

УДК: 579.26:631.87

Бауенова М. О.¹, Нуралибеков С. Ш.¹, А.К. Садвакасова¹
Косалбаев Б.Д.¹, Ыбраи С.Н.¹, symbat.ybrai@bk.ru
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби,
Республика Казахстан

ВЛИЯНИЕ ИЗОЛЯТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН РИСА В ЗАСОЛЕННОЙ ПОЧВЕ

Засоление почвы представляет собой постоянную угрозу урожайности и росту сельскохозяйственных культур, особенно в странах, где орошение является важным подспорьем в сельском хозяйстве. Цианобактерии представляют собой прокариотические фотосинтетические сообщества, которые используются как биоудобрения для многих растений, особенно риса. Цианобактерии играют важную роль в поддержании и выращивании плодородия почвы, следовательно, повышая рост и урожайность риса, а также устойчивости растений к засолению. В этой работе были использованы пять штаммов цианобактерий (*Oscillatoria tenuis* Sh-11, *Anabaena* sp. Bl-4, *Nostoc calcicola* J-14, *Tolypothrix tenuis*, *Spirulina platensis*). Изучено влияние цианобактерий на рост проростков риса при различных концентрациях NaCl. Результаты исследования показали, что при инокуляции *Anabaena* sp. Bl-4 и *Spirulina platensis* всхожесть семян составила 86,2±1,2% и 82,0±1,0 соответственно. Среди цианобактерий максимальная всхожесть семян наблюдалась у *Nostoc calcicola* J-14 (89±0,5%). Азотфиксирующие культуры *Anabaena* sp. Bl-4 и *Nostoc calcicola* J-14 имели широкий диапазон роста при концентрации NaCl от 0-16 г/л. Причем, наибольшую устойчивость к NaCl (16 г/л) показал штамм *Nostoc calcicola* J-14. Эти результаты поощряют использование *Nostoc calcicola* J-14 в качестве биоудобрения для увеличения роста и повышения устойчивости растений риса в засоленной почве.

Ключевые слова: цианобактерии, рис, соленость, инокуляция, биоудобрения.

Бауенова М. О.¹, Нуралибеков С. Ш.¹, Садвакасова А.К.¹,
Косалбаев Б. Д.¹, Ыбраи С. Н.^{*1} symbat.ybrai@bk.ru
Аль-Фараби ат. Казак улуттук университети
Казакстан Республикасы

КҮРҮЧ ҮРӨНДӨРҮНҮН ШОР (ТУЗДУУ) ТОПУРАКТА ӨНҮП ЧЫГУУСУНА ЦИАНОБАКТЕРИЯЛАРДЫН ИЗОЛЯТТАРЫНЫН ТААСИРИ

Топурактын туздуулугу айыл чарба өсүмдүктөрүнүн түшүмдүүлүгүнө жана өсүүсүнө, айрыкча, сугат айыл чарбасынын маанилүү колдоосу болгон өлкөлөрдө дайыма коркунуч жаратат. Цианобактериялар – көптөгөн өсүмдүктөр, айрыкча, күрүч үчүн биожеер семирткич катары колдонулган прокариоттук фотосинтездик коомчулуктар. Цианобактериялар кыртыштын асылдуулугун сактоодо жана өстүрүүдө маанилүү ролду ойнойт, демек, күрүчтүн өсүшүн жана түшүмүн, ошондой эле өсүмдүктөрдүн туздуулукка туруктуулугун жогорулатат. Бул иште цианобактериялардын беш штаммы колдонулган (*Oscillatoria tenuis* Sh-11, *Anabaena* sp. Bl-4, *Nostoc calcicola* J-14, *Tolypothrix tenuis*, *Spirulina platensis*). NaCl ар кандай концентрациясында күрүч көчөттөрүнүн өнүшүнө цианобактериялардын таасири изилденген. Изилдөөнүн жыйынтыгы көрсөткөндөй, *Anabaena* sp. Bl-4 жана *Spirulina platensis* уруктарынын өнүшү тиешелүүлүгүнө жараша 86,2±1,2% жана 82,0±1,0 болгон. Цианобактериялардын ичинен эң жогорку үрөн өнүп чыгышы *Nostoc calcicola* J-14 (89±0,5%) байкалган. Азотту берүүчү өсүмдүктөр *Anabaena* sp. Bl-4 жана *Nostoc calcicola* J-14 0-16 г/л чейин NaCl концентрациясында өсүштүн кеңири диапозонуна ээ болгон. Мындан тышкары, *Nostoc calcicola* J-14 штаммы NaClге эң жогорку туруктуулукту көрсөткөн (16 г/л). Бул жыйынтыктар *Nostoc calcicola* J-14 ди шор топурактагы күрүч өсүмдүктөрүнүн өсүшүн жогорулатуу жана чыдамкайлыгын жакшыртуу үчүн биологиялык жеер семирткич катары колдонууга түрткү берет.

