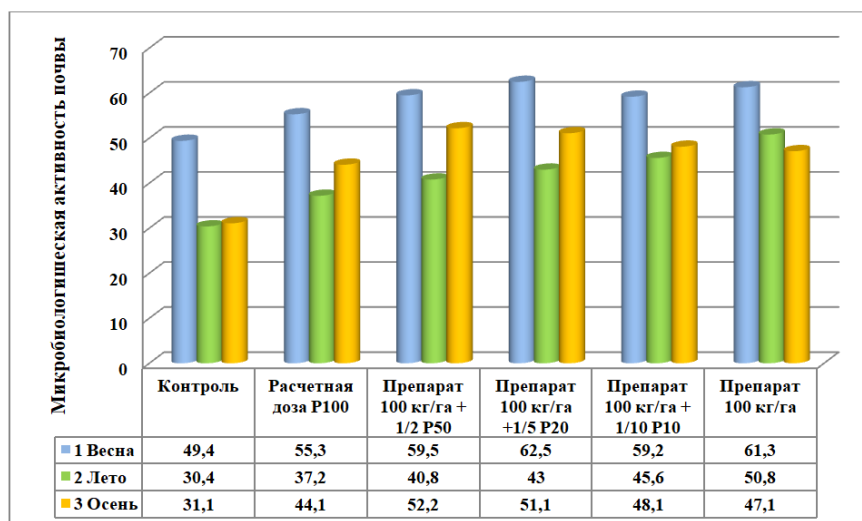


Рисунок 2 – Влияние препарата «Агробионов» и минеральных удобрений на микробиологическую активность чернозема обыкновенного, % (2018-2019гг.)

Полученные результаты подтверждаются и другими исследователями зарубежных стран. Так, Dominika Katarzyna Szponder, Kazimierz Trybalski (2011) утверждают, что, прежде всего, золашлак используется в качестве минерального удобрения, которое улучшает биологические свойства почвы и урожайность культур [11].

По данным Байшанова А.Е., Кедельбаев Б.Ш. для обогащения почвы органическим веществом, сохранения и повышения ее плодородия необходимо применять предложенные агротехнологии и ежегодно в течении 3-4 лет вносить совместно с заниженными нормами минеральных удобрений высокие нормы органических удобрений порядка 20-40 т/га [12]. В нашем опыте вместо органических удобрений использовался препарат «Агробионов».

Исследования С.Н. Никитина, С.А. Захарова показали, что совместное внесение биопрепаратов на фоне минеральных удобрений существенно интенсифицирует микробиологическую активность почвы, что отражается в усилении процесса разложения целлюлозы. В результате микробиологическая активность увеличилась на 0,6-3,1% по отношению к неудобренному фону. Урожайность яровой пшеницы находится в прямой зависимости от микробиологической активности чернозёма выщелоченного [13]. Аналогичные результаты по агробионову получены и у нас.

Так, в нашем опыте улучшение биологических свойств способствовало повышению урожайности льна масличного. Причём, установлена очень тесная корреляционная связь между урожайностью льна масличного и микробиологической активностью почвы ($r = 0,87$).

Следует отметить, что действие препарата «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями положительно сказались на продуктивности льна масличного за счет улучшения биологических свойств чернозема обыкновенного и минерального питания растений. На фоне внесения под лен масличный препарата «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями обеспечили повышение урожайности льна масличного на 0,14-0,27 т/га, или на 22,0-41,0%. Совместное внесение препарата «Агробионов» с минеральным удобрением (препарат 100 кг/га + 1/5 расчетная доза) обеспечило наибольшую прибавку урожая на 41,0%, а внесение полной расчетной дозы не дало столь высокой эффект (рис.3).



Рисунок 3 – Влияние микробиологической активности почвы на урожайность льна масличного

*1-контроль - без применений удобрения; 2-полная расчётная доза; 3-препарат 100 кг/га + 1/2 расчетная доза; 4- препарат 100 кг/га + 1/5 расчетная доза; 5- препарат 100 кг/га + 1/10 расчетная доза; 6-препарат 100 кг/га

Заключение. Препарат «Агробионов» в сочетании с минеральными удобрениями оказал положительное воздействие на микробиологическую активность, общую численность, в том числе агрономически ценных групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном и на урожайность льна масличного.

Список литературы

- 1 Benjamin J.Wigley, Corli Coetsee, Anthony S.Hartshorn, William J.Bond What do ecologists miss by not digging deep enough? Insights and methodological guidelines for assessing soil fertility status in ecological studies // Acta Oecologica, - 2013 Vol. 51. P. 17-27. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.05.007>.
- 2 Ali El-Naggar, Sang Soo Lee, J?rg Rinklebe, Muhammad Farooq, Hocheol Song, Ajit K.Sarmahh, Andrew R.Zimmerman, Mahtab Ahmad, Sabry M.Shaheen, Yong Sik OkBiochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects // Geoderma. - 2019 Vol. 337,1 P. 536-554. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>.
- 3 Soma Gorai Utilization of Fly ash for sustainable environment management. //Environ. Sci. - 2018. Vol. 9(2). -P. 385-393.
- 4 Sudha Jala, Dinesh Goyal Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production-a review Bioresource Technology -2006. Vol. 97. I 9, -P. 1136-1147.
- 5 A.K.Nayak, R.Raja, K.S.Rao, A.K.Shukla, Sangita Mohanty, Mohammad Shahid, R.Tripathi, B.B.Panda, P.Bhattacharyya, Anjani Kumar, B.Lal, S.K.Sethi, C.Puri, D.Nayak, C.K.Swain Effect of fly ash application on soil microbial response and heavy metal accumulation in soil and rice plant. //Ecotoxicology and Environmental Safety. -2015. Vol. 114. -P. 257-262.
- 6 Shobhit Raj Vimal, Jay Shankar Singh, Naveen Kumar Arora, Surendra Singh, Soil-Plant-Microbe Interactions in Stressed Agriculture //Management: A Review Pedosphere,-2017. Vol. 27, I 2. -P. 177-192.
- 7 Andong Cai, Minggang, Xu, Boren Wang, Wenju Zhang, Guopeng Liang, Enqing Hou, Yiqi Luo // Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility. Soil and Tillage Research. -2019.Vol. 189. P. 168-175. URL: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.022>.
- 8 Сарсенова А.А. Патент на изобретение №-2494137 «Мелиоративный препарат для повышения плодородия почв» приоритет изобретения от 19,08,2011г.

- 9 Алибекова Ш.Б., Джаланкузов Т.Д., Сейтменбетова А.Т. Биологическая активность черноземов Северного Казахстана // Почвоведение и агрохимия. №3 2008. С.20-27.
- 10 Д.Г. Звягинцев Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. - №6. - С. 48-54
- 11 Dominika Katarzyna Szponder, Kazimierz Trybalski. Fly ash in agriculture - modern applications of coal combustion by-products. Teka Kom. Mot. Energ. Roln. – Ol Pan.11. P. 373–385. 2011.
- 12 А.Е. Байшанова, Б.Ш. Кедейбаев Проблемы деградации почв. Анализ современного состояния плодородия орошаемых почв Республики Казахстан // Научное обозрение. Биологические науки. – 2016. - №2. – С. 5-13.
- 13 С.Н. Никитин, С.А. Захаров Влияние минеральных удобрений, биопрепаратов и последствий навоза на биологические свойства почвы и урожайность яровой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. - №2. – С. 37-42.

А.Т. Хусаинов, Г.Т. Кыздарбекова

Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан

«Агробионов» препаратын және минералды тыңайтқыштарды енгізу кезіндегі кәдімгі қара топырақтың биологиялық қасиеттері мен майлы зығырдың өнімділігі

Аңдатпа. Топырақ деградациясының негізгі процестерінің қатарына топырақтағы органикалық көміртектің сарқылуы жатады. Топырақ құнарлылығының артуы топырақтың деградациялану қаупін төмендетуі және қоршаған ортаның жағдайын жақсартуы мүмкін.

Бұл мақалада «Агробионов» препараты мен минералды тыңайтқыштарды енгізу барысында кәдімгі қара топырақтың биологиялық қасиеттері және майлы зығыр өнімділігінің нәтижелері келтірілген.

Далалық тәжірибелер Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университетінің «Элит» оқу-ғылыми-өндірістік орталығының тәжірибе алаңында өткізілді. Топырақтың микробиологиялық белсенділігі зығыр төсемшелерін аппликациялау әдісімен анықталды, микрофлораны топырақ суспензиясын қатты қоректік ортаға себу жолымен есептелді. «Агробионов» препаратының минералды тыңайтқыштармен үйлесімділігі кәдімгі қара топырақтың микробиологиялық белсенділігіне, микрофлораның құрамына, және майлы зығыр тұқымдарының өнімділігіне әсері анықталды.

«Агробионов» препараты минералды тыңайтқыштармен үйлескенде агрономиялық құнды микроорганизмдердің топтарының санына және майлы зығыр өнімділігіне оң әсер етті.

Түйін сөздер. кәдімгі қара топырақ, майлы зығыр, микрофлора «Агробионов» препараты, өнімділік, микробиологиялық белсенділік.

A.T. Khusainov, G.T. Kyzdarbekova

Kokshetau State University named after Sh. Ualikhanova, Kokshetau, Kazakhstan

Biological properties of ordinary chernozem and productivity of oilseed flax when applying the preparation «Agrobions» and mineral fertilizers

Annotation. Among the main processes of soil degradation is the depletion of organic carbon in the soil. Increasing soil fertility can reduce the risks of soil degradation and improve the environment.

This article presents the results of a study of the biological properties of ordinary Chernozem and the yield of oilseed flax when applying the preparation «Agrobions» and mineral fertilizers.

Field experiments were conducted on the experimental field Of the training and research and production center «Elite» of the Kokshetau state University named after sh.Ualikhanov. The microbiological activity of the soil was determined by the method of flax seed application and the microflora was taken into account by seeding the soil suspension on solid nutrient media. The effect of the preparation «Agrobions» in combination with mineral fertilizers on the composition of microflora, microbiological activity of common black soil and the yield of oilseed flax seeds was established.

The preparation of «Agrobionov» in combination with mineral fertilizers had a positive effect on the number of agronomically valuable groups of microorganisms and on the yield of oilseed flax.

Keywords. ordinary chernozem, flax, preparation of «Agrobionova» microflora, productivity, microbiological activity.

References

- 1 Benjamin J.Wigley, Corli Coetsee, Anthony S.Hartshorn, William J.Bond What do ecologists miss by not digging deep enough? Insights and methodological guidelines for assessing soil fertility status in ecological studies, Acta Oecologica, - 2013 Vol. 51. P. 17-27. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.05.007>
- 2 Ali El-Naggar, Sang Soo Lee, J?rg Rinklebe, Muhammad Farooq, Hocheol Song, Ajit K.Sarmahh, Andrew R.Zimmerman, Mahtab Ahmad, Sabry M.Shaheen, Yong Sik OkBiochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects, Geoderma. - 2019 Vol. 337,1 P. 536-554. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
- 3 Soma Gorai Utilization of Fly ash for sustainable environment management. Environ. Sci. 9 (2). P. 385-393.
- 4 Sudha Jala, Dinesh Goyal Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production-a review,Bioresource Technology -2006. Vol. 97. I 9, -P. 1136-1147.
- 5 Nayak A.K., Raja R., Rao K.S., Shukla A.K., Sangita Mohanty, Mohammad Shahid, Tripathi R., Panda B.B., Bhattacharyya P., Anjani Kumar, Lal B., Sethi S.K., Puri C., Nayak D., Swain C.K. Effect of fly ash application

- on soil microbial response and heavy metal accumulation in soil and rice plant, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. -2015. Vol. 114. -P. 257-262.
- 6 Shobhit Raj Vimal, Jay Shankar Singh, Naveen Kumar Arora, Surendra Singh Soil-Plant-Microbe Interactions in Stressed Agriculture Management: A Review *Pedosphere* -2017. Vol. 27, I 2. -P. 177-192.
 - 7 Andong Cai, Minggang, Xu, Boren Wang, Wenju Zhang, Guopeng Liang, Enqing Hou, Yiqi Luo Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility, *Soil and Tillage Research*. -2019. Vol. 189. -P. 168-175.-URL: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.022>
 - 8 Sarsenova A.A. Patent na izobreteniyе №-2494137 "Apparatus ad augendam terra reclamatione ipsius soli fertilitate" ["Meliorativnyy preparat dlya povysheniya plodorodiya pochv"] prioritet izobreteniya ot 19.08.2011g.
 - 9 Alibekova Sh.B., Jalankuzov T.D., Seitmenbetova A.T. Ex Asia septentrionali chernozems Kazahstna [Biological activity of chernozems of Northern Kazakhstan], *Soil Science and agrochemistry*, №3, 20-27 (2008). [in Russian]
 - 10 Zvyagintsev D.G. Soli vivo et perpendicularis squamis aliquot indicibus [Soil biological activity and scales for assessing some of its indicators], *Soil Science*, №6, 48-54 (1978). [in Russian].
 - 11 Dominika Katarzyna Szponder, Kazimierz Trybalski. Fly ash in agriculture - modern applications of coal combustion by-products. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln. - Ol Pan.11*. P. 373-385.(2011).
 - 12 Bayshanova A.E., Kedelbaev B.Sh. Soli degradation problems. Analysis in current statu soli fertilitate, nec etiam filiorum irrigatur Reipublicae Casachia [Soil degradation problems. Analysis of the current state of fertility of irrigated soils of the Republic of Kazakhstan], *Scientific review. Biological sciences*, №2, 5-13 (2016). [in Russian]
 - 13 Nikitin S.N., Zakharov S.A. Mineralis fertilizers auctoritate biologiarumque fructus et effectus rerum vicibus stercoris super triticum solo vere fructus [The influence of mineral fertilizers, biological products and the aftereffect of manure on the biological properties of the soil and the yield of spring wheat], *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, №2, 37-42 (2016). [in Russian]

Сведения об авторах:

Хусаинов А. Т. - доктор биологических наук, профессор КГУ им. Ш. Уалиханова, ул. Абая 76 Кокшетау, Казахстан.

Кыздарбекова Г. Т. - докторант 3 курса специальности 6D060800 «Экология» КГУ им. Ш. Уалиханова, ул. Абая 76 Кокшетау, Казахстан.

Khusainov A. - Doctor of Biological Sciences, Professor of Sh. Ualikhanov Koshetau University, Abaya 76 st., Kokshetau, Kazakhstan.

Kyzdarbekova G. - 3-year doctoral student of the specialty 6D060800 «Ecology» Ualikhanov Koshetau University, Abaya 76 st., Kokshetau, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 17.04.2020

D.Kazyken

Department of Cell and Developmental Biology, University of Michigan Medical School, Ann Arbor, Michigan, USA
(E-mail: dkazyken@umich.edu)

New Insights into the Activation Mechanisms of AMPK

Abstract: The AMP-activated protein kinase (AMPK) is a sensor of energy status in the cell. Upon activation in response to metabolic stresses, AMPK maintains cellular energy balance by promoting energy generating catabolic pathways and suppressing ATP-consuming anabolic processes. Historically, AMP, ADP-induced allosteric change accompanied by Thr¹⁷² at a subunit considered as the major mechanism of AMPK activation. In the last decade, our understanding of the mechanism of AMPK activation has significantly advanced. Recently several studies have showed that, glucose starvation – major type of energetic stress activates AMPK independently of AMP or ADP levels in the cell and regardless of phosphorylation status of Thr¹⁷² at a subunit. More interestingly, small AMPK pools in the cellular compartments are regulated differently and distinctly targets downstream effectors.

Keywords: AMPK, AMP, LKB1, CaMKK β , AXIN, mTOR

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-38-42>

AMPK (5'-AMP-activated Protein Kinase) is a highly conserved key energy sensor which regulates metabolic homeostasis at cellular and whole-body level [1]. *AMPK* is activated by increased levels of *AMP* and *ADP* during conditions of low cellular energy caused by glucose or nutrient deprivation, exercise, or hypoxia [2]. Functional *AMPK* is a heterotrimeric complex composed of one catalytic α subunit (a serine/threonine kinase), one scaffolding β subunit, and one regulatory γ -subunit. Vertebrates contain multiple $\alpha(\alpha1,2)$, $\beta(\beta1,2)$, and $\gamma(\gamma1-3)$ subunits and thus express twelve potential *AMPK* $\alpha\beta\gamma$ complexes whose distinct functions remain poorly defined [3, 4]. Upon activation, *AMPK* phosphorylates a diverse set of targets that help cells to restore the balance of energy generation and consumption in two ways. On the one hand, activated *AMPK* attenuates *ATP*-consuming anabolic pathways (such as ribosome biogenesis, fatty acid, lipid, and protein synthesis, gluconeogenesis, and cell growth and proliferation) in order to restore normal energy balance [1, 5]. For example, *mTORC1* (Mechanistic Target of Rapamycin Complex 1) is one of the best characterized downstream targets of *AMPK* which regulates protein synthesis [6, 7]. During energy insufficiency, *AMPK* transiently inhibits *mTORC1* and shuts off one of the most energy-intensive processes– protein synthesis machinery [8]. On the other hand, *AMPK* redirects cell metabolism towards *ATP*-generating pathways (such as fatty acid oxidation, autophagy, glucose utilization, glucose uptake, and mitochondrial biogenesis) [1, 5]. One of the best examples for this is the *ACC2* (acetyl-CoA carboxylase-2). *ACC2* increases the local pool of malonyl-CoA which inhibits fatty acid transporter carnitine and prevents fatty acids from entering the mitochondria [9]. *AMPK* phosphorylates and inactivates mitochondrial isoform of *ACC2*, thus acutely increase the uptake of fatty acids into mitochondria and promote fatty-acid oxidation to generate *ATP* [10]. Dysregulation of *AMPK* signaling has been implicated in many metabolic disorders and cancer. *AMPK* is a double-edged sword in cancer biology, it plays cancer promoting and/or tumor suppressing roles depending on the context [5]. *AMPK* activation during exercise or in response to pharmacologic agonists decrease blood glucose level by suppressing gluconeogenesis in the liver and facilitating cellular glucose uptake [11]. Therefore, *AMPK* agonist metformin (GlucoPhage) is the most widely prescribed oral medicine for Type 2 diabetes.

Canonical activation of AMPK by AMP and ADP. *AMP* and *ADP*-mediated activation of *AMPK* has long been considered to be the major mechanism, as it was named. It is the best studied and most appreciated mechanism. Upon energetic demand, *ATP* is hydrolyzed to *ADP* and *AMP*, thus increasing the intracellular *AMP* : *ATP* or *ADP* : *ATP* ratio. *AMP* and *ADP*

activate *AMPK* by several mechanisms. First, direct binding of ADP or AMP to the three nucleotide binding sites on γ -subunit facilitates α -subunit phosphorylation at the activation loop site (Thr¹⁷²) by *LKB1* (considered as a constitutively active kinase) or *CaMKK β* [12, 13]. Second, binding of *AMP* but not *ADP* to the g -subunit, causes an allosteric conformational change that activates *AMPK* which contains an α -subunit already phosphorylated at Thr¹⁷² [14]. Third, binding of either *ADP* or *AMP* to the γ -subunit protects α -subunit from de-phosphorylation at Thr¹⁷², thus maintains active state of *AMPK* [15]. It is important to note that, for *AMPK* activation, *AMP* : *ATP* or *ADP* : *ATP* ratio is more important than *AMP* or *ADP* concentration in the cell. Because *ATP* antagonize the binding and allosteric activation of *AMPK* by *AMP* and *ADP*. Some of the pharmacologic agonists of *AMPK* act on *AMPK* by mimicking *AMP* and/or *ADP*. For example, potent and the most commonly used drug *AICAR* (5aminoimidazole4 carboxamide ribonucleotide) is converted to *AICAR* 5'-monophosphate (*ZMP*)e in the cell which mimics *AMP* and allosterically activates *AMPK* [16]. Cordycepin – an adenosine analog derived from *Cordyceps militaris*, recently shown to activate *AMPK* by mimicking *AMP* [17].

Canonical activation of *AMPK* by *AMP* or *ADP* binding and new insights into the non-canonical activation of *AMPK* will be discussed below.

Non-canonical activation of *AMPK*. Almost all cellular stimuli which increase cytosolic Ca^{2+} concentration such as ER stress activate *AMPK* through *CaMKK β* (Ca^{2+} /calmodulin-dependent kinase) by phosphorylating at *AMPK* Thr¹⁷² [18]. Intracellular Ca^{2+} forms a complex with *CaM* and binds to *CaMKK β* to activate it in a not well-defined mechanism. A recent study revealed that replication stress elevates intracellular Ca^{2+} pool and activates *AMPK* in the nucleus via *CaMKK β* during *DNA* replication and safeguards chromosome stability [19].

Crystallographic structure of *AMPK* and biochemical methods have helped finding the new approaches to activate *AMPK*. An array of small molecule pharmacologic agents can allosterically activate *AMPK* dependently or independently of *AMPK* Thr¹⁷² phosphorylation. The four γ -sites on γ -subunit in which three of them are binding sites for adenylate nucleotide, β -CBM (carbohydrate-binding module) on β -subunits, and *ADaM* (Allosteric Drug and Metabolite) site on intact *AMPK $\alpha\beta\gamma$* complex are attractive targets for small molecule *AMPK*-activators [20, 21]. One example of β -*CBM*-mediated agonist is aspirin active metabolite salicylate. Salicylate binds to the interface of β -*CBM* and kinase domain of α -subunit and prevents *AMPK α* Thr¹⁷² from dephosphorylation [22]. Researchers found that some of the metabolic benefits of aspirin such as increased fatty acid oxidation, lowered cholesterol are mediated by salicylate-induced activation of *AMPK* [22]. *A769662*, another recently discovered drug mimics both effects of *AMP* to allosterically activates *AMPK* and prevents it from Thr¹⁷² dephosphorylation [23].

One of the most exciting findings of *AMPK* activation is that glucose starvation can activate lysosomal *AMPK* in a nucleotide-independent mechanism in parallel to the nucleotide-dependent activation. Increased intracellular level of *ADP* and *AMP* during glucose starvation have been considered as the mechanism of glucose starvation-induced *AMPK* activation. But, recently, several studies revealed that *AMPK* activity is regulated by the translocation of upstream kinase to the subcellular pool of *AMPK* in response to glucose starvation without any associated change of the intracellular *AMP* : *ATP* or *ADP* : *ATP* ratios [24]. In mammalian cells, nucleotide-independent activation of *AMPK* occurs exclusively on lysosomal membrane where Ragulator complex (comprising p18, p14, MP1, C7orf59 and HBXIP) serves as a docking site for co-localization of *LKB1* with *AMPK* [25, 26]. A pool of *AMPK* permanently resides on lysosomal membrane mediated by the myristoylation on β -subunit [20]. Glucose starvation first activates aldolase and converts *FBP* (fructose- 1,6-bisphosphate) into triose phosphates. Triose phosphates bind to *v-ATPase* (Vacuolar *ATPase*) complex on the lysosomes and undergoes conformational change which enables *v-ATPase* to interact with cytosolic *AXIN/LKB1* complex and Ragulator complex. This way *LKB1* and *AMPK* co-localize where constitutively active *LKB1* phosphorylates *AMPK* Thr¹⁷² and activates it [26]. This novel mechanism was a paradigm shifting in our understanding of *AMPK* activation. This study also advanced our understanding of *AMPK*-mediated inhibition of *mTORC1* occurs on lysosomes during glucose starvation. It was known that *mTORC1* is recruited to lysosomal membrane via binding to Ragulator and activated by binding of GTP-bound Rheb [25].

Activation of *AMPK* on lysosome partially explains *AMPK*-mediated inhibition of *mTORC1* in two ways. First, upon glucose depletion, *AMPK* is activated on lysosomes and phosphorylates Raptor at inhibitory *Ser*⁷⁹² site. Second, *AMPK* also phosphorylates and activates *TSC* complex which inactivates Rheb [7, 26, 27].

Newly emerging data shows that distinct pools of *AMPK* within a cell are differently activated and regulates distinct cellular processes [5, 27]. The detailed mechanism and function of differential regulation of *AMPK* at subcellular compartments (lysosomes, mitochondria, nuclei, ER etc.), as well as the distinct *AMPK* complexes remain to be elucidated and it might help us for better understanding of the fine-tuning role of *AMPK* in cellular and organismal metabolic homeostasis as a response for energy and nutrient availability. It also shed lights on the conflicting functions of *AMPK* in cancer biology as its tumor-suppressive and tumor-promoting roles responding to the distinct environmental cues in distinct cell types and different stages of the cancer.

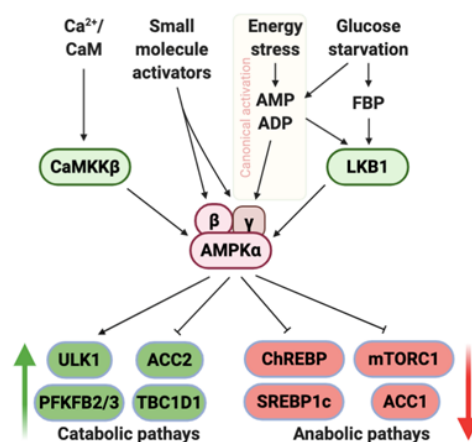


FIGURE 1 – *AMPK* Signaling. In response to diverse extracellular and intracellular cues, *AMPK* is activated by canonical and non-canonical mechanisms. Upon activation, *AMPK* promotes catabolic pathways and suppresses anabolic processes by direct or indirect regulation of downstream effector pathways.

References

- 1 Hardie DG. *AMPK* : positive and negative regulation, and its role in whole-body energy homeostasis//Curr Opin Cell Biol. -2015. -Vol. 33. -P. 1–7.
- 2 Huet C., et al. Glucose availability but not changes in pancreatic hormones sensitizes hepatic *AMPK* activity during nutritional transition in rodents//J. Biol. Chem. -2020. -Vol. 295(18). -P. 5836–5849.
- 3 Cheung PC., et al. Characterization of AMP-activated protein kinase γ -subunit isoforms and their role in AMP binding//Biochem. J. -2000. -Vol. 346. -P. 659–669
- 4 Thornton, C., et al. Identification of a novel AMP-activated protein kinase β subunit isoform that is highly expressed in skeletal muscle//J. Biol. Chem. -1998. -Vol.273. -P. 12443–12450.
- 5 Gonzalez A., et al. *AMPK* and TOR: The Yin and Yang of Cellular Nutrient Sensing and Growth Control//Cell Metab. -2020. -Vol. 31(3). -P. 472–492.
- 6 Kim DH., et al. *mTOR* interacts with raptor to form a nutrient-sensitive complex that signals to the cell growth machinery// Cell. -2002. -Vol. 110. -P. 163–175.
- 7 Inoki K., et al. *TSC2* mediates cellular energy response to control cell growth and survival//Cell. -2003.-Vol. 115(5). -P.577–590.
- 8 Bolster DR., et al. AMP-activated protein kinase suppresses protein synthesis in rat skeletal muscle through down-regulated mammalian target of rapamycin (*mTOR*) signaling// J Biol Chem. -2002.-Vol. 277(27). -P. 23977–23980.
- 9 Abu-Elheiga L., et al. Continuous fatty acid oxidation and reduced fat storage in mice lacking acetyl-CoA carboxylase 2// Science. -2001. -Vol.291(5513). -P. 2613–2616.
- 10 Winder, WW., et al. Inactivation of acetyl-CoA carboxylase and activation of AMP-activated protein kinase in muscle during exercise//Am. J. Physiol. -1996. -Vol.270. -P. 299–304.
- 11 Steinberg GR., Carling D. AMP-activated protein kinase: the current landscape for drug development//Nat Rev Drug Discov. -2019. -Vol. 18(7). -P.527–551.
- 12 Hawley, SA., et al. 5'-AMP activates the AMP-activated protein kinase cascade, and Ca²⁺/calmodulin activates the calmodulin-dependent protein kinase I cascade, via three independent mechanisms//J. Biol. Chem. -1995. -Vol.270. -P.27186–27191.