Өзөктүү сөздөр: цианобактериялар, күрүч, туздуулук, эмдөө, биологиялык жер семирткичтер.

Meruyert O. Bauenova¹, Sardor Sh. Nuralibekov¹, Asemgul K. Sadvakasova¹, Bekzhan D. Kossalbayev¹, Symbat N. Ybrai^{*1}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Kazakhstan

*e-mail: symbat.ybrai@bk.ru

INFLUENCE OF CYANOBACTERIA ISOLATES ON THE GERMINATION OF RICE SEEDS IN SALT SOIL

Soil salinity is a constant threat to crop yields and growth, especially in countries where irrigation is an important agricultural support. Cyanobacteria are prokaryotic photosynthetic communities that are used as biofertilizers for many plants, especially rice. Cyanobacteria play an important role in maintaining and growing soil fertility, hence increasing the growth and yield of rice, as well as plant resistance to salinity. Five strains of cyanobacteria were used in this work (*Oscillatoria tenuis* Sh-11, *Anabaena* sp. Bl-4, *Nostoc calcicola* J-14, *Tolypothrix tenuis*, *Spirulina platensis*). The influence of cyanobacteria on the growth of rice seedlings at various concentrations of NaCl was studied. The results of the study showed that during the inoculation of *Anabaena* sp. Bl-4 and *Spirulina platensis* seed germination was $86.2 \pm 1.2\%$ and 82.0 ± 1.0 , respectively. Among cyanobacteria, the maximum seed germination was observed in *Nostoc calcicola* J-14 ($89 \pm 0.5\%$). Nitrogen-fixing crops *Anabaena* sp. Bl-4 and *Nostoc calcicola* J-14 had a wide range of growth at NaCl concentrations from 0-16 g/l. Moreover, the strain *Nostoc calcicola* J-14 showed the highest resistance to NaCl (16 g/l). These results encourage the use of *Nostoc calcicola* J-14 as a biofertilizer to increase growth and improve the tolerance of rice plants in saline soil.

Key words: cyanobacteria, rice, salinity, inoculation, biofertilizers.

Введение

Засоление отрицательно сказывается на продуктивности сельского хозяйства, в том числе на росте растений и минимизации использования этой земли. Засоленные почвы являются токсичными, т.к. имеют высокую концентрацию легкорастворимых солей (более 0.25%) в любом почвенном слое и воздействуют на рост растений (Munns, 2009). В целом, засоленные почвы занимают 20% всех освоенных земель мира, а половина всех орошаемых земель подвержены засолению высокой степени. Более того, тенденция роста засоления почв сохраняется, при этом 900 млн. га в мире оцениваются как земли, подвергающиеся засолению, что составляет приблизительно 6% от всех почв мира, или около 20% всех освоенных территории мира (Flowers, 2004; Gamalero et al., 2009). Засоленные почвы стали растущей проблемой в орошаемых землях сельскохозяйственного назначения (Ковда, 2008).

Засоленные почвы в основном распространены в Центральной Азии и Казахстане, они есть также в Западной Сибири и Западном Китае. Большая часть засоленных почв – 70% СНГ сосредоточена в Казахстане. По исследованию происхождения, развития и условий образования засоленных почв на территории Казахстана были проведены многочисленные работы (Исанова и др., 2017).