- 13 Woods, A., et al. . Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase kinase-beta acts upstream of AMP-activated protein kinase in mammalian cells//Cell Metab. -2005. -Vol.2. -P. 21–33.
- 14 Ross FA., et al. Differential regulation by AMP and ADP of AMPK complexes containing different g subunit isoforms// Biochem. J. -2016. -Vol.473. -P.189–199.
- 15 Davies SP., et al. 5'-AMP inhibits dephosphorylation, as well as promoting phosphorylation, of the AMP- activated protein kinase. Studies using bacterially expressed human protein phosphatase-2C alpha and native bovine protein phosphatase-2AC// FEBS Lett. -1995. -Vol.377. -P.421–425.
- 16 Corton JM., et al. 5-aminoimidazole-4-carboxamide ribonucleoside. A specific method for activating AMP-activated protein kinase in intact cells//Eur J Biochem. -1995. -Vol. 229. -P.558–565.
- 17 Hawley SA., et al. Mechanism of Activation of AMPK by Cordycepin//Cell Chem Biol. -2020. -Vol. 27(2). -P. 214–222.e4.
- 18 Hawley SA., et al. Calmodulin-dependent protein kinase kinase-beta is an alternative upstream kinase for AMP-activated protein kinase//Cell Metab. -2005. -Vol. 2. -P.9–19.
- 19 Li S., et al. Ca²⁺-Stimulated AMPK-Dependent Phosphorylation of Exo1 Protects Stressed Replication Forks from Aberrant Resection//Mol Cell. -2019. -Vol. 74(6). -P. 1123–1137.e6.
- 20 Oakhill JS., et al. β -Subunit myristoylation is the gatekeeper for initiating metabolic stress sensing by AMP-activated protein kinase (AMPK)//PNAS. -2010. -Vol. 107(45). -P. 19237–19241.
- 21 Xiao B., et al. Structural basis of AMPK regulation by small molecule activators//Nat. Commun. -2013. -Vol.4. -P.3017.
- 22 Hawley SA., et al. The ancient drug salicylate directly activates AMP-activated protein kinase//Science. -2012. -P. -Vol.336. -P.918–922.
- 23 Goransson O., et al. Mechanism of action of A-769662, a valuable tool for activation of AMP-activated protein kinase//J. Biol. Chem. -2007. -Vol.282. -P. 32549–32560.
- 24 Zhang CS., et al. Fructose-1,6-bisphosphate and aldolase mediate glucose sensing by AMPK// Nature. -2017. -Vol. 548. -P.112–116.
- 25 Sancak Y., et al. Ragulator-Rag complex targets mTORC1 to the lysosomal surface and is necessary for its activation by amino acids//Cell. -2010. -Vol.141. -P.290–303.
- 26 Zhang C.S., et al. The lysosomal v-ATPase-Ragulator complex is a common activator for AMPK and mTORC1, acting as a switch between catabolism and anabolism//Cell Metab. -2014. -Vol.20. -P.526–540.
- 27 Gwinn D.M., et al. AMPK phosphorylation of raptor mediates a metabolic checkpoint. Mol//Cell. -2008. -Vol. 30. -P.214–226.

Д. Казыкен

Мичиган университетінің Медицина мектебі, Анн-Арбор, Мичиган, АҚШ

AMPK белсендіру механизмі туралы жаңаша түсінік

Аңдатпа. AMP-белсендірілген протеинкиназа (AMPK) – бұл жасушаның энергетикалық күйінің сенсоры. Метаболикалық күйзелістерге жауап ретінде белсендірілген кезде, AMPK катаболикалық жолдармен энергия өндіруді ынталандыру және анаболикалық процестерді АТФ тұтынатын процестерді басу арқылы жасушалық энергия тепе-теңдігін сақтайды. Тарихи тұрғыдан қарағанда, AMP, ADP - индукцияланған, Thr¹⁷² α суббірлігімен бірге жүретін, AMPK активтендірудің негізгі механизмі ретінде қарастырылатын аллостериялық өзгеріс. Соңғы онжылдықта AMPK-ны іске қосу туралы түсінігіміз айтарлықтай алға жылжыды. Жақында бірнеше зерттеулер көрсеткендей, глюкозаның ашығуы - энергетикалық стресстің негізгі түрі-жасушадағы AMP немесе ADP деңгейіне қарамастан және Thr¹⁷² α суббірлігінің фосфорлану дәрежесіне қарамастан AMPK-ны белсендіреді. Бір қызығы, жасуша компартменттеріндегі кішкентай AMPK бассейндері әртүрлі жолмен реттеледі және төменгі эффекторларға нақты бағытталған.

Түйін сөздер: AMPK, AMP, LKB1, CaMKK β , AXIN, mTOR.

Д. Казыкен

Кафедра клеточной биологии и биологии развития, Медицинская школа Мичиганского университета, Анн-Арбор, Мичиган, США

Новое понимание механизмов активации AMPK

Аннотация. AMP-активированная протеинкиназа (AMPK) является датчиком энергетического статуса клетки. При активации в ответ на метаболические стрессы AMPK поддерживает клеточный энергетический баланс, стимулируя выработку энергии катаболическими путями и подавляя АТФ -потребляющие анаболические процессы. Исторически сложилось так, что AMP, ADP-индуцированное аллостерическое изменение, сопровождаемое субъединицей Thr¹⁷² α , рассматривалось как основной механизм активации AMPK. В последнее десятилетие наше понимание механизма активации AMPK значительно продвинулось вперед. Недавно несколько исследований показали, что глюкозное голодание - основной тип энергетического стресса - активирует AMPK независимо от уровня AMP или ADP в клетке и независимо от статуса фосфорилирования субъединицы Thr¹⁷² α . Более интересно, что небольшие пулы AMPK в клеточных компартментах регулируются по-разному и отчетливо нацелены на нижестоящие эффекторы.

Ключевые слова: AMPK, AMP, LKB1, CaMKK β , AXIN, mTOR.

References

- 1 Hardie DG. AMPK: positive and negative regulation, and its role in whole-body energy homeostasis, *Curr Opin Cell Biol.* 33, 1–7 (2015).
- 2 Huet C., et al. Glucose availability but not changes in pancreatic hormones sensitizes hepatic AMPK activity during nutritional transition in rodents, *J. Biol. Chem.*, 295(18), 5836–5849(2020).
- 3 Cheung PC., et al. Characterization of AMP-activated protein kinase γ -subunit isoforms and their role in AMP binding, *Biochem. J.*, 346, 659–669(2000).
- 4 Thornton C., et al. Identification of a novel AMP-activated protein kinase β subunit isoform that is highly expressed in skeletal muscle, *J. Biol. Chem.*, 273, 12443–12450(1998).
- 5 González A., et al. AMPK and TOR: The Yin and Yang of Cellular Nutrient Sensing and Growth Control, *Cell Metab.* 31(3), 472–492(2020).
- 6 Kim DH., et al. mTOR interacts with raptor to form a nutrient-sensitive complex that signals to the cell growth machinery, *Cell.*, 110, 163–175(2002).
- 7 Inoki K., et al. TSC2 mediates cellular energy response to control cell growth and survival. *Cell.* 115(5), 577–590(2003).
- 8 Bolster DR., et al. AMP-activated protein kinase suppresses protein synthesis in rat skeletal muscle through down-regulated mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling, *J Biol Chem.*, 277(27), 23977–23980(2002).
- 9 Abu-Elheiga L., et al. Continuous fatty acid oxidation and reduced fat storage in mice lacking acetyl-CoA carboxylase 2, *Science*, 291(5513), 2613–2616(2001).
- 10 Winder, WW., et al. Inactivation of acetyl-CoA carboxylase and activation of AMP-activated protein kinase in muscle during exercise, *Am. J. Physiol.*, 270, 299–304(1996).
- 11 Steinberg GR., Carling D. AMP-activated protein kinase: the current landscape for drug development, *Nat Rev Drug Discov.* 18(7), 527–551(2019).
- 12 Hawley SA., et al. 5'-AMP activates the AMP-activated protein kinase cascade, and Ca²⁺/calmodulin activates the calmodulin-dependent protein kinase I cascade, via three independent mechanisms, *J. Biol. Chem.* 270, 27186–27191(1995).
- 13 Woods, A., et al. Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase kinase-beta acts upstream of AMP-activated protein kinase in mammalian cells, *Cell Metab.* 2, 21–33(2005).
- 14 Ross, FA., et al. Differential regulation by AMP and ADP of AMPK complexes containing different γ subunit isoforms, *Biochem. J.* 473, 189–199(2016).
- 15 Davies, SP., et al. 5'-AMP inhibits dephosphorylation, as well as promoting phosphorylation, of the AMP-activated protein kinase. Studies using bacterially expressed human protein phosphatase-2C alpha and native bovine protein phosphatase-2AC. *FEBS Lett.* 377, 421–425(1995).
- 16 Corton JM., et al. 5-aminoimidazole-4-carboxamide ribonucleoside. A specific method for activating AMP-activated protein kinase in intact cells?, *Eur J Biochem.* 229, 558–565(1995).
- 17 Hawley SA., et al. Mechanism of Activation of AMPK by Cordycepin, *Cell Chem Biol.* 27(2), 214–222.e4(2020).
- 18 Hawley, SA., et al. Calmodulin-dependent protein kinase kinase-beta is an alternative upstream kinase for AMP-activated protein kinase. *Cell Metab.* 2, 9–19(2005).
- 19 Li, S., et al. Ca²⁺-Stimulated AMPK-Dependent Phosphorylation of Exo1 Protects Stressed Replication Forks from Aberrant Resection, *Mol Cell.* 74(6),1123–1137.e6(2019).
- 20 Oakhill JS., et al. β -Subunit myristoylation is the gatekeeper for initiating metabolic stress sensing by AMP-activated protein kinase (AMPK). *PNAS.* 107(45), 19237–19241(2010).
- 21 Xiao, B., et al. Structural basis of AMPK regulation by small molecule activators. *Nat. Commun.* 4, 3017(2013).
- 22 Hawley, SA., et al. The ancient drug salicylate directly activates AMP-activated protein kinase. *Science.* 336, 918–922(2012).
- 23 Goransson, O., et al. Mechanism of action of A-769662, a valuable tool for activation of AMP-activated protein kinase. *J. Biol. Chem.* 282, 32549–32560(2007).
- 24 Zhang, CS., et al. Fructose-1,6-bisphosphate and aldolase mediate glucose sensing by AMPK. *Nature.* 548, 112–116(2017).
- 25 Sancak, Y., et al. Ragulator-Rag complex targets mTORC1 to the lysosomal surface and is necessary for its activation by amino acids. *Cell.* 141, 290–303(2010).
- 26 Zhang, C.S., et al. The lysosomal v-ATPase-Ragulator complex is a common activator for AMPK and mTORC1, acting as a switch between catabolism and anabolism, *Cell Metab.* 20, 526–540(2014).
- 27 Gwinn, D.M., et al. AMPK phosphorylation of raptor mediates a metabolic checkpoint. *Mol. Cell.* 30, 214–226(2008).

Сведения об авторах:

Казыкен Д.-Философия докторы, постдокторант, Мичиган Университетінің Медициналық мектебінің жасушалық биология және биология кафедрасының аспиранты, Анн-Арбор, Мичиган 48109-2200, АҚШ.

Kazyken D. – PhD, Post-doctoral fellow, Department of Cell and Developmental Biology, University of Michigan Medical School, Ann Arbor, MI 48109-2200, USA.

Received 14.04.2020

Мухамеджанова Д. С.¹, Аксенова И. В.¹, Ильясова Б.Б.², Омаров Р.Т.²

¹ Назарбаев интеллектуальная школа физико-математического направления, Тараз, Казахстан

² Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: mukhamedzhanovadarina192@gmail.com)

Влияние ионообменных сорбентов и золы-уноса на повышение устойчивости растений ячменя (*Hordeum vulgare L.*) в условиях солевого стресса

Аннотация: Способность сорбентов связывать различные вещества стала одной из причин их активного применения в промышленности для фильтрации и очистки технических жидкостей. В настоящей работе с использованием модельной системы ярового ячменя изучен протекторный эффект сорбентов для удаления избытка токсичных солей из среды. В условиях засоления в присутствии сорбентов растения *Hordeum vulgare L.* демонстрировали нормальный рост и развитие, а также умеренную активность альдегидоксидазы, каталазы и супероксиддисмутазы. Было предположено, что ионообменные сорбенты блокируют поступление Na^+ в клетку, за счет поглощения ионов токсичных солей из среды с выделением эквивалентного числа безопасных для растений ионов. Данный механизм обуславливает отсутствие гиперчувствительного ответа у опытных образцов и слабое развитие окислительного стресса. Зола-уноса была использована в качестве мелиоранта в условиях засоления. Опытные образцы так же демонстрировали минимальное угнетение в накоплении сухой массы. Было установлено, что зола-уноса может выступать в качестве перспективного мелиоранта, улучшающего биологическое и химическое состояние почвы деградированных земель.

Ключевые слова: сорбенты, ионообменные смолы, солевой стресс, солеустойчивость, альдегидоксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза, *Hordeum vulgare L.*

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-131-2-42-52>

Введение. В аридных и полуаридных регионах земного шара широко распространены пятнами солонцы и солончаки. В Республике Казахстан, находящейся в зоне рискованного земледелия, более 41% земель (111,55 млн. га) засолены и не пригодны для возделывания [1, 33 стр.]. Избыточная засоленность почвы, наряду с другими абиотическими факторами, вызывает упадок продуктивности агро-, биоценозов и урожайности сельскохозяйственных культур: потери составляют 33% при слабом засолении, 83% - при сильном, и до 100% при очень сильном засолении [2]. Особенно засоление угнетает рост и развитие гликофитов, к которым относится большая часть сельскохозяйственных культур. Как правило, засоление сопровождается каскадом стрессовых реакций: 1) осмотический стресс: понижение ассимиляции, транспирации; “фотохимическое гашение” [3]. 2) ионный дисбаланс: деполяризация плазмалеммы приводит к утечке K^+ через KOR -каналы и конкуренции между ионами K^+ и Na^+ за поглощение мембранными транспортёрщиками. Аккумуляция Na^+ вызывает выход воды из цитоплазмы ризодермы в среду, из листьев в апопласт [4,430 стр.]. 3) окислительный стресс. Водорастворимые соли, как хлорид натрия (NaCl), в высоких концентрациях стимулируют синтез Активных Форм Кислорода (АФК) [5], способных вызывать окислительное повреждение многих клеточных компонентов: перекисное окисление фосфолипидов, снижение селективности мембраны, нарушение структуры белков, нуклеиновых кислот, деградацию хлорофилла [6]. Солевой стресс оказывает угнетающее воздействие на вегетативные параметры роста растений: сухую массу, высоту растений и площадь листьев. Было установлено, что большинство растений более чувствительны к процессам засоления во время ранних этапов прорастания и появления всходов [7, 159 стр.]. Длительное воздействие солевого стресса приводит к гибели растения [8, 76 стр.]. На данный момент решение проблемы засоленности разделяется на два направления: i) проведение мелиорации и промывного полива на фоне глубокого рыхления (данный метод осложнен развитием сильнозасоленных почв и солонцов в Жамбылской области) [9]; ii)

селекция солеустойчивых растений - крайне сложное направление исследований, так как признак солеустойчивости детерминирован множеством генов (около 8% всех генов), а экспрессия более 25% всех генов, вызывающий неспецифичный комплексный ответ на засоление, зависит от концентрации солей [4,444 стр.]. Способность сорбентов связывать различные вещества стала одной из причин их активного применения в промышленности для фильтрации и очистки технических жидкостей [10]. Сорбенты — твердые тела или жидкости, избирательно поглощающие из окружающей среды определенные вещества. По характеру сорбции подразделяются на: 1) абсорбенты; 2) адсорбенты (разветвленная пористая поверхность обеспечивает поглощение веществ на разделе твердой и жидкой фаз) [11]; 3) ионообменные смолы (иониты; IXR) - сорбируют ионы одного типа с выделением в раствор эквивалентного числа ионов другого типа. Особый интерес вызывает деминерализации морской воды с применением ионитов (с замещением ионов NaCl на Ca(OH)₂) [12], а также гранул активированного угля для удаления Cl⁻ и органических загрязнителей [13]. В ряде исследований было установлено, что адсорбционными свойствами активированного угля присуще золе-уноса, где содержания углерода достигает до 60% от общей массы [14]. Помимо этого, зола-уноса способна выступать в качестве мелиоранта для улучшения свойств деградированных почв. Добавления золы-уноса повышает водозадерживающую способность почвы, улучшает ее текстуру, нормализует кислотность среды [15]. Естественное выщелачивание золы-уноса снижает концентрацию в ней растворимых солей и примесей для последующего ее применения в сельском хозяйстве [16]. Однако перспектива применения свойств сорбентов для поглощения из почвы низкомолекулярных соединений, как ионов водорастворимых токсичных солей, изучена слабо. Возможность применения ионитов и адсорбентов для снижения засоленности прежде не рассматривалась в сельскохозяйственной отрасли, что инициирует проведение исследования в данном направлении.

Материалы и методы

Исследование проводилось на семенах ярового ячменя (*Hordeum vulgare L.*) сорта Леон.

Очистка ионообменных сорбентов

В качестве сорбирующего объекта были использованы два вида сорбентов-ионитов: синтетический органический Macro-Prep DEAE [17], неорганический Гидроксиапатит [Ca₅(PO₄)₃(OH)₂] [18, 19]. Подготовка сорбентов включала очищение от буфера. Macro-Prep DEAE очищался от антимикробного агента - этанола, Bio-Gel HT Гидроксиапатит очищался от буфера 10 mM фосфата натрия, содержащего в себе 0.02% NaN₃.

Стерилизация семян

Семена подвергли поверхностной стерилизации с некоторыми модификациями в 20% растворе перманганата калия (KMnO₄).

Метод проращивания семян. Семена проращивались в Чашках Петри (20 семян на чашку Петри) на смоченной дистиллированной водой фильтровальной бумаге. В каждую чашку Петри добавляли по 5 мл суспензии сорбентов. Семена проращивали в термокамере при 23 ± 2 °С. Проросшие семена подсчитывались каждые 10 часов. Семя считалось проросшим, если корешок (radicle) достигал 1.5 мм (Come, 1970). Эксперимент продолжался до появления всходов в течение 14 дней. Для создания условий хлоридно-натриевого засоления был выбран раствор 150 mM NaCl.

Определение активности ферментов в неденатурирующих условиях. Для вертикального электрофореза в полиакриламидном геле в неденатурирующих условиях (нативный гель-электрофорез) гомогенизация образцов проводилась на льду в буфере для экстракции, содержание и массовое соотношение которого на 20 мл: 250 mM сахарозы 1,712 г, ЭДТА 70 мг, L-цистеина 12 мг, 1 M Трис-HCl pH=8,5, 0,1 мл раствора молибдена, 12 мг 1,4-дителиотреитола, 40 мкл пепстатина, 40 мкл А протеина. Для получения экстракта пробирки были перенесены в центрифугу. Осаждение производилось при температуре 4 °С, 25 минут при 10 000 об/мин. Супернатант был перенесен в новые пробирки, образцы хранились при температуре -20 °С. Был проведен нативный гель электрофорез белков (в неденатурирующих условиях). 7,5% разделяющий и концентрирующий гели готовились из стоковых растворов. Необходимый pH доводился кислотами, присутствующими в составе буфера. Вертикальный электрофорез

проводился в камере производства компании BioRad модели Mini-PROTEAN System. Перед внесением образцов в лунки был проведен предварительный электрофорез в целях удаления остатков ПСА.

Определение ферментативной активности альдегидоксидазы. После окончания нативного ПААГ – электрофореза для определения ферментативной активности альдегидоксидазы гель промывался в дистиллированной воде, затем инкубировался в субстрате при температуре 37 °С в течение 40 минут. 25 мл раствора субстрата содержал 2,5 мл 50мМ ТРИС-НСl pH=7,4; 10 мг индол-3-альдегида, 6 мг тиазолилового синего тетразолий бромид и 1 мг феразин метосульфата.

Определение ферментативной активности каталазы. Для определения ферментативной активности каталазы готовились субстраты в двух емкостях, включающих 2% хлорида железа и 2% феррицианида калия соответственно. Гель промывался в дистиллированной воде, инкубировался в растворе, содержащем перекись водорода и в данных субстратах до выделения бесцветных полос.

Определение ферментативной активности супероксидсмутазы. Для определения *in gel* активности супероксидсмутазы использовался специфичный для данного фермента субстрат в составе которого содержался 0,1% раствор нитросинего тетразоля. Далее гель инкубировался в 0,1М натрий-фосфатном буфере (pH 7,0) с содержанием 28 мМ рибофлавина и 28 мМ ТЕМЕД-а в течение 15 минут. Активность измерялась по ингибированию фотохимического восстановления NBT.

Small-scale field trials & Large-scale field trials (Маломасштабные и крупномасштабные полевые испытания)

В small-scale- & large-scale field trials исследовали появления всходов: 50 семян высевали в универсальный грунт (азот ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$), фосфор (P_2O_5), калий (K_2O), массовая доля влаги не более 65%, pH 6,5) на глубину 0.5-1 см в пластиковые лотки, покрытые прозрачной полиэтиленовой пленкой. Каждые 3-4 дня растения орошали 150 мМ, 250 мМ растворами NaCl в течение 14 дней. Один лоток считался за одну повторность. Было проведено 5 повторности для каждого вида field trials.

Статистический анализ данных. Статистический анализ данных проводился в программном обеспечении JMP (from SAS) и Microsoft Excel. Использованные методы оценки гипотезы: Oneway ANOVA. Полученные результаты представлены на рисунках в виде средней арифметической со стандартной ошибкой. Для сравнения независимых выборок, подчиняющихся закону нормального распределения, использовали параметрические тесты: Student's t-test, Dunnett test with Control. Значения t-критерия Стьюдента находили для 95% уровня значимости ($p < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

Влияние 150 NaCl и ионитов на рост ярового ячменя. Интенсивное хлоридное засоление (150 мМ NaCl) подавляло рост и развитие ячменя во время прорастание и появления всходов. Всхожесть семян ярового ячменя в условиях засоления уменьшилась на 51% по сравнению с контролем (рис.1). Образцы, обработанные Macro-Prep DEAE (MP) и Гидроксиапатитом (HA), демонстрировали всхожесть 85 и 95% от контроля.

Хлоридное засоление оказывало негативный эффект на скорость прорастания семян. Наблюдалось торможение роста засоленных образцов на 50% по сравнению с контролем (рис.2). Засоление оказывало минимальный эффект на скорость прорастания обработанных MP и HA образцов, показатели незначительно отличаются от контроля.

Было установлено угнетение роста ячменя в условиях солевого стресса (рис. 3,4).

Ростовые показатели уменьшились на 35% для побегов и на 25% для корней по сравнению с контролем. Сорбенты (MP; HA) заметно снижали степень ингибирования роста растений (рис.5,6). Так, рост стебля полностью восстанавливался ко второй недели, составляя: 98% от контроля для MP, 85% для HA (рис. 6). Сами MP и HA несколько ингибировали скорость прорастания семян (рис.2), а также длину корней и побегов 14-дневных проростков (рис.6), что предположительно связано с резким изменением водного потенциала среды.

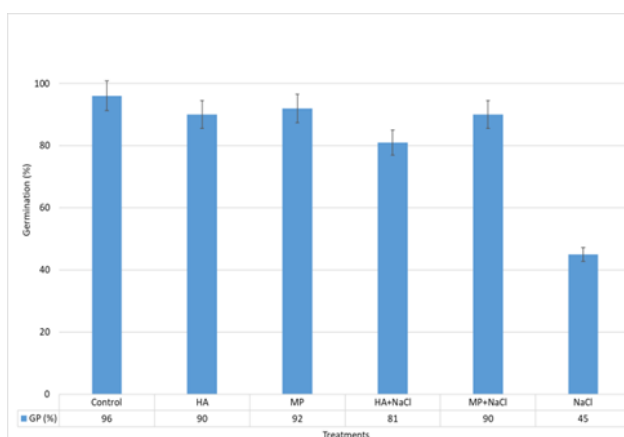


Рисунок 1 – Влияние ионов МР, НА и 150mM NaCl на общую всхожесть семян ячменя в течение 7 дней

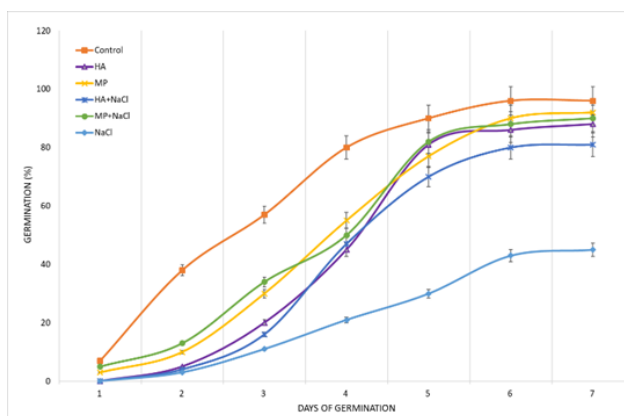


Рисунок 2 – Влияние ионов МР, НА и 150 mM NaCl на скорость прорастания семян ярового ячменя в соответствующий день в течение 7 дней наблюдения



Рисунок 3 – Влияние ионов и 150 mM NaCl на длину корней ярового ячменя

- 1 Контроль
- 2 НА
- 3 МР
- 4 НА+NaCl
- 5 МР+NaCl
- NaCl

Влияние 150 NaCl и ионов на активность альдегидоксидазы и интенсивность окислительного стресса. Альдегидоксидаза - молибдо-железо-флавофермент, катализирующий окисление альдегидов в карбоксильные кислоты [20]. Фермент участвует в биосинтезе абсцизовой кислоты в растениях [21]. Альдегидоксидаза представляет собой цитозольный фермент с молекулярной массой 300 кДа. АО непосредственно участвует в

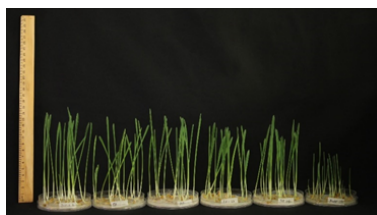


Рисунок 4 – Влияние ионитов и 150 mM NaCl на высоту стеблей ярового ячменя

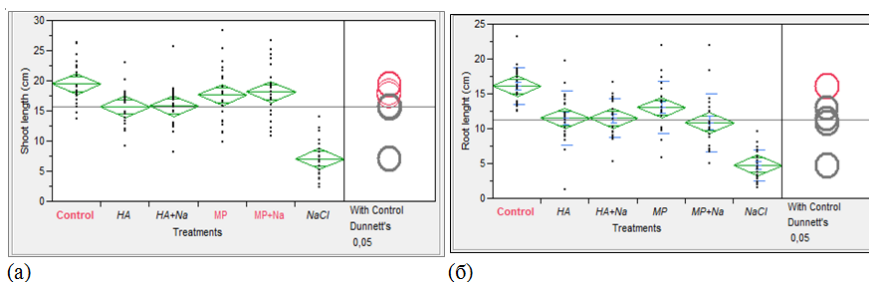


Рисунок 5 – Влияние ионитов MP, HA и 150mM NaCl на длину побегов(а) и корней(б) ярового ячменя после 14-дневного засоления (n=600, Dunnett Test; p < 0.001)

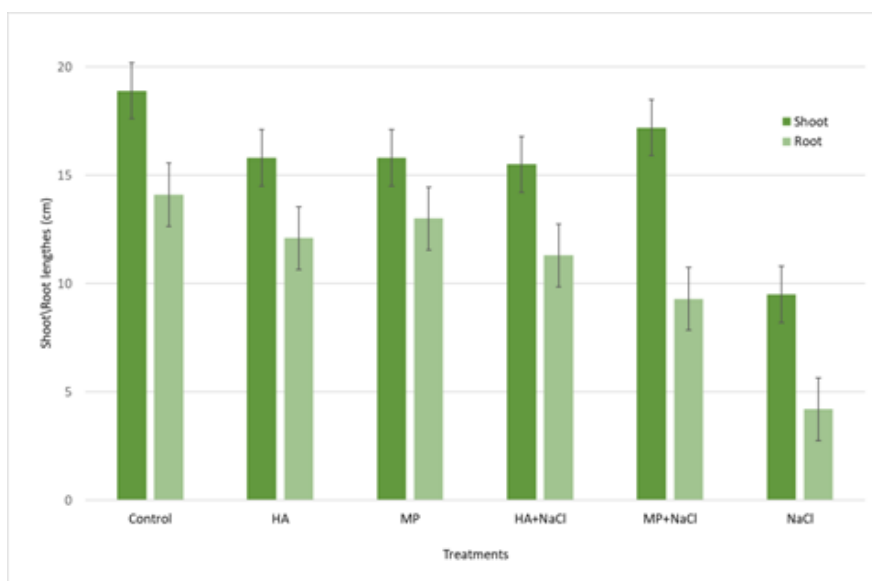


Рисунок 6 – Влияние ионитов MP, HA и 150mM NaCl на длину корней и побегов ярового ячменя после 14 дней засоления

синтезе фитогормонов. Ранее изучалось участие альдегидоксидазы в адаптации растений к абиотическим стрессовым факторам [22, 23] и в производстве H₂O₂ в растениях [24]. Были обнаружены антиоксидантные ферменты КАТ, СОД и АО в результате гель-электрофореза экстрактов корней ячменя (Рис. 9,10,11).