Засоленность почвы угнетает рост сельскохозяйственных растений и вызывает их гибель. Площади засоления почв увеличиваются, тем самым происходит перестройка биоценоза, связанная с нарушением состава и свойства почвы. В результате многие виды растений, ранее произраставших на этих территориях, гибнут и появляются виды, более устойчивые к изменившемуся составу почв. Поэтому необходимо установить границы устойчивости живых компонентов экосистемы к фактору засоления.

В последнее время наблюдаются интенсивные исследования по составам фототрофных микроорганизмов, полезным при выращивании растений. Фототрофные микроорганизмы характеризуются более высокой продуктивностью, чем наземные растения, и могут быть использованы для производства ценных продуктов для растений, включая удобрения (Wuang et al., 2016). Цианобактерии могут играть решающую роль в устойчивом сельском хозяйстве, которая способствует плодородию почвы, росту и повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению качества окружающей среды (Singh et al., 2016; Osman et al., 2016).

Цианобактерии (сине-зеленые водоросли) являются одним из основных компонентов азотфиксирующей биомассы рисовых полей. Сельскохозяйственное значение цианобактерий в выращивании риса напрямую связано с их способностью фиксировать азот и другими положительными эффектами для растений и почвы (Malik et al., 2001).

Цианобактерии заселяют практически все наземные и водные биотопы, в том числе солёные водоёмы, пустыни и городские почвы, характеризующиеся повышенным содержанием солей. Они проявляют значительную толерантность к соли и осмотическому стрессу (Apte and Thomas, 1986).

При ослаблении развития высшей растительности под влиянием промышленного освоения территорий возрастает роль цианобактерий как составной части автотрофного блока экосистемы. Развиваясь на поверхности и в толще почвы, цианобактерии оказывают влияние на её физико-химические свойства. Они синтезируют и выделяют в окружающую среду разнообразные вещества, улучшают водный режим и аэрацию почвы, препятствуют её эрозии. Поэтому, изучение биологии и экологии отдельных видов почвенных микроорганизмов, в том числе и цианобактерий, является актуальной проблемой. Настоящая работа направлена на повышение эффективности выращивания растений риса в засоленной почве путем инокуляции азотфиксирующими цианобактериями в качестве биоудобрений во избежание химически опасного удобрения внесения в почву.

Материалы и методы

Влияние азотфиксирующих цианобактерий, химических и биологических удобрений на рост проростков риса в модельных экспериментах

Семена риса были получены из секции селекции риса Центра сельскохозяйственных исследований в Алматы, Казахстан. Семена использовали для изучения влияния коллекционных штаммов цианобактерий *Oscillatoria tenuis* Sh-11, *Anabaena* sp. Bl-4, *Nostoc calcicola* J-14, *Tolypothrix tenuis*, *Spirulina platensis*, так же химических и биологических удобрений на скорость прорастания семян риса и образование корней (ризогенный эффект) у проростков.

Семена риса тщательно промывали водой с последующей стерилизацией этанолом в течение 3-4 мин, затем промывали дистиллированной водой. Чашки Петри (диаметром 9 см) использовали в трех экземплярах, которые снабжали фильтровальной бумагой того же диаметра, а затем стерилизовали. В каждую чашку Петри помещали по пятьдесят семян риса. Семена обрабатывали суспензией исследуемой культуры цианобактерии, химических и биологических удобрений. Контрольные семена обрабатывали стерильной водой. А затем инкубировали при 30 °С в течение 3 дней в темноте. После прорастания чашки Петри переносили на свет на 7 дней. Наличие роста стимулирующего, ингибирующего или нейтрального эффекта, определяли, сравнивая всхожесть семян, длину корня и стебля растений в контрольных и опытных вариантах.

Рост культур цианобактерий при различных концентрациях NaCl

Исследование функциональной активности культур цианобактерий при различных концентрациях хлорид ионов проводили на монокультурах цианобактерий. Концентрации NaCl варьировали от 0 до 20 г/л: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20. Выращивание цианобактерий проводили в условиях лабораторного люминистата с освещением на поверхности среды 2000 Лк. Накопление биомассы культурами определяли по оптической плотности этанольных экстрактов спектрофотометре СЕСІР 1021 (США). Продолжительность эксперимента составила 7 дней.