В условиях солевого стресса наблюдается существенное повышение ферментативной активности АО. Напротив, активность АО в растениях, обработанных сорбентами, не демонстрирует значительного ответа в условиях солевого стресса (Рис. 9). Каталаза является одним из антиоксидантных ферментов и регулирует содержание перекиси водорода. Активность измерялась *in gel* – электрофорез в неденатурирующих условиях. В растении, обработанном 150 mM NaCl, происходит значительное увеличение активности каталазы. Продемонстрирована умеренная активность фермента СОД, но также стоит отметить незначительное понижение активности в растениях, обработанных раствором NaCl.

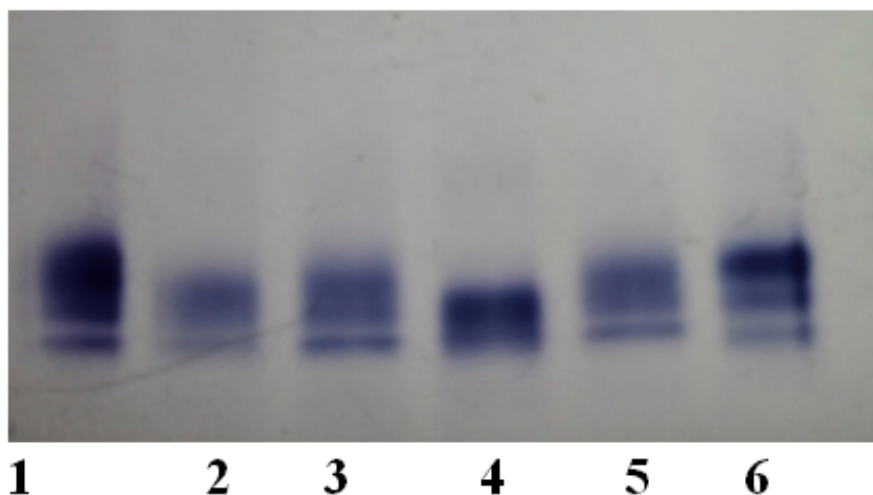


Рис.9. Ферментативная активность

АО в корнях ярового ячменя
 Контроль
 Гидроксиапатит
 Macro-Prep (ion exchange media)
 Гидроксиапатит +NaCl
 Macro-Prep +NaCl
 150 mM NaCl

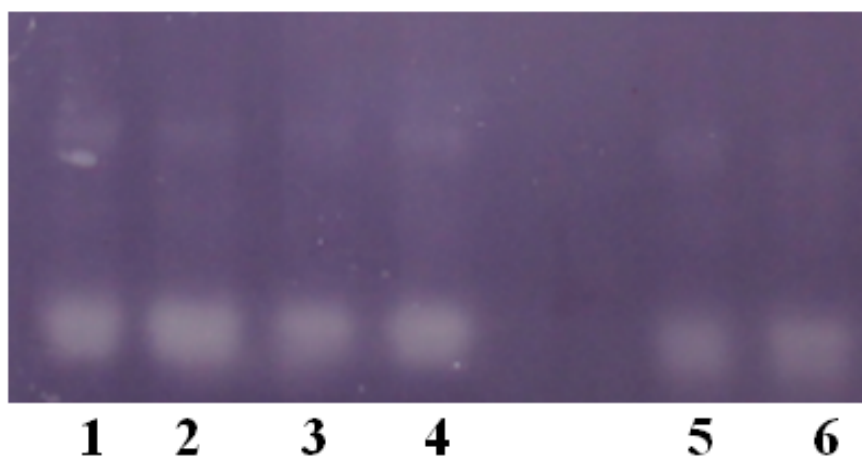


Рис.10. Ферментативная

активность СОД в корнях ярового ячменя

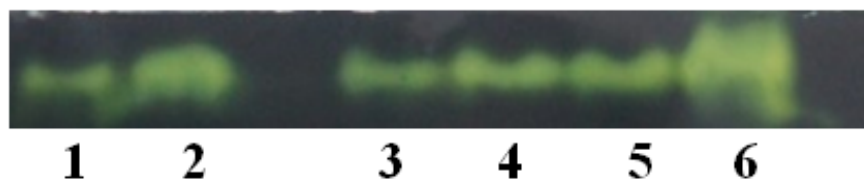


Рис.11. Ферментативная

активность АО в корнях ярового ячменя

Иониты способны производить ионнообменные реакции как с большими, так и с малыми молекулами посредством поглощения и пористой структуры. Ионообменные сорбенты блокируют поступление Na^+ в клетку за счет поглощения ионов токсичных солей из среды с выделением эквивалентного числа безопасных для растений ионов. Ввиду отсутствия избыточности ионов Na^+ в клетке, наблюдалась умеренная активность антиоксидантных ферментов и альдегидоксидазы в опытных образцах.

Small-scale field trials (Маломасштабные полевые испытания)

Зола-уноса – легкая фракции угольной золы, представляет собой тонкодисперсный материал, состоящий, как правило, из частичек размером от долей микрона до 0,14 мм. Зола-уноса очень близка по физическим свойствам и химическому составу к вулканическому пеплу, что делает ее уникальным удобрением для деградированных почв [25].

Для оценки влияния золы-уноса на проросшие семена в условиях засоления, приближенных к полевым, были проведены маломасштабные опыты (small-scale field trials) в разделенных ячеечных лотках на почвенном субстрате. Мониторинг последующего роста ярового ячменя включал исследование общего состояния растений и показателя сухой массы. Концентрация хлоридного засоления была приближена к максимуму (250 mM NaCl).

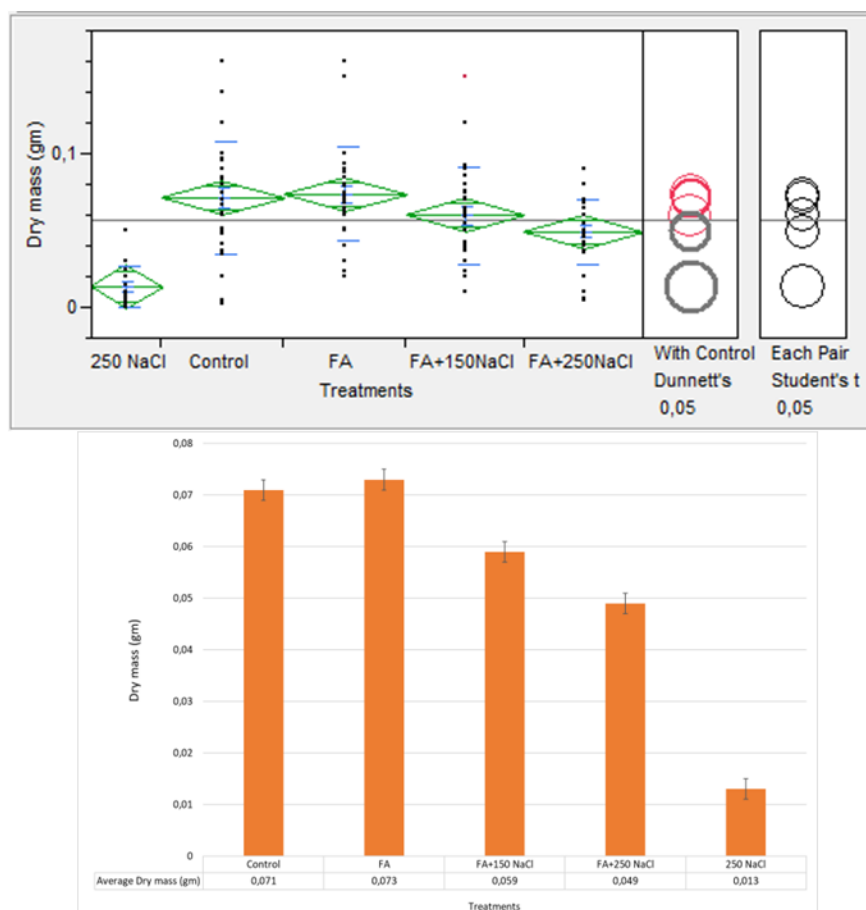


Рис.12. Влияние золы-уноса и 250 mM NaCl на накопление ярового ячменя после 15 дней обработки (n=1060, Dunnett test; Students T-test; p < 0.001)

Интенсивное хлоридное засоление (250 mM NaCl) негативно влияет на накопление сухой массы опытных образцов: сухая масса засоленного образца снизилась на 82% по сравнению с контролем (рис. 12). Было обнаружено, что применение золы-уноса в условиях солевого стресса способствует накоплению сухой массы. С добавлением золы-уноса показатели образцов в отсутствие засоления (FA), и в условиях засоления (FA+150 NaCl; FA+250 NaCl) составляют 98%, 83% и 70% от контроля соответственно. Было установлено, что зола-уноса оказывает положительное влияние на рост посевов ячменя (+6% длины, +2% сухой массы) в условиях отсутствия засоления (FA). За счет низкого удельного веса золы-уноса сухая плотность почвы уменьшилась на 15-20%.

Large-scale field trials (Крупномасштабные полевые испытания)

Были проведены крупномасштабные полевые испытания с увеличением объема выборки (Large-scale field trials) для выявления дополнительных статистически значимых различий.

Второе исследование проводилось в крупных масштабах и изучало возможные способы обработки семян ярового ячменя золой-уноса для использования в промышленных условиях. Взвесь золы-уноса массой 15 г смешивалась с почвой каждого лотка перед посевом.

Предварительно перед проращиванием семена замачивались в дистиллированной воде, затем были помещены в темное теплое место на 3-4 часа. После набухания семена были перенесены на увлажненную почву для проращивания в лоток объемом 800 мл. Растения выращивались в теплице в условиях 16-часового фотопериода (16 ч. - дневной/ 8 ч. - ночной) при относительной влажности воздуха 75-80%. Средняя температура днем – 25 °, ночью - 22°. Для освещения теплицы использовались лампы Есоn 4200К, 230V. Для поддержания одинаковых условий освещения растения переставлялись местами каждые 3 дня.

При засолении 250 mM NaCl сухая масса была снижена на 65% по сравнению с контролем (рис. 13). Зола-уноса при 150 mM NaCl дала наиболее успешный результат по накоплению сухой массы и роста в высоту: увеличение на 8% в сравнении с контролем. Показатели Контроля и 150 NaCl+FA статистически незначительно отличаются (рис. 13). Зола-уноса при 250 mM NaCl привела к увеличению сухой массы в 1.5 раз по сравнению с 250 mM NaCl. Скорость прорастания семян и длина корней была увеличена на 5% соответственно.

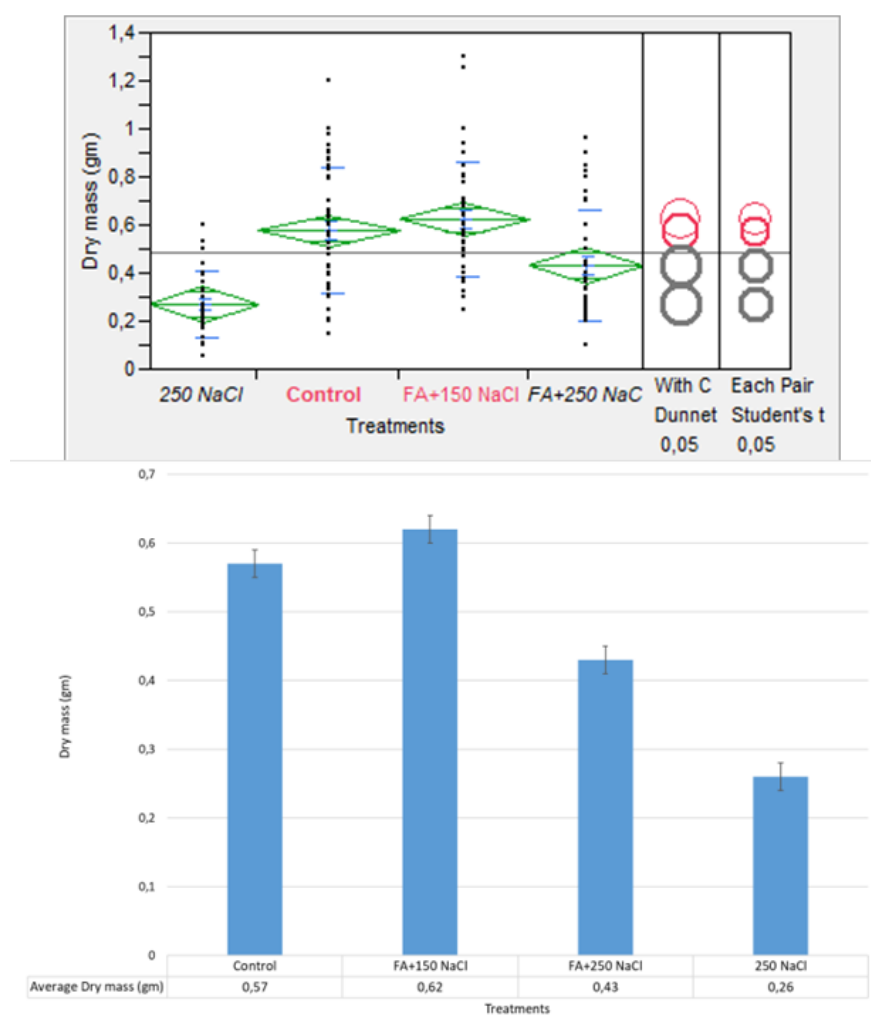


Рис.13. Влияние золы-уноса и 250 mM NaCl на накопление сухой массы ярового ячменя после 15 дней обработки (n=3180, Dunnett test; Students T-test; p < 0.001)

Заключение. Была выявлена способность ионообменных сорбентов (Macro-Prep DEAE; Hydroxyapatite) связывать ионы токсичных водорастворимых солей, блокируя их поступление в клетку растений. При засолении в 150 mM NaCl наблюдалось снижение скорости прорастания, общей всхожести, длины корней и побегов всходов. Вегетативные параметры роста обработанных образцов статистически не отличаются от контроля, что свидетельствует о нормальном росте и развитии растения в присутствии ионитов. Small-scale и large-scale field trials демонстрировали положительное влияние золы-уноса при 250 mM NaCl на накопление сухой

массы ярового ячменя. Обработанные образцы статистически не отличаются от контроля. Наблюдалось улучшение биологического и химического состояния почвы в условиях засоления.