Эксперимент с горшками

Этот метод был использован для оценки наиболее солеустойчивого изолята цианобактерий. Семена риса замачивали в воде в течение 24 часов, а затем помещали в темноту при температуре 30 °С на 48 часов. Пластиковые горшки (внутреннего диаметра 7 см и высоты 9 см) были заполнены в каждый по 200 г почвы с искусственным засолением. Горшки разделили на уровни засоления (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 г/л), чтобы проверить толерантность к засолению изолятов цианобактерий (для каждого было сделано по 3 повторения).

Статистический анализ

Полученные, собранные данные были подвергнуты статистическому анализу с использованием дисперсионного анализа (ANOVA). Тесты диапазона ЛСД использовались для сравнения средних значений.

Результаты и их обсуждение

Влияние азотфиксирующих цианобактерий, химических и биологических удобрений на рост проростков риса в модельных экспериментах

В условиях модельного опыта определяли влияние монокультур цианобактерий, а также химических и бактерияльных удобрений на влияния всхожесть семян и рост проростков риса в модельных экспериментах. На рисунке 1 представлены микроскопические изображения использованных штаммов цианобактерий. На рисунках 2 и 3 показаны снимки проростков риса через 7 дней после обработки семян монокультурами цианобактерий, а также химическими и бактерияльными удобрениями.

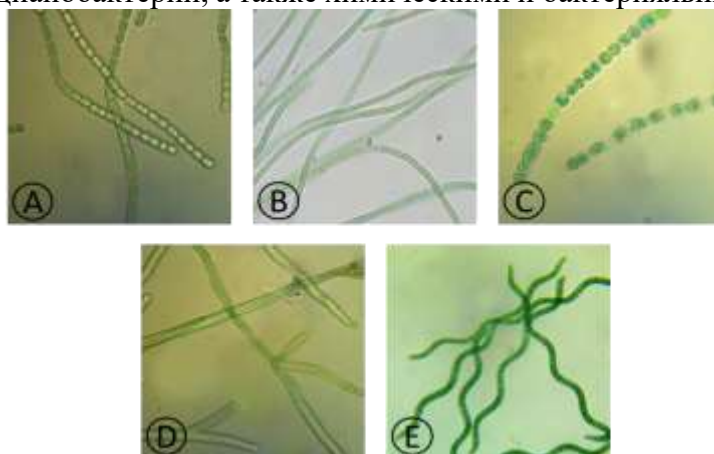


Рисунок – 1. Микроскопические изображения изолятов цианобактерий (увеличение x100): (A) *Anabaena* sp. B1-4, (B) *Oscillatoria tenuis* Sh-11, (C) *Nostoc calcicola* J-14, (D) *Tolypothrix tenuis* и (E) *Spirulina platensis*.

Тест, проведенный на проростках риса, показал, что культуры исследуемых

штаммов цианобактерий, способны стимулировать развитие растений. Максимальная всхожесть семян наблюдалась у биологического удобрения ($91 \pm 0,8\%$) и у цианобактерий *Nostoc calcicola* J-14 ($89 \pm 0,5\%$). Так же *Nostoc* оказывает ростстимулирующий эффект на растения и обладает миколитической активностью в отношении патогенных грибов *Fusarium culmorum* и *Fusarium nivale* (Трефилова, 2008). Затем высокую степень показывает цианобактерия *Anabaena* sp. В1-4 ($86,2 \pm 1,2$). То есть, при обработке семян суспензией цианобактерий улучшается всхожесть семян в сравнении с контролем. Возможно, что благодаря увеличению азотфиксирующей активности в штаммах цианобактерий, увеличивались и ростовые показатели растений риса. Дополнительным преимуществом цианобактериальных биоудобрений является их способность выделять биологически активные вещества, такие как ауксин, гиббереллины, цитокинины, витамины, полипептиды, аминокислоты, которые способствуют росту и развитию растений (Sergeeva et al. 2002).

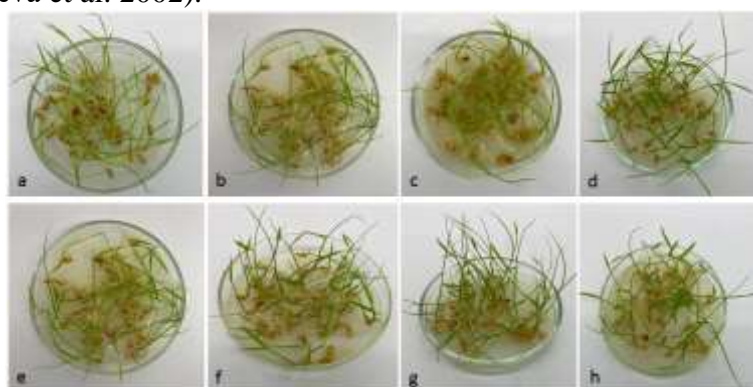


Рисунок – 2. Снимки проростков риса через 7 дней после обработки семян риса, сорта «Ак маржан» монокультурами цианобактерий, химических и биологических удобрений. а – контроль; b - химическое удобрение; c- *Spirulina platensis*; d - *Anabaena* sp. В1-4; e – *Oscillatoria tenuis* Sh-11; f- *Tolypothrix tenuis*; g- *Nostoc calcicola* J-14; h - биологическое удобрение.

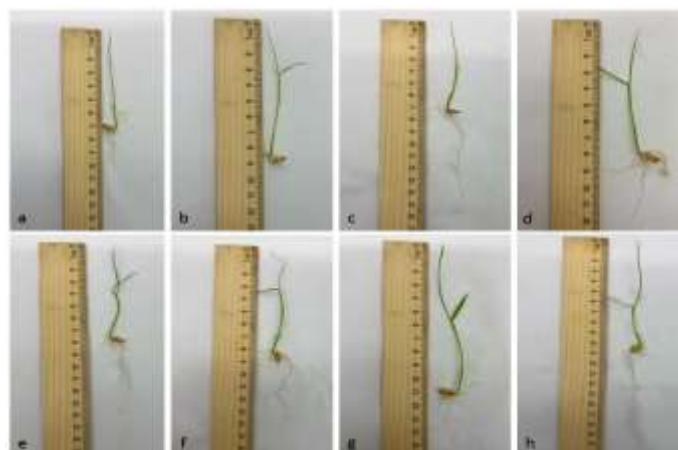


Рисунок – 3. Снимки длины побега и корня проростков риса через 7 дней после обработки семян сорта «Ак маржан» монокультурами цианобактерий, химических и биологических удобрений. а – контроль; b - химическое удобрение; c- *Spirulina platensis*; d - *Anabaena* sp. В1-4; e – *Oscillatoria tenuis* Sh-11; f- *Tolypothrix tenuis*; g- *Nostoc calcicola* J-14; h - биологическое удобрение.

Результаты оценки фитостимулирующей активности исследуемых цианобактерий

и остальных вариантов представлены в таблице 1.

Таблица – 1. Стимулирующий эффект цианобактерий, химических и биологических удобрений на культуру риса в модельном эксперименте

Исследуемые варианты	Стимуляция проростков риса		
	Средняя длина побега, см	Средняя длина корня, см	Всхожесть, %
Контроль (без обработки)	7,1±0,9	3,85±1,5	75±1,5
Химическое удобрение	8,5±0,5	1,2±0,8	65,3±0,2
<i>Spirulina platensis</i>	7,45±0,8	6,68±0,6	82,0±1,0
<i>Anabaena</i> sp. B1-4	8,1±1,1	3,2±0,9	86,2±0,5
<i>Oscillatoria tenuis</i> Sh-11	7,5±0,08	5,2±0,02	71,6±1,6
<i>Tolypothrix tenuis</i>	8,3±0,8	4,2±0,5	77,2±0,7
<i>Nostoc calcicola</i> J-14	11,25±0,5	5,95±0,7	89±1,2
Биологическое удобрение	11,08±1,5	8,54±0,05	91±0,8

Всхожесть семян риса при использовании *Spirulina platensis* составила 82,0±1,0%. Эти результаты согласуются с литературными данными. *Spirulina platensis* может использоваться в качестве богатого источника макро- и микроэлементов для растений – например, витаминов, аминокислот, полипептидов, фитогормонов (гиббереллины, ауксины, цитокинины), антиоксидантов и соединений с антибактериальными и противогрибковыми свойствами (du Jardin, 2015; Bhowmik et al., 2010; Osman et al., 2016; Nawrocka et al., 2017).

Так же при обработке семян риса цианобактериями *Tolypothrix tenuis* и *Oscillatoria tenuis* Sh-11 составили 77,2±0,7% и 71,6±1,6%. Из таблицы 1 видно, что семена риса, обработанные химическим азотным удобрением, показывают наиболее низкую степень прорастания (65,3±0,2%) и длины проростков. Установлено, что при внесении азотного удобрения энергия прорастания и всхожесть, а также дружность прорастания достоверно снижаются по сравнению с контролем и остальными вариантами. Это возможно объясняется тем, что в отмеченный период зародыши питаются за счет питательных веществ, запасенных в эндосперме семян, и не усваивают внесенное химическое удобрение. При этом снижаются темпы физиологических процессов, протекающих в семенах, а следовательно, замедляется скорость прорастания (рис.2).

Результаты модельных опытов показали, что обработка семян риса суспензией биологических удобрений показала наибольший стимулирующий эффект на всхожесть, длину стебля, корней и развитие растения. Для цианобактерии *Nostoc calcicola* J-14, *Anabaena* sp. B1-4 и *Spirulina platensis* также отмечался стимулирующий эффект, но немного в меньшей степени.

Полученные результаты вполне сопоставимы с данными экспериментов других авторов. Имеются данные о том, что прорастание семян риса, обработанных цианобактериями *Anabaena spiroides* и *Anabaena variabilis*, было быстрее, чем в контроле. Результатом эксперимента в горшке были: увеличение высоты растения на 53%; длины корней на 66%; 58% по массе свежих листьев и стеблей; 80% по массе свежих корней; 125% по массе сухих листьев и стеблей; 150% по массе сухих корней; 20% по влажности почвы; 28% по пористости почвы и снижение насыпной плотности почвы на 9,8% и плотности частиц почвы на 4,8% (Saadatnia and Riahi, 2009). Также Liu-ShiMing и Liang-ShiZhong (1998) заметили эффективность экстрактов цианобактерий на

семена фасоли. Фасоль (*Phaseolus radiatus* [*Vigna radiata*]) замачивали в экстрактах из *Nostoc* и помещали в темноту на 3-4 дня перед переносом на свет (1200 Лк). Экстракты *Nostoc* увеличивали рост корней, эпикотилия и гипокотилия, количество корней и растений в свежем и сухом весе.

Таким образом, штаммы цианобактерий *Anabaena* sp. В1-4, *Nostoc calcicola* J-14 и *Spirulina platensis* могут быть предложены для использования в агробιοтехнологии рисовых культур, для улучшения стимулирования развития корневой системы и роста надземной массы растений.

Рост культур цианобактерий при различных концентрациях NaCl

Исследование функциональной активности культур цианобактерий при различных концентрациях хлорид ионов проводили на монокультурах цианобактерий *Anabaena* sp. В1-4, *Nostoc calcicola* J-14 и *Spirulina platensis*. Концентрации NaCl варьировали от 0 до 20 г/л: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20. Выращивание цианобактерий проводили в условиях лабораторного люминистата с освещением на поверхности среды 2000 лк. Выживаемость цианобактерий при различных концентрациях NaCl определили измеряя оптическую плотность с помощью фотометра КФК-3 «ЗОМЗ». Начальная оптическая плотность при 750 нм (ОП₇₅₀), во всех вариантах составляла - 0,02. Продолжительность эксперимента составила 7 дней.

Результаты лабораторного эксперимента по определению влияния содержания хлорида натрия на рост и развитие культур цианобактерий на рисунке 3.

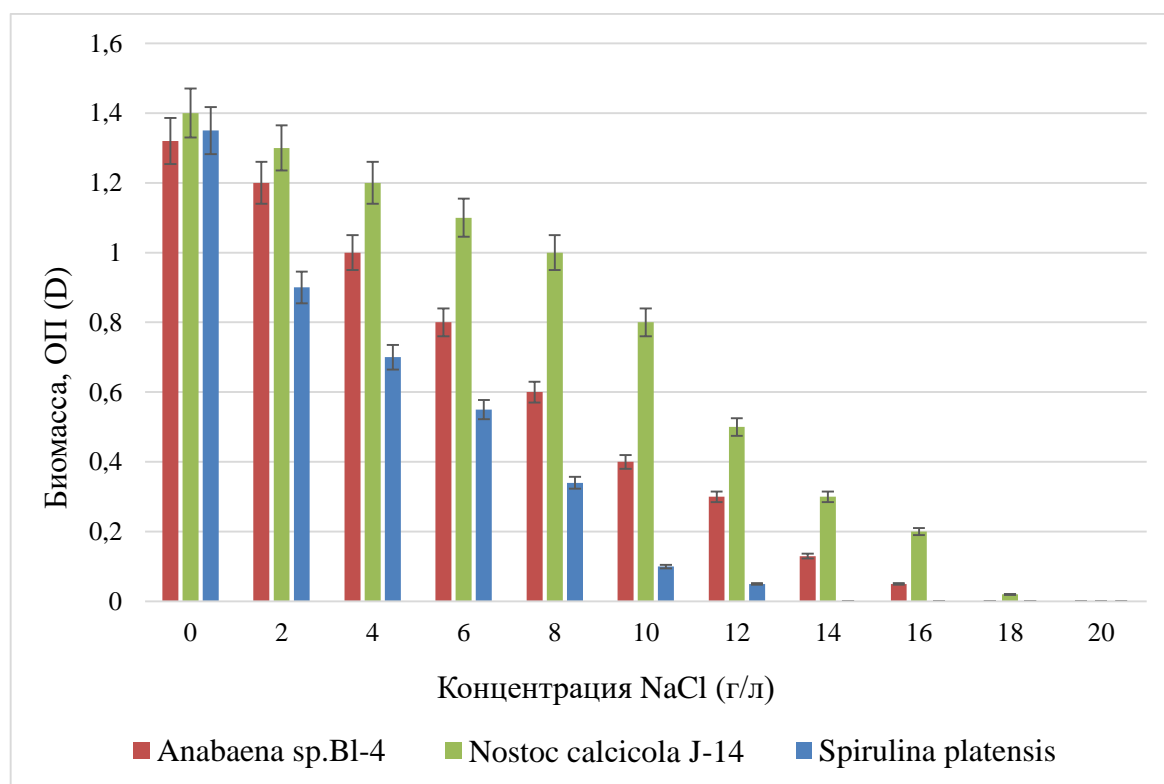


Рисунок – 3. Выход культур цианобактерий при различных концентрациях NaCl

Азотфиксирующие культуры *Anabaena* sp. В1-4 и *Nostoc calcicola* J-14 имели широкий диапазон роста при концентрации NaCl от 0-16 г/л. Это одно из самых высоких

значений концентрации NaCl, при котором показано развитие в культуре гетероцистных цианобактерий. Известные культуры *Anabaena* способны развиваться при солёности не выше морской, хотя и отмечалось их присутствие и природных образцах при более высокой солёности. А культура *Spirulina platensis* показал рост до концентрации 12 г/л NaCl. Установлено, что наиболее устойчивый к NaCl штамм цианобактерий является *Nostoc calcicola* J-14, который сохраняет значительное количество живых клеток при достаточно высоких концентрациях соли в питательной среде (16 г/л). Из рисунка 3 видно, что во всех изучаемых штаммах происходит замедление роста с увеличением концентрации NaCl. Критическим является концентрация хлорида натрия 18 г/л, при которой происходит резкое снижение скорости роста по сравнению с другими концентрациями.

Таким образом, *Nostoc calcicola* J-14 является наиболее устойчивым из исследуемых штаммов цианобактерий. У данного штамма происходит наименьшее замедление скорости роста и он сохраняет значительное количество клеток в питательной среде при достаточно высоких концентрациях соли.

Полученные результаты подчеркивают перспективы и возможности использования биодобровений цианобактерий в качестве возобновляемых природных ресурсов азота для растений. Они не загрязняют окружающую среду, недороги, используют возобновляемые ресурсы в дополнение к своей способности использовать свободную доступную солнечную энергию, атмосферный азот и воду.

Литература:

1. Apte S. K. and Thomas J. (1986). Membrane electrogenesis and sodium transport in filamentous nitrogen-fixing cyanobacteria. *Eur. J. Biochem.* 154:395-401.
2. Bhowmik D, Dubey J, Mehra S (2010) Evaluating potential of *Spirulina* as inoculant for pulses. *Acad J Plant Sci* 3(4):161–164.
3. du Jardin P (2015) Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Sci Hortic* 196:3–14.
4. Flowers T. J. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, Volume 55, Issue 396., P 307–319, <https://doi.org/10.1093/jxb/erh003>.
5. Gamalero E., Lingua G., Berta G. and Glick B.R. (2009) Beneficial role of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on plant responses to heavy metal stress. *Canadian Journal of Microbiology*. 55(5): 501-514. <https://doi.org/10.1139/W09-010>.
6. Liu-ShiMing and Liang-ShiZhong (1998) Effect of extract from *Nostoc commune* cells on the growth of sprouts and seedlings of mung bean (*Phaseolus radiatus*). *Plant Physiology Communications*. 29(6): 429-431.
7. Malik F.R., Ahmed S., Rizki Y.M. (2001). Utilization of lignocellulosic waste for the preparation of nitrogenous biofertilizer. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4: 1217–1220.
8. Munns R. (2009). Strategies for Crop Improvement in Saline Soils. In: Ashraf, M., Ozturk, M., Athar, H. (eds) *Salinity and Water Stress. Tasks for Vegetation Sciences*, vol 44. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9065-3_11.
9. Nawrocka D, Kornicka K, Śmieszek A, Marycz K (2017). *Spirulina platensis* improves mitochondrial function impaired by elevated oxidative stress in Adipose-Derived Mesenchymal Stromal Cells (ASCs) and Intestinal Epithelial Cells (IECs), and enhances insulin sensitivity in Equine Metabolic Syndrome (EMS) horses. *Mar Drugs* 15:237. <https://doi.org/10.3390/md15080237>.
10. Osman MEH, Abo-Shady AM, El-Nagar MMF (2016) Cyanobacterial *Arthrospira*

(*Spirulina platensis*) as safener against harmful effects of fusilade herbicide on faba bean plant. *Rend Fis Acc Lincei* 27:455–462.

11. Saadatnia H., Riahi H. (2009): Cyanobacteria from paddy fields in Iran as a biofertilizer in rice plants. *Plant Soil Environ.*, 55: 207-212.

12. Sergeeva E., Liaimer A. and Bergman B. (2002). Evidence for production of the Phytohormone indole- 3- acetic acid by cyanobacteria. *Planta*, 215: 229-238.

13. Singh JS, Kumar A, Rai AN, Singh DP (2016). Cyanobacteria: a precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability. *Front Microbiol* 7:529. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00529>.

14. Wang, R., et al. (2016), Estimation of global black carbon direct radiative forcing and its uncertainty constrained by observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 5948– 5971, doi:[10.1002/2015JD024326](https://doi.org/10.1002/2015JD024326).

15. Исанова Г.Т., Абудувайли Ц., Мамутов Ж.У., Калдыбаев А.А., Сапаров Г.А., Базарбаева Т.А. Засоленные почвы и определение провинции соленакопления на территории Казахстана // *Аридные экосистемы*. 2017. №4 (73).

16. Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира / В.А. Ковда. – М.: Наука, 2008. – 415 с.

17. Спиридонов А.М. Многолетние бобовые травы как источник биологического азота в земледелии // *Земледелие*. 2007. № 3. С 14-15.