Список литературы

- 1 Боровский В.М. Формирование засоленных почв и галогеохимические провинции Казахстана / В. М. Боровский. - Алма-Ата, Наука, 1982- 254 с.
- 2 Широкова Ю. И., Морозов А. Н. Экологические проблемы засоленных орошаемых земель [Электронный ресурс]. – URL: <http://water-salt.narod.ru/eko-prob-z-z-uz.htm> (дата обращения 15.06.2018)
- 3 Трухина, Ю. О., Шайбе, Р., Епринцев, А. Т. Влияние солевого стресса на основные физиолого-биохимические параметры растений картофеля // Вестн. ВГУ. Серия: Химия, Биология, Фармация. – 2000. – №2. – С.138-143.
- 4 Битюцкий Н.П. Минеральное питание растений / Н. П. Битюцкий. - Санкт-Петербург: Изд. дом С.-Петербургского гос. ун-та, 2014. – 538 с.
- 5 Schmitt, F. J., Renger, G., Friedrich, T., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Los, D. A., Allakhverdiev, S. I. Reactive oxygen species: re-evaluation of generation, monitoring and role in stress-signaling in phototrophic organisms // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. – 2014. – vol. 1837. – P. 835-848.
- 6 Nunez, M., Mazzafera, P., Mazorra, L. M., Siqueira, W. J., Zullo, M. A. T. Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl // *Biologia Plantarum*. – 2003. – vol. 47. – P. 67-70.
- 7 Ashraf M. A., Iqbal M., Rasheed R., Hussain I., Riaz M., Arif, M. S. Environmental stress and secondary metabolites in plants: an overview // *Plant metabolites and regulation under environmental stress*. – Academic Press, 2018. – P. 153-167.
- 8 Яковец, О.Г. Фитофизиология стресса: курс лекций / О. Г. Яковец. – Минск БГУ, 2010. – 103 с.
- 9 Карпенко Н. П., Сейтказиев А.С., Маймакова А.К. Экологическая оценка деградации сероземно-луговых почв Жамбылской области // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2016. - №12(54) - С.132-135.
- 10 Lygina, T. Z., Mikhaylova, O. A., Khatsrinov, A. I., Konyukhova, T. P. Technology of chemical activation of inorganic natural mineral sorbents: monograph // *Kazan: Kazan State Technol. University*. – 2009.
- 11 Bansal R. C., Goyal M. Activated carbon adsorption. – CRC press, 2005, P.520
- 12 Popper K., Bouthilet R. J., Slamecka V. Ion-exchange removal of sodium chloride from water with calcium hydroxide as recoverable regenerant // *Science*. – 1963. – vol. 141. – P. 1038-1039.
- 13 Nguyen, L. N., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., Nghiem, L. D. Coupling granular activated carbon adsorption with membrane bioreactor treatment for trace organic contaminant removal: Breakthrough behaviour of persistent and hydrophilic compounds // *Journal of environmental management*. – 2013. – vol. 119. – P. 173-181.
- 14 Wang S., Ma Q., Zhu Z. H. Characteristics of coal fly ash and adsorption application // *Fuel*. – 2008. – vol 87.– P. 3469-3473.
- 15 Kene, D. R., Lanjewar, S. A., Ingole, B. M., Chaphale, S. D. Effect of application of fly ash on physico-chemical properties of soils // *Journal of Soils and Crops*. – 1991. – vol. 1. – P. 11-18.
- 16 Kishor P., Ghosh A. K., Kumar D. Use of fly ash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity // *Asian Journal of Agricultural Research*. – 2010. – vol. 4. – P. 1-14.
- 17 Levison P. R. et al. Performance comparison of low-pressure ion-exchange chromatography media for protein separation // *Journal of Chromatography A*. – 1997. – vol. 760. – P. 151-158.
- 18 Liu G. et al. Copper doping improves hydroxyapatite sorption for arsenate in simulated groundwaters // *Environmental science & technology*. – 2010. – vol. 44. – P. 1366-1372.
- 19 Fihri, A., Len, C., Varma, R. S., Solhy, A. Hydroxyapatite: A review of syntheses, structure and applications in heterogeneous catalysis // *Coordination Chemistry Reviews*. – 2017. – vol. 347. – P. 48-76.
- 20 Hell R., Mendel R. R. (ed.). *Cell biology of metals and nutrients*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- 21 Бабенко ОН. // < Molibdofermenty-I-Ih-Biologycal-Rol.Pdf >
- 22 Omarov R. T., Sagi M., Lips S. H. Regulation of aldehyde oxidase and nitrate reductase in roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) by nitrogen source and salinity // *Journal of Experimental Botany*. – 1998. – vol. 49. – №. 322. – P. 897-902.
- 23 Zdunek-Zastocka E., Omarov RT., Koshiba T., Lips HS. Activity and protein level of AO isoforms in pea plants (*Pisum sativum* L.) during vegetative development and in response to stress conditions // *Journal of experimental botany*. – 2004. – vol. 55. – №. 401. – P. 1361-1369.
- 24 Yesbergenova Z., Yang G., Oron E., Soffer D., Fluhr R., Sagi M. The plant Mo²⁺hydroxylases aldehyde oxidase and xanthine dehydrogenase have distinct reactive oxygen species signatures and are induced by drought and abscisic acid // *The Plant Journal*. – 2005. – vol. 42. – №. 6. – P. 862-876.
- 25 Исхаков Х. А., Счастливец Е. Л., Кондратенко Ю. А. Зола уноса в качестве компонента почвенного субстрата // *Экология и промышленность России*. – 2009. – №. 3. – С. 17-18.

Д.С.Мухамеджанова¹, И.В.Аксенова¹, Б.Б.Ильясова², Р.Т.Омаров²

¹ Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, Тараз, Қазақстан

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

Ион алмасушы сорбенттердің және көмір күлінің арпа өсімдіктерінің (*Hordeum vulgare* L.) тұз күйзелісі жағдайларындағы төзімділігіне әсері

Аннотация. Сорбенттердің әрқелкі заттарды бір-біріне қосу қабілеті оларды өнеркәсіптегі фильтрация және техникалық сұйықтықтарды тазалау үрдістерінде қарқынды қолданылуының себебі болып табылады. Қазіргі шақта, көктемгі арпа өсіру модельді жүйесі қолданыла отырылып, сорбенттердің ортадан артық зиянды тұздарды жою, яғни, қорғаныс эффектісі зерттелді және дәлелденді. Тұздалған ортада сорбенттердің қатысуымен, *Hordeum vulgare* L. өсімдігі қалыпты өсуі мен дамуын, альдегидоксидаза, каталаза және супероксиддисмутазаның шамалы белсенділігін көрсетті. Ион алмасушы сорбенттер зиян тұздардың иондарын сіңіріп ғана қоймай, өсімдіктерге сіңірілген иондардың санымен бірдей мөлшерде өсімдіктерге зиянсыз иондар бөлу арқылы Na^+ -тың жасушаларға өтуін болдырмайды деген болжам қалыптасқан еді. Бұл механизм тәжірибелі үлгілерден қатты сезімтал жауаптың жоқ болуын және тотығу күйзелісінің әлсіз болуын түсіндіреді. Көмір күлі тұздану жағдайларында мелиорант ретінде қолданылған. Тәжірибелі үлгілер құрғақ салмақ жинаудан минималды қиыншылық көрсетті. Көмір күлі деградацияға ұшыраған жерлердің топырағының биологиялық және химиялық жағдайын жақсарту алатын, перспективалы мелиорант ретінде бола алатындығы қорытындыланды.

Түйін сөздер: сорбенттер, ион алмасушы шайыр, тұз күйзелісі, тұзға төзімділік, альдегидоксидаза, каталаза, супероксиддисмутаз, *Hordeum vulgare* L.

D.Mukhamejanova¹, I.V.Axyonova¹, B.B.Ilyassova², R.T.Omarov².

¹ Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Taraz, Kazakhstan

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

Effect of ion-exchange sorbents and fly ash on increasing the tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress

Abstract. The sorbents' ability to bind other substances has become one of the reasons for their active use for filtration and purification of industrial liquids. In this paper, using a model system of barley, the protective effect of sorbents for removing excess toxic salts from the medium was studied. Under saline conditions in the presence of sorbents, plants of *Hordeum vulgare* L. showed normal growth and development, as well as moderate activity of aldehydeoxidase, catalase and superoxidismutase. It was assumed that ion-exchange sorbents block the flow of Na^+ into the cell by absorbing the ions of toxic salts from the medium with the release of an equivalent number of plant-safe ions. This mechanism causes the absence of a hypersensitive response in experimental samples and weak development of oxidative stress. Fly ash was used as ameliorant in saline conditions. Emerged barley samples also showed minimal inhibition in the accumulation of dry mass. It was found that fly ash can act as a promising ameliorant that improves the biological and chemical state of the degraded soils.

Keywords: sorbents, ion exchange resins, salt stress, salt stability, aldehyde oxidase, catalase, superoxide dismutase, *Hordeum vulgare* L.

References

- 1 Borovskij V.M. Formirovanie zasolennyh pochv i halogeoхимические провинции Казахстана [The formation of saline soils and halogeochemical province of Kazakhstan] (Nauka, Almata, 1982)
- 2 Shirokova Ju. I., Morozov A. N. Jekologicheskie problemy zasoljonnih oroshaemyh zemel' [Environmental problems of saline irrigated lands]. Available at: <http://water-salt.narod.ru/eko-prob-z-z-uz.htm> (assessed 15.06.2018)
- 3 Truhina, Ju. O., Shajbe, R., Eprincev, A. T. Vlijanie solevogo stressa na osnovnye fiziologo-bioхимические параметры rastenij kartofelja [Effect of salt stress on the main physiological and biochemical parameters of potato plants], Vestn. VGU. Serija: Himija, Biologija, Farmacija [Bulletin of the Voronezh state University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], (2), 138-143 (2000). [in Russian]
- 4 Bitjuckij N.P. Mineral'noe pitanie rastenij [Mineral nutrition of plants] (SPBGU, Saint Petersburg, 2014)
- 5 Schmitt, F. J., Renger, G., Friedrich, T., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Los, D. A., Allakhverdiev, S. I. Reactive oxygen species: re-evaluation of generation, monitoring and role in stress-signaling in phototrophic organisms //Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. – 2014. – vol. 1837. – P. 835-848.
- 6 Nunez, M., Mazzafera, P., Mazonza, L. M., Siqueira, W. J., Zullo, M. A. T. Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl //Biologia Plantarum. – 2003. – vol. 47. – P. 67-70.
- 7 Ashraf M. A., Iqbal M., Rasheed R., Hussain I., Riaz M., Arif, M. S. Environmental stress and secondary metabolites in plants: an overview //Plant metabolites and regulation under environmental stress. – Academic Press, 2018. – P. 153-167.
- 8 Jakovec, O.G. Fitofiziologija stressa: kurs lekcij [Phytophysiology of stress: a course of lectures] (BSU, Minsk, 2010)
- 9 Karpenko N.P., Sejtkaev A.S., Majmakova A.K. Jekologičeskaja ocenka degradacii serozemno-lugovyh pochv Zhambylskoj oblasti [Environmental assessment of degradation of gray-earth-meadow soils of Zhambyl region], Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal], 12(54), 132-135 (2016). [in Russian]

- 10 Lygina, T. Z., Mikhaylova, O. A., Khatsrinov, A. I., Konyukhova, T. P. Technology of chemical activation of inorganic natural mineral sorbents: monograph //Kazan: Kazan State Technol. University. – 2009.
- 11 Bansal R. C., Goyal M. Activated carbon adsorption. – CRC press, 2005, P.520
- 12 Popper K., Bouthilet R. J., Slamecka V. Ion-exchange removal of sodium chloride from water with calcium hydroxide as recoverable regenerant //Science. – 1963. – vol. 141. – P. 1038-1039.
- 13 Nguyen, L. N., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., Nghiem, L. D. Coupling granular activated carbon adsorption with membrane bioreactor treatment for trace organic contaminant removal: Breakthrough behaviour of persistent and hydrophilic compounds //Journal of environmental management. – 2013. – vol. 119. – P. 173-181.
- 14 Wang S., Ma Q., Zhu Z. H. Characteristics of coal fly ash and adsorption application //Fuel. – 2008. – vol 87.– P. 3469-3473.
- 15 Kene, D. R., Lanjewar, S. A., Ingole, B. M., Chaphale, S. D. Effect of application of fly ash on physico-chemical properties of soils //Journal of Soils and Crops. – 1991. – vol. 1. – P. 11-18.
- 16 Kishor P., Ghosh A. K., Kumar D. Use of fly ash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity //Asian Journal of Agricultural Research. – 2010. – vol. 4. – P. 1-14.
- 17 Levison P. R. et al. Performance comparison of low-pressure ion-exchange chromatography media for protein separation //Journal of Chromatography A. – 1997. – vol. 760. – P. 151-158.
- 18 Liu G. et al. Copper doping improves hydroxyapatite sorption for arsenate in simulated groundwaters //Environmental science & technology. – 2010. – vol. 44. – P. 1366-1372.
- 19 Fihri, A., Len, C., Varma, R. S., Solhy, A. Hydroxyapatite: A review of syntheses, structure and applications in heterogeneous catalysis //Coordination Chemistry Reviews. – 2017. – vol. 347. – P. 48-76.
- 20 Hell R., Mendel R. R. (ed.). Cell biology of metals and nutrients. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
- 21 Babenko O.H. // < Molibdofermenty-I-Ih-Biologycal-Rol.Pdf > .
- 22 Omarov R. T., Sagi M., Lips S. H. Regulation of aldehyde oxidase and nitrate reductase in roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) by nitrogen source and salinity //Journal of Experimental Botany. – 1998. – vol. 49. – №. 322. – P. 897-902.
- 23 Zdunek-Zastocka E., Omarov RT., Koshiha T., Lips HS. Activity and protein level of AO isoforms in pea plants (*Pisum sativum* L.) during vegetative development and in response to stress conditions //Journal of experimental botany. – 2004. – vol. 55. – №. 401. – P. 1361-1369.
- 24 Yesbergenova Z., Yang G., Oron E., Soffer D., Fluhr R., Sagi M. The plant Mo²⁺hydroxylases aldehyde oxidase and xanthine dehydrogenase have distinct reactive oxygen species signatures and are induced by drought and abscisic acid //The Plant Journal. – 2005. – vol. 42. – №. 6. – P. 862-876.
- 25 Ishakov H. A., Schastlivcev E. L., Kondratenko Ju. A. Zola unosa v kachestve komponenta pochvennogo substrata [Fly Ash as a soil substrate], //Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry in Russia] (3), (17-18), (2009) [in Russian].

Сведения об авторах:

Мухамеджанова Д. С. – Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебінің оқушысы, Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, Домалак ана көшесі 266, Тараз қ., Қазақстан.

Аксенова И. В. – биология магистрі, биология сарапшы-мұғалімі, Физика-математика бағытындағы Назарбаев зияткерлік мектебі, Домалак ана көшесі 266, Тараз қ., Қазақстан.

Ильясова Б. В. – биотехнология және микробиология магистрі, "Өсімдіктер Биотехнологиясы" зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Омаров Р.Т. – биотехнология және микробиология кафедрасының меңгерушісі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Mukhamejanova D.S. – student of Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Domalak ana str., 266, Taraz, Kazakhstan.

Axyunova I.V. - Master of Biology, expert biology teacher, Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Domalak ana str., 266, Taraz, Kazakhstan.

Ilyassova B.B. - Master of Biotechnology and Microbiology, junior researcher of the "Plant Biotechnology" laboratory at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Omarov R.T. - prof., head of the biotechnology and microbiology department of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 10.05.2020

«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. Биологиялық ғылымдар сериясы» журналында мақала жариялау ережесі

1. Журнал мақсаты. Биохимия, молекулалық биология, биотехнология, биоинформатика, вирусология, биофизика, биоинженерия, физиология, ботаника, зоология, эволюциялық биология, генетика, микробиология, биомедицина салалары бойынша мұқият тексеруден өткен ғылыми құндылығы бар мақалалар жариялау.

2. Журналда мақала жариялаушы автор мақаланың қол қойылған 1 дана қағаз нұсқасын Ғылыми басылымдар бөліміне (редакцияға, мекенжайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қаласы, Қ. Сәтбаев көшесі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Бас ғимарат, 402 кабинет) және *eurjourbio@enu.kz* электрондық поштасына PDF, Tex форматтарындағы нұсқаларын жіберу қажет. Мақаланың мәтінінің қағаз нұсқасы мен электронды нұсқасумен бірдей болуы қажет. Мақалалар қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде қабылданады. Мақаланың тех.фарматтындағы үлгісі bulbio.enu.kz журнал сайтында берілген. Сонымен қатар, автор(лар) ілеспе хат ұсынуы керек.

3. Автордың қолжазбаны редакцияға жіберуі мақаланың Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Хабаршысында басуға және, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісімін білдіреді. Автор мақаланы редакцияға жіберу арқылы автор туралы мәліметтің дұрыстығына, мақала көшірілмегендігіне (плагиаттың жоқтығына) және басқа да заңсыз көшірмелердің жоқтығына кепілдеме береді.

4. Мақаланың көлемі 18 беттен аспауға тиіс (6 беттен бастап).

5. Мақаланың құрылымы

FTAMPK <http://grnti.ru/>

Автор(лар)дың аты-жөні

Мекеменің толық атауы, қаласы, мемлекеті (егер авторлар әртүрлі мекемеде жұмыс жасайтын болса, онда әр автор мен оның жұмыс мекемесі қасында бірдей белгі қойылу керек)

Автор(лар)дың E-mail-ы

Мақала атауы

Аңдатпа (100-200 сөз; формуласыз, мақаланың атауын мейлінше қайталамауы қажет; әдебиеттерге сілтемелер болмауы қажет; мақаланың құрылысын (кіріспе /мақаланың мақсаты/ міндеттері /қарастырылып отырған сұрақтың тарихы, зерттеу әдістері, нәтижелер/талқылау, қорытынды) сақтай отырып, мақаланың қысқаша мазмұны берілуі қажет).

Түйін сөздер (6-8 сөз не сөз тіркесі. Түйін сөздер мақала мазмұнын көрсетіп, мейлінше мақала атауы мен аннотациядағы сөздерді қайталамай, мақала мазмұнындағы сөздерді қолдану қажет. Сонымен қатар, ақпараттық-іздістіру жүйелерінде мақаланы жеңіл табуға мүмкіндік беретін ғылым салаларының терминдерін қолдану қажет).

Негізгі мәтін мақаланың мақсаты/ міндеттері/ қарастырылып отырған сұрақтың тарихы, зерттеу әдістері, нәтижелер/талқылау, қорытынды бөлімдерін қамтуы қажет.

Таблица, суреттер – аталғаннан кейін орналастырылады. Әр таблица, сурет қасында оның аталуы болуы қажет. Сурет айқын, сканерден өтпеген болуы керек.

Мақаладағы **формулалар** тек мәтінде оларға сілтеме берілсе ғана нөмірленеді.

Жалпы қолданыста бар **аббревиатуралар** мен **қысқартулардан** басқалары міндетті түрде алғаш қолданғанда түсіндірілуі берілуі қажет. **Қаржылай көмек туралы** ақпарат бірінші бетте көрсетіледі.

Әдебиеттер тізімі

Мәтінде әдебиеттерге сілтемелер тікжақшаға алынады. Мәтіндегі әдебиеттер тізіміне сілтемелердің нөмірленуі мәтінде қолданылуына қатысты жүргізілді: мәтінде кездескен әдебиетке алғашқы сілтеме [1] арқылы, екінші сілтеме [2] арқылы т.с.с. жүргізіледі. Кітапқа жасалатын сілтемелерде қолданылған беттер де көрсетілуі керек (мысалы, [1, 45 бет]). Жарияланбаған еңбектерге сілтемелер жасалмайды. Сонымен қатар, рецензиядан өтпейтін басылымдарға да сілтемелер жасалмайды (әдебиеттер тізімінің әзірлеу үлгілерін төмендегі мақаланы рәсімдеу үлгісінен қараңыз).

Мақала соңындағы әдебиеттер тізімінен кейін **библиографиялық мәліметтер** орыс және ағылшын тілінде (егер мақала қазақ тілінде жазылса), қазақ және ағылшын тілінде (егер мақала орыс тілінде жазылса), орыс және қазақ тілінде (егер мақала ағылшын тілінде жазылған болса) беріледі.

Авторлар туралы мәлімет: автордың аты-жөні, ғылыми атағы, қызметі, жұмыс орны, жұмыс орнының мекен-жайы, телефон, e-mail – қазақ, орыс және ағылшын тілдерінде толтырылады.

6. Қолжазба мұқият тексерілген болуы қажет. Техникалық талаптарға сай келмеген қолжазбалар қайта өңдеуге қайтарылады. Қолжазбаның қайтарылуы оның журналда басылуына жіберілуін білдірмейді.

7. Редакцияға түскен мақала жабық (анонимді) тексеруге жіберіледі. Барлық рецензиялар авторларға жіберіледі. Автор (рецензент мақаланы түзетуге ұсыныс берген жағдайда) үш күн аралығында қайта қарап, қолжазбаның түзетілген нұсқасын редакцияға қайта жіберуі керек. Рецензент жарамсыз деп таныған мақала қайтара қарастырылмайды. Мақаланың түзетілген нұсқасы мен автордың рецензентке жауабы редакцияға жіберіледі.

8. Төлемақы. Басылымға рұқсат етілген мақала авторларына төлем жасау туралы ескертіледі. Төлем көлемі – ЕҰҰ қызметкерлері үшін 4500 тенге және 5500 тенге басқа ұйым қызметкерлеріне.

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"
БИК Банка: HSBKZZKX
ИИК: KZ946010111000382181
Кбе 16
Кип 859.
Для сотрудников ЕНУ - 4500 тенге, для сторонних организаций - 5500 тенге
"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

**Provision on articles submitted to the journal "Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.
BIOSCIENCE Series"**

1. Purpose of the journal. Publication of carefully selected original scientific works in the fields of Biochemistry, Molecular Biology, Biotechnology, Bioinformatics, Virology, Biophysics, Bioengineering, Physiology, Botany, Zoology, Evolutionary Biology, Genetics, Microbiology, Biomedicine.

2. An author who wishes to publish an article in a journal must submit the article in hard copy (printed version) in one copy, signed by the author to the scientific publication office (at the address: 010008, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Satpayev St., 2. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Main Building, room 402) and by e-mail eurjourbio@enu.kz in Word, PDF and Tex format. At the same time, the correspondence between Tex-version, PDF-version and the hard copy must be strictly maintained. Article template in tex-format you can find on the journal web-site bulbio.enu.kz. And you also need to provide the cover letter of the author(s).

Language of publications: Kazakh, Russian, English.

3. Submission of articles to the scientific publication office means the authors' consent to the right of the Publisher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, to publish articles in the journal and the re-publication of it in any foreign language. Submitting the text of the work for publication in the journal, the author guarantees the correctness of all information about himself, the lack of plagiarism and other forms of improper borrowing in the article, the proper formulation of all borrowings of text, tables, diagrams, illustrations.

4. The volume of the article should not exceed 18 pages (from 6 pages).

5. Structure of the article

GRNTI <http://grnti.ru/>

Initials and Surname of the author (s)

Full name of the organization, city, country (if the authors work in different organizations, you need to put the same icon next to the name of the author and the corresponding organization)

Author's e-mail (s)

Article title

Abstract (100-200 words, it should not contain a formula, the article title should not repeat in the content, it should not contain bibliographic references, it should reflect the summary of the article, preserving the structure of the article - introduction/ problem statement /goals/ history, research methods, results /discussion, conclusion).

Keywords (6-8 words/ word combination. Keywords should reflect the main content of the article, use terms from the article, as well as terms that define the subject area and include other important concepts that make it easier and more convenient to find the article using the information retrieval system).

The main text of the article should contain an introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results / discussion, conclusion. Tables, figures should be placed after the mention. Each illustration should be followed by an inscription. Figures should be clear, clean, not scanned.

In the article, only those *formulas* are numbered, to which the text has references.

All *abbreviations*, with the exception of those known to be generally known, must be deciphered when first used in the text.

Information on *the financial support* of the article is indicated on the first page in the form of a footnote.

References

In the text references are indicated in square brackets. References should be numbered strictly in the order of the mention in the text. The first reference in the text to the literature should have the number [1], the second - [2], etc. The reference to the book in the main text of the article should be accompanied by an indication of the pages used (for example, [1, 45 p.]). References to unpublished works are not allowed. Unreasonable references to unreviewed publications (examples of the description of the list of literature, descriptions of the list of literature in English, see below in the sample of article design).

At the end of the article, after the list of references, it is necessary to indicate bibliographic data in Russian and English (if the article is in Kazakh), in Kazakh and English (if the article is in Russian) and in Russian and Kazakh languages (if the article is English language).

Information about authors: surname, name, patronymic, scientific degree, position, place of work, full work address, telephone, e-mail - in Kazakh, Russian and English.

6. The article must be **carefully verified**. Articles that do not meet technical requirements will be returned for revision. Returning for revision does not mean that the article has been accepted for publication.

7. Work with electronic proofreading. Articles received by the Department of Scientific Publications (editorial office) are sent to anonymous review. All reviews of the article are sent to the author. The authors must send the proof of the article within three days. Articles that receive a negative review for a second review are not accepted. Corrected versions of articles and the author's response to the reviewer are sent to the editorial office. Articles that have positive reviews are submitted to the editorial boards of the journal for discussion and approval for publication.

Periodicity of the journal: 4 times a year.

8. Payment. Authors who have received a positive conclusion for publication should make payment (for ENU employees - 4,500 tenge, for outside organizations - 5,500 tenge).

Положение о рукописях, представляемых в журнал «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия Биологические науки»

1. Цель журнала. Публикация тщательно отобранных оригинальных научных работ по следующим направлениям: биохимия, молекулярная биология, биотехнология, биоинформатика, вирусология, биофизика, биоинженерия, физиология, ботаника, зоология, эволюционная биология, генетика, микробиология, биомедицина.

2. Автору, желающему опубликовать статью в журнале необходимо представить рукопись в твердой копии (распечатанном варианте) в одном экземпляре, подписанном автором в Отдел научных изданий (по адресу: 010008, Казахстан, г.Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Учебно-административный корпус, каб. 349) и по e-mail eurjourbio@enu.kz в формате Tex и PDF. При этом должно быть строго выдержано соответствие между Tex-файлом, PDF-файлом и твердой копией. Шаблон статьи в формате tex приведен на сайте журнала bulbio.enu.kz. Также автору(ам) необходимо предоставить сопроводительное письмо.

Язык публикаций: казахский, русский, английский.

3. Отправление статей в редакцию означает согласие авторов на право Издателя, Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, издания статей в журнале и переиздания их на любом иностранном языке. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в рукописи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

4. Объем статьи не должен превышать 18 страниц (от 6 страниц).

5. Схема построения статьи

ГРНТИ <http://grnti.ru/>

Инициалы и Фамилию автора(ов)

Полное наименование организации, город, страна (если авторы работают в разных организациях, необходимо поставить одинаковый значок около фамилии автора и соответствующей организации)

E-mail автора(ов)

Название статьи

Аннотация (100-200 слов; не должна содержать формулы, не должна повторять по содержанию название статьи; не должна содержать библиографические ссылки; должна отражать краткое содержание статьи, сохраняя структуру статьи – введение/ постановка задачи/ цели/ история, методы исследования, результаты/обсуждения, заключение/выводы).

Ключевые слова (6-8 слов/словосочетаний). Ключевые слова должны отражать основное содержание статьи, использовать термины из текста статьи, а также термины, определяющие предметную область и включающие другие важные понятия, позволяющие облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы).

Основной текст статьи должен содержать введение/ постановку задачи/ цели/ историю, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы.

Таблицы, рисунки необходимо располагать после упоминания. Каждой иллюстрации должна следовать надпись. Рисунки должны быть четкими, чистыми, несканированными.

В статье нумеруются лишь те **формулы**, на которые по тексту есть ссылки.

Все **аббревиатуры и сокращения**, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

Сведения о **финансовой поддержке** работы указываются на первой странице в виде сноски.

Список литературы

В тексте ссылки обозначаются в квадратных скобках. Ссылки должны быть пронумерованы строго по порядку упоминания в тексте. Первая ссылка в тексте на литературу должна иметь номер [1], вторая - [2] и т.д. Ссылка на книгу в основном тексте статьи должна сопровождаться указанием использованных страниц (например, [1, 45 стр.]). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Нежелательны ссылки на нерцензируемые издания (примеры описания списка литературы, описания списка литературы см. ниже в образце оформления статьи).

В конце статьи, после списка литературы, необходимо указать **библиографические данные** на русском и английском языках (если статья оформлена на казахском языке), на казахском и английском языках (если статья оформлена на русском языке) и на русском и казахском языках (если статья оформлена на английском языке).

Сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, научная степень, должность, место работы, полный служебный адрес, телефон, e-mail – на казахском, русском и английском языках.

6. Рукопись должна быть **тщательно выверена**. Рукописи, не соответствующие техническим требованиям, будут возвращены на доработку. Возвращение на доработку не означает, что рукопись принята к опубликованию.

7. Работа с электронной корректурой. Статьи, поступившие в Отдел научных изданий (редакция), отправляются на анонимное рецензирование. Все рецензии по статье отправляются автору. Авторам в течение трех дней необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

Периодичность журнала: 4 раза в год.

8. Оплата. Авторам, получившим положительное заключение к опубликованию необходимо произвести оплату (для сотрудников ЕНУ – 4500 тенге, для сторонних организаций – 5500 тенге).

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

IRSTI 27.25.19

G.S. Mukiyanova¹, A.Zh. Akbassova¹, J. Maria Pozo², R.T. Omarov¹

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

² *Estacion Experimental del Zaidon (CSIC), Granada, Spain*

(E-mail: gmukiyanova@gmail.com, a.j.alua@gmail.com, mjpozo@eez.csic.es, romarov@gmail.com)

Tbsv encoded capsid protein p41 triggers resistance in solanum lycopersicum

Abstract: Efficient infection of *Nicotiana benthamiana* plants with wild type Tomato bushy stunt virus (TBSV) is influenced by expression of protein P19, which is a potent RNAi suppressor. The capsid protein (CP) P41 is required for virion formation and facilitates long distance movement of the virus. Along with RNAi suppression, P19 protein is involved in the development of severe disease symptoms in *N. benthamiana* and elicitation of Hypersensitive Response (HR) in tobacco. Our results show that wild type TBSV infection of *Solanum lycopersicum* (cv. Money maker) triggers resistance to the virus. Despite detectable accumulation levels of P19 protein in leaf and root tissues, the infection was not accompanied with obvious disease symptoms. Contrastingly, inoculation with TBSV mutant, lacking capsid protein P41 demonstrated susceptibility to TBSV. Moreover, Chl-FI analysis of plants infected with virus exhibited significant changes in metabolism. Our data suggests that in response to CP expression tomato plants have evolved defense mechanisms to resist viral infection.

Keywords: Tomato bushy stunt virus, capsid protein, virions, resistance, *Solanum lycopersicum*.

TEXT OF THE ARTICLE

- **The main text** of the article should be divided into clearly defined and numbered sections (subsections). Subsections must be numbered 1.1, 1.2, etc. Required sections of the article:

1. Introduction should supply the rational of the investigation and its relation to other works in the same scope.

2. Materials and methods should be detailed to enable the experiments to be repeated. Do not include extensive details, unless they present a substantially new modification.

3. Results section may be organized into subheadings. In this section, describe only the results of the experiments. Reserve extensive interpretation for the Discussion section. Avoid combining Results and Discussion sections.

4. Discussion should provide an interpretation of the results in relation to previously published works.

5. Conclusion The main conclusions of the study can be presented in a short section "Conclusions".

6. Author contributions should indicate the individual contribution of authors to the manuscript.

7. Acknowledgments should be brief and should precede the References.

8. Funding the source of any financial support received for the work being published must be indicated.

Ethics approval Manuscripts reporting animals and/or human studies must that relevant Ethics Committee or Institutional Review Board include provided or waived approval.

Tables

Tables must be placed next to the relevant text in the article. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes above the table body.

ТАБЛИЦА 1 – Title of table

Prime	Nonprime numbers
2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29	4, 6, 8, 9, 10, 12, 14

Figures

Figures must be saved individually and separate to text. All figures must be numbered in the order in which they appear in the article (e.g. figure 1, figure 2). In multi-part figures, each part should be labeled (e.g. figure 1(a), figure 1(b)). Figures must be of sufficiently high resolution (minimum 600 dpi). It is preferable to prepare figures in black-and-white or grey color scale. Figures should be clear, clean, not scanned (PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX).



РИСУНОК 1 – Title of figure

References

- 1 Alazem M., Lin N. Roles of plant hormones in the regulation of host-virus interactions // Mol Plant Pathol. - 2015. - V. 16, № 5. - P. 529-40. doi: ... (if available) - **Journal article**
- 2 Abimuldina ST, Sydykova GE, Orazbaeva LA Functioning and development of the infrastructure of sugar production // Innovation in the agricultural sector of Kazakhstan: Mater. Intern. Conf., Vienna, Austria, 2009. - Almaty, 2010. - P. 10-13 - **Proceedings of the conferences**
- 3 Kurmukov A.A. Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin. - Almaty: Bastau, 2007. - S. 3-5 - **newspaper articles**
- 4 Sokolovsky D.V. The theory of synthesis of self-aligning cam mechanisms of drives [Elektron.resurs]. - 2006. - URL: <http://bookchamber.kz/stst-2006.htm> (reference date: 12.03.2009) - **Internet sources**
- 5 Petushkova G.I. Costume Design: Textbook. for universities / G.I. Petushkova. - Moscow: Academy, 2004. - 416 p. - **the book**
- 6 Кусаинова А.А., Булгакова О.В., Берсимбаев Р.И. Роль miR125b в патогенезе рака легкого // Прикладные информационные аспекты медицины. - 2017. -Т. 20. - №4. -С. 86-92. - **Journal article**

Г.С. Мукиянова¹, А.Ж. Акбасова¹, М.Х. Позо², Р.Т. Омаров¹

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

² Испаниялық ұлттық зерттеу институты, Гранада, Испания

Solanum lycopersicum өсімдігінде резистенттілік жауаптың tomato bushy stunt virus (tbsv) вирусының р41 капсидтік ақуызымен белсендірілуі

Аннотация. Tomato bushy stunt virus (TBSV) вирусымен кодталатын P19 ақуызы РНҚ интерференцияның қуатты супрессоры болып табылады және Nicotiana benthamiana өсімдіктерінің вируспен жұқтырылуында маңызды рөл атқарады. P19 ақуызының экспрессиясы вируспен зақымдануы айқын көрініс береді де, өсімдіктің толық коллапсына әкеліп соқтырады. Сонымен қатар супрессорлық P19 ақуызы Nicotiana tabacum өсімдігінде гиперсезімталдық реакциясын белсендіруге жауапты. Вирустың P41 капсидтік ақуызы вирион құрылымын қалыптастырып, өсімдік бойымен таралауын қамтамасыз етеді. Алынған зерттеу нәтижелері TBSV вирусының жабайы типінің инфекциясы Solanum lycopersicum (Money maker сұрыбы) қызанақ өсімдігінде вирусқа қарсы төзімділік жауабын тудыратынын анықтады. Өсімдіктің тамыр және жапырақ ұлпасында P19 ақуызының жинақталуына қарамастан вируспен зақымдалудың сыртқы көрінісі нашар байқалды. Алайда, Chlorophyll Fluorescence Imaging system (Chl-FI) сараптамасы вируспен зақымдалған өсімдіктерде жасушаішілік метаболизмінің өзгеруін анықтады. Ал вирустың капсидтік ақуызы экспрессияланбайтын

мутантпен инфекция тудырғанда, қызанақ өсімдіктері жоғары сезімталдық көрсетіп, жүйелік некрозға ұшырады. Зерттеу нәтижелері қызанақтың Money maker сұрыбында TBSV вирусына қарсы қорғаныс механизмдері вирустық капсидтік ақуыз P41-ді тану арқылы белсендірілетінін көрсетеді.

Түйін сөздер: Tomato bushy stunt virus (TBSV), вирус, капсидтік ақуыз, вирион, Solanum lycopersicum, резистенттілік, РНК-интерференция.

Г.С. Мукиянова¹, А.Ж. Акбасова¹, М.Х. Позо², Р.Т. Омаров¹

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

² Испанский национальный исследовательский центр, Гранада, Испания

Капсидный белок p41 вируса tomato bushy stunt virus (tbsv) активизирует резистентность у растений вида solanum lycopersicum

Аннотация. Кодированный вирусом Tomato bushy stunt virus (TBSV), белок P19 является мощным супрессором РНК интерференции и играет важную роль при инфекции растений *Nicotiana benthamiana*, которая характеризуется ярко выраженными симптомами заболевания и системным коллапсом. Кроме того, белок P19 является элиситором гиперчувствительного ответа у *Nicotiana tabacum*. Капсидный белок вируса P41 формирует вирионы и способствует развитию системной инфекции. Полученные нами данные показали, что при инфекции диким типом TBSV у растений вида *Solanum lycopersicum* (сорт Money maker) активизируется резистентный ответ. Несмотря на системную аккумуляцию белка супрессора P19 в листьях и корнях, у растений не проявляются видимые симптомы заболевания. Однако анализ Chlorophyll Fluorescence Imaging system (Chl-FI) показал, что в инфицированных вирусом растениях происходят значительные изменения метаболизма. Более того, инфекция растений мутантом TBSV по капсидному белку приводит к системному некрозу гибели растений. Полученные данные указывают на то, что у томатов выработаны защитные механизмы в ответ на экспрессию капсидного белка P41 вируса TBSV.

Ключевые слова: Tomato bushy stunt virus (TBSV), капсидный белок, вирион, Solanum lycopersicum, резистентность, РНК-интерференция.

Список литературы

- 1 Alazem M., Lin N. Roles of plant hormones in the regulation of host-virus interactions, Mol Plant Pathol, **16**(5), 529-40(2015). doi: ... (if available) - **Journal article**
- 2 Abimuldina ST, Sydykova GE, Orazbaeva LA Functioning and development of the infrastructure of sugar production, Innovation in the agricultural sector of Kazakhstan: Mater. Intern. Conf., Vienna, Austria, 2009. Almaty, 2010. P. 10-13 - **Proceedings of the conferences**
- 3 Kurmukov A.A. Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin. Almaty. Newspaper "Bastau", 2007. P. 3-5 - **newspaper articles**
- 4 Sokolovsky D.V. The theory of synthesis of self-aligning cam mechanisms of drives [Elektron.resurs]. 2006. Available at: <http://bookchamber.kz/stst-2006.htm> (Accessed: 12.03.2009) - **Internet sources**
- 5 Petushkova G.I. Costume Design: Textbook. for universities (Academy, Moscow, 2004, 416 p.) - **the book**
- 6 Kusainova A., Bulgakova O., Bersimbaev R. Rol miR125b v patogeneze raka legkogo [Role of miR125b in the pathogenesis of lung cancer], Prikladnyie informatsionnyie aspektyi mediciny [Applied information aspects of medicine], **20**(4), 86-92, (2017). [in Russian] - **Journal article**

Authors information:

Мукиянова Г.С.- PhD докторант, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Акбасова А.Ж.- аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Позо М.Х.- ғылыми қызметкер, Испаниялық ұлттық зерттеу институты, Гранада, Испания.

Омаров Р.Т.- биотехнология және микробиология кафедрасының меңгерушісі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Mukiyanova G.S.- PhD student, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Akbassova A.Zh - Senior tutor, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Maria J. Pozo- Tenured scientist, Estacion Experimental del Zaidon (CSIC), Granada, Spain.

Omarov R. T.- Head of department, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Received 10.05.2020

Редакторы: Р.І. Берсімбаев, Р.Т. Омаров

Шығарушы редактор, дизайн: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Биологиялық ғылымдар сериясы.
- 2020. 2(131) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 62-б.
Шартты б.т. - 12,86. Таралымы - 12 дана.
Басуға қол қойылды 27.06.2020.

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Нұр-Сұлтан қ.,
Сәтбаев көшесі 13.

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды