

**Л.В. Игнатова**, **А.Д. Усманова\***, **Е.В. Бражникова**,  
**А.А. Омирбекова**, **А.Е. Аужанова**, **Ж.К. Уразова**

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

\*e-mail: aizhamalduszhanovna@mail.ru

## **СКРИНИНГ ЭФФЕКТИВНЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ, СПОСОБСТВУЮЩИХ УЛУЧШЕНИЮ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ**

Современные технологии, используемые в сельском хозяйстве, главным образом основаны на применении химических средств защиты растений, что неизбежно приводит к загрязнению производимой продукции и окружающей среды. В связи с этим разработка и применение экологически безопасных биопрепаратов, основанных на использовании микроорганизмов, улучшающих рост и развитие растений, являются актуальной задачей современного растениеводства.

В настоящее время микроорганизмы, обладающие совокупностью полезных для растений свойств, принято обозначать как PGPM (от Plant Growth-Promoting Microorganisms – микроорганизмы, способствующие росту растений). Исследования этой перспективной для практического использования группы микроорганизмов вызывают большой интерес. Среди PGPM различных таксономических групп широким набором полезных для растений свойств выделяются микромицеты. Они являются потенциальными объектами агробиотехнологии для разработки биологических средств защиты растений от фитопатогенов, а также биопрепаратов, стимулирующих рост и повышающих продуктивность растений.

В статье представлены данные по отбору штаммов микромицетов, выделенных из агроценозов зерновых и кормовых культур Казахстана, улучшающих рост растений и обладающих способностью повышать доступность для них элементов питания. В результате проведенного скрининга из 44 штаммов было отобрано 2, показавших наибольшую активность и обладающих сразу несколькими ценными свойствами. Отобранные эффективные микромицеты оказывали положительное влияние на физиологические процессы растений (морфометрические показатели и фотосинтез), а также повышали доступность элементов питания (фосфор и калий).

**Ключевые слова:** солюбилизация калия, микромицеты, ростстимулирующая активность, фосфатмобилизация.

L.V. Ignatova, A.D. Usmanova\*, Y.V. Brazhnikova, A.A. Omirbekova, A.Y. Auzhanova, Zh.K. Urazova

Kazakh National University Al-Farabi, Kazakhstan, Almaty

\*e-mail: aizhamalduszhanovna@mail.ru

### **Screening of effective microscopic fungi that contribute to the improvement of plant growth and development**

Modern technologies used in agriculture are mainly based on the use of chemical plant protection products, which inevitably leads to contamination of manufactured products and the environment. In this regard, the development and application of environmentally safe biological products based on the use of microorganisms that improve the growth and development of plants is an urgent task of modern crop production.

Currently, microorganisms with a set of beneficial properties for plants are commonly referred to as PGPM (from Plant Growth-Promoting Microorganisms – microorganisms that promote plant growth). Studies of this promising group of microorganisms for practical use are of great interest. Among the PGPs of various taxonomic groups, a wide range of useful properties for plants are distinguished by micromycetes. They are potential objects of agrobiotechnology for the development of biological plant protection products against phytopathogens, as well as biological products that stimulate growth and increase plant productivity.

The article presents data on the selection of strains of micromycetes isolated from agroecosystems of grain and feed crops of Kazakhstan that improve plant growth and have the ability to increase the availability of nutrients for them. Because of the screening, out of 44 strains, 2 were selected that showed the greatest activity and had several valuable properties at once. The selected effective micromycetes had a positive effect on the physiological processes of plants (morphometric parameters and photosynthesis), as well as increased the availability of nutrients (phosphorus and potassium).

**Key words:** potassium solubilization, micromycetes, growth-stimulating activity, phosphatmobilization.

Л.В. Игнатова, А.Д. Усманова\*, Е.В. Бражникова, А.А. Омирбекова, А.Е. Аужанова, Ж.К. Уразова  
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.  
\*e-mail: aizhamalduszhanovna@mail.ru

### **Өсімдіктердің өсуі мен дамуын жақсартатын тиімді микроскопиялық саңырауқұлақтарды скринингтеу**

Ауыл шаруашылығында қолданылатын заманауи технологиялар негізінен өсімдіктерді қорғаудың химиялық құралдарын қолдануға негізделген, бұл өндірілетін өнім мен қоршаған ортаның ластануына әкелетіні сөзсіз. Осыған байланысты өсімдіктердің өсуі мен дамуын жақсартатын микроорганизмдерді қолдануға негізделген экологиялық қауіпсіз биологиялық өнімдерді әзірлеу және қолдану – қазіргі өсімдік шаруашылығының басты міндеті.

Қазіргі уақытта өсімдіктерге пайдалы қасиеттердің жиынтығы бар микроорганизмдер әдетте PGPM ретінде белгіленеді (Plant growth-promoting microorganisms – Өсімдіктердің өсуіне ықпал ететін микроорганизмдер). Микроорганизмдер тобын тәжірибе үшін қолдануға осы перспективалы зерттеулер үлкен қызығушылық тудырады. Әртүрлі таксономиялық топтардың PGPM арасында өсімдіктерге пайдалы қасиеттерінің кең спектрі микромицеттермен ерекшеленеді. Олар өсімдіктерді фитопатогендерден биологиялық қорғауды, сондай-ақ өсімдіктердің өсуін ынталандыратын және өнімділігін арттыратын биологиялық өнімдерді әзірлеуге арналған агробιοтехнологияның әлеуетті нысаны.

Мақалада өсімдіктердің өсуін жақсартатын және олар үшін қоректік элементтердің қолжетімділігін арттыру қабілеті бар Қазақстанның астық және мал азықтық дақылдарының агроценоздарынан бөлінген микромицеттер штамдарын іріктеу жөніндегі деректер берілген. Жүргізілген скрининг нәтижесінде 44 штамман ең жоғары белсенділікті көрсеткен және бірден бірнеше құнды қасиетке ие 2 штамм таңдалды. Таңдалған тиімді микромицеттер өсімдіктердің физиологиялық процестеріне (морфометриялық көрсеткіштер мен фотосинтез) оң әсер етті, сонымен қатар қоректік заттардың (фосфор мен калий) қолжетімділігін арттырды.

**Түйін сөздер:** калийдің еруі, микромицеттер, өсуді ынталандыратын белсенділік, фосфатмобилизация.

### **Введение**

Загрязнение окружающей среды и абиотические стрессы являются основными глобальными проблемами, влияющими на прорастание семян, появление всходов и энергию прорастания и, в конечном счете, урожая [1]. Эти неблагоприятные условия оказывают серьезное влияние на многие сельскохозяйственные районы особенно засушливых и полузасушливых климатических зон [2]. Абиотические стрессы влияют на рост растений и урожайность за счет задержки начала прорастания и снижение скорости роста растений [3]. Это также воздействует на почвенную биоту, что приводит к значительным экономическим потерям. Другим ограничением урожайности является плохая доступность питательных веществ в почве [4]. Все это стимулирует поиск новых подходов к обработке семян с помощью эффективных микроорганизмов – стимуляторов роста растений, агентов биоконтроля или биопестицидов. Сельское хозяйство в Ка-

захстане имеет потребность в простой, эффективной и управляемой технологии для улучшения приживаемости и урожайности сельскохозяйственных культур в различных экологических условиях. Использование биопрепаратов на основе эффективных микроорганизмов как для стимуляции роста, так и для защиты растений от различных биотических и абиотических факторов является одним из приоритетных направлений в биотехнологии и защите окружающей среды. В настоящее время исследования направлены на получение многокомпонентных биопрепаратов широкого спектра действия. Их сущность заключается в подборе микроорганизмов, обладающих комплексом биологических свойств; выяснении механизмов их положительного действия на растения; изучении их колонизирующей и конкурентной способности, влияния на резидентную микрофлору ризосферы и ризопланы растений; оценке технологичности и эффективности [5-7].

Обработка посевного материала, а также корней и проростков растений некоторыми

штаммами PGP микромицетов может существенно снижать пораженность растений фитопатогенами и увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур. Использование таких штаммов в сельскохозяйственной практике, по мнению многих исследователей, уже в ближайшее время найдет широкое применение в современной агробиотехнологии. В некоторых случаях возможно использование смешанных препаратов совместимых микроорганизмов, в том числе различных таксономических групп с обязательным включением микромицетов [8-10].

Целью настоящего исследования был скрининг микромицетов, обладающих биотехнологически ценными свойствами и оценка дальнейшего их применения для стимуляции роста сельскохозяйственных культур.

### **Материалы и методы**

**Объекты исследования.** Объектами исследования служили 44 штамма микромицетов, выделенных из агроценозов зерновых и кормовых культур Казахстана.

Для оценки влияния микромицетов на растения использовали семена ячменя сорта «Арна» (*Hordeum vulgare*).

#### **Определение способности микроорганизмов к солибилизации калия**

Исследуемые микроорганизмы инкубировали на агаризованной питательной среде Александрова [11]. Штаммы, обладающие способностью к солибилизации калия, выявляли по способности формировать зоны гало (зоны просветления) вокруг колоний. Активность изолятов оценивали, вычисляя соотношение  $K_{\text{хандепаркара}} = d$  зоны просветления/ $d$  колонии.

#### **Выявление фосфатмобилизующей активности при росте микромицетов на плотной питательной среде NBRIP с индикатором бромфиноловым синим**

Микроорганизмы культивировали на агаризованной питательной среде NBRIP согласно методу Jayadi M. и др. [12]. В качестве индикатора использовали бромфеноловый синий (БФС) в количестве 0,025 г/л. Штаммы, обладающие способностью к солибилизации фосфатов, выявляли по способности формировать зоны просветления вокруг колоний. Способность к

фосфат-мобилизации оценивали путем вычисления индекса солибилизации ИС по формуле (1) и по эффективности солибилизации ЭС по формуле (2):

ИС = диаметр зоны просветления/диаметр колонии (1)

ЭС = диаметр зоны просветления/диаметр колонии×100 (2)

#### **Выявление фосфат-мобилизующей активности при росте микромицетов в жидкой питательной среде двухстадийным методом**

Для дальнейшего изучения фосфат-мобилизующей активности микромицетов исследования проводили в жидкой питательной среде (РВК), содержащей нерастворимый фосфат, в качестве которого использовали трикальцийфосфат (ТКФ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). В качестве источника углерода использовали глюкозу.

Содержание нерастворенного фосфора определяли колориметрическим двухстадийным методом с использованием молибдата аммония и двуххлористого олова с добавлением твина-80 [13].

#### **Определения подвижных соединений фосфора в почве**

Определение подвижных соединений фосфора был проведен по методу Чирикова в модификации Цинао [14].

#### **Ростстимулирующая активность микромицетов**

Обработку семян проводили культуральной жидкостью, разбавленной стерильной водопроводной водой доразведения 1:5. В качестве контроля использовали семена, замоченные в стерильной водопроводной воде. После чего инокулированные семена вносили в почву [15].

#### **Спектрофотометрический анализ фотосинтезирующих пигментов**

Содержание фотосинтетических пигментов определяли согласно методике, предложенной Шлык с соавторами [16].

Количественные данные подвергали статистической обработке с использованием общепринятых математических методов для вычисления среднего арифметического значения, среднего квадратичного отклонения и средней квадратичной ошибки.

## Результаты и обсуждение

### Скрининг калий-мобилизующих микромицетов

В почве присутствуют все необходимые для растений минеральные вещества в достаточном количестве, однако степень их усвоения ограничена. Низкие коэффициенты использования растениями элементов питания из почвы и удобрений в значительной степени обуславливаются их слабой подвижностью и пространственным разобщением корневой системы и мест сорбции питательных веществ в почве. Существенный вклад в стимуляцию роста агрокультур вносит способность микроорганизмов к повышению биодоступности элементов минерального питания. Известно, что некоторые микроорганизмы способны мобилизовать и переводить недоступный фосфор и калий в доступную форму [17-19].

Штаммы, обладающие способностью к соллюбилизации калия, выявляли по способности формировать зоны просветления вокруг колоний при инкубировании на питательной среде Александра. Активность изолятов оценивали, вычисляя соотношение Кхандепаркара [20-21].

Из 44 культур микромицетов 9 проявили способность к соллюбилизации калия, из них 2 штамма дрожжей и 7 штаммов мицелиальных грибов. При росте на среде Александра изоляты формировали зоны просветления от  $6,3 \pm 0,3$  до  $48,8 \pm 2,4$  мм. Соотношение Кхандепаркара варьировало в диапазоне от 1,02 до 1,45. Следует отметить, что мицелиальные грибы в большей степени обладали способностью мобилизовать калий по сравнению с дрожжевыми штаммами (Рисунок 1). Соотношение Кхандепаркара достигало максимальных значений у штаммов *P. bilaiae* T8 и *A. ustus* T5

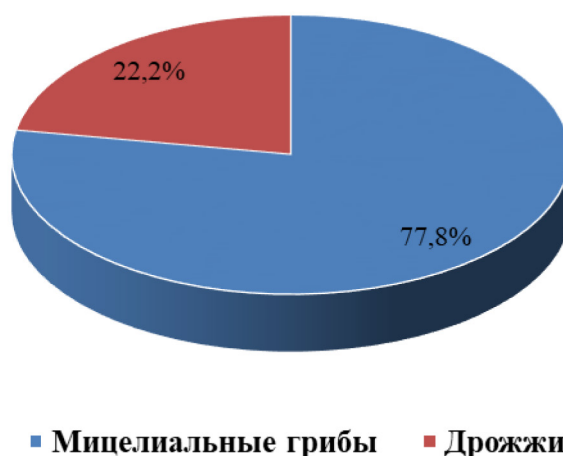


Рисунок 1 – Соотношение активных мицелиальных грибов и дрожжей по способности мобилизовать калий, %

Результаты проведенных исследований по изучению калий-соллюбилизирующей способности микромицетов согласуются с данными других авторов. Так, в работе Prajapati et al. сообщается об активных штаммах мицелиальных грибов рода *Aspergillus*, у которых соотношение Кхандепаркара составляло от 1,04 до 1,87 [22]. В исследованиях Rosa-Maggi и др. продемонстрирована способность дрожжевого штамма *Torulaspora globosa* к соллюбилизации калия [23].

### Скрининг фосфат-мобилизующих микромицетов

Изучение фосфат-мобилизующей активности микроорганизмов осуществляли в два этапа. Первый этап состоял из прямого отбора микроорганизмов по способности расти на плотной питательной среде, содержащей труднорастворимые фосфаты кальция, и формировать зоны гало (зоны просветления) вокруг колоний. На втором этапе изучали способность отобранных штаммов растворять неорганические фосфаты

в жидкой питательной среде посодержанию остаточного количества фосфора.

При изучении способности штаммов микромицетов к фосфат-мобилизации показано, что 10 из 44 исследуемых культур активно мобилизовали труднорастворимые фосфаты кальция. При солюбилизации микроорганизмами

фосфатов кальция, содержащихся в среде, происходило образование зон гало на изначально мутной среде, что свидетельствовало о наличии фосфат-мобилизующей активности. Диаметр зон гало варьировал в пределах от  $8,8 \pm 0,4$  до  $88,3 \pm 4,2$  мм в зависимости от штамма (Рисунок 2).

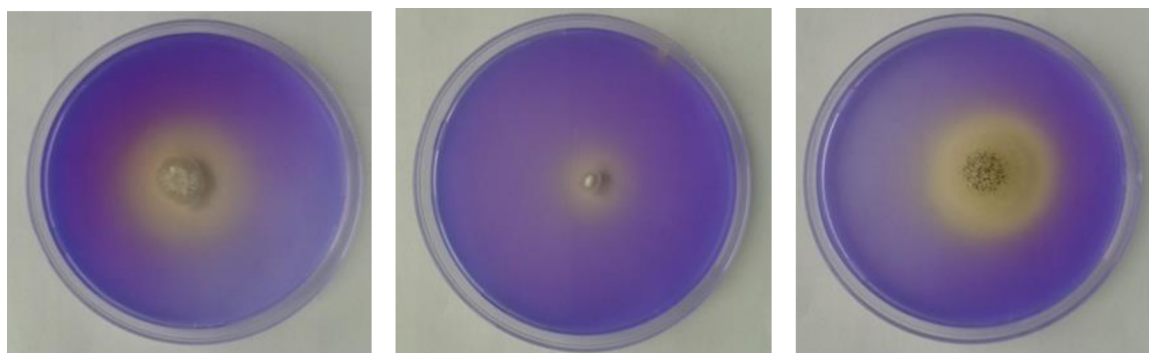


Рисунок 2 – Формирование зон гало штаммами микромицетов при росте на среде NBRIP

Среди 10 активных штаммов, обладающих наибольшей фосфат-мобилизующей активностью, 3 штамма отнесены к дрожжам (*A. pullulans* T1, *A. pullulans* T3, *M. Pulcherrima* T2) и 7

штамма – к мицелиальным грибам (*P. bilaiae* T8, *A. sydowii* T12, *A. ustus* T5, *Trichoderma* sp. T10, *P. bilaiae* C11, *Penicillium* sp. T7, *P. dipodomycicola* T4) (рисунок 3).

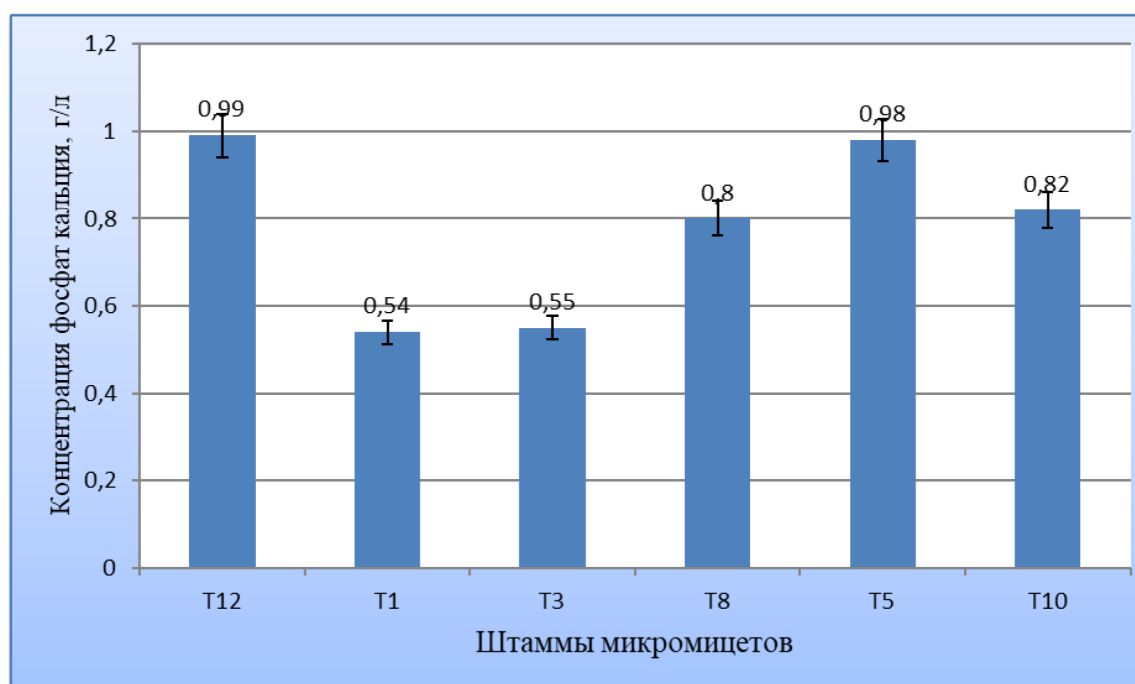


Рисунок 3 – Способность активных микромицетов растворять труднорастворимый фосфат кальция (г/л) ( $p < 0,05$ )



Максимальной способностью растворять фосфаты в среде обладали 2 штамма мицелиальных грибов *T. viride* T10 и *P. bilaiae* T8 (концентрация нерастворенного фосфора в данных вариантах составила соответственно  $0,55 \pm 0,03$  г/л и  $0,54 \pm 0,03$  г/л) и 2 штамма дрожжевых культур *A. pullulans* T1 и *A. pullulans* T3 ( $0,80 \pm 0,04$  и  $0,88 \pm 0,04$  г/лг/л).

Влияние микромицетов на ростовые характеристики растений в модельных экспериментах

В результате проведенных исследований из 44 штаммов были отобраны 2 наиболее активных – *P. bilaiae* T8 и *A. pullulans* T1. В качестве тестовых растений использовали семена ячменя сорта «Арна» (*Hordeum vulgare*). Семена замачивали в культуральной жидкости исследуемых культур. Контролем служили семена, замоченные в стерильной водопроводной воде. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Влияние микромицетов на ростовые качества ячменя

Вариант	Количество проросших семян, %	Длина стебля, см	Длина корня, см	Масса стебля, г	Масса корня, г
Контроль	75	20,0±1,0	6,8±0,3	0,211±0,011	0,089±0,004
<i>P.bilaiae</i> T8	95	23,3±1,2	9,1±0,5	0,277±0,013	0,132±0,007
<i>A.pullulans</i> T1	100	25,5±1,3	12,1±0,5	0,293±0,015	0,145±0,007

При обработке семян культурами микромицетов отмечено увеличение длины стебля на 3,3 – 5,5 см, длины корня на 2,3 – 5,3 см по сравнению с контролем. Количество проросших семян в опытных вариантах составило 95 – 100%, тогда как в контроле этот показатель составил 75%. Также показано, что биомасса корней и стеблей выше у тех растений, семена которых были инокулированы штаммами микромицетов.

Таким образом полученные данные свидетельствуют о том, что обработка семян штаммами *P. bilaiae* T8 и *A. pullulans* T1 оказала положительное влияние на морфометрические параметры растений. Вероятно, это связано с выработкой микромицетами активных веществ,

которые активизируют биохимические процессы в растениях.

В ходе эксперимента было установлено, что растения ячменя, которые выращивались в опытных вариантах отличались содержанием и соотношением хлорофилла а и b от контрольных. Так, например, содержание хлорофилла а в варианте с обработкой семян штаммом *A.pullulans*T1 составило  $0,997 \pm 0,049$  мг/г, хлорофилла b  $0,470 \pm 0,024$  мг/г. В контрольном варианте эти показатели составили  $0,770 \pm 0,039$  и  $0,415 \pm 0,021$  мг/г соответственно. Также установлено, что суммарное количество хлорофилла – а и b в опытных вариантах на  $0,239 – 0,282$  мг/г больше по сравнению с вариантом без инокуляции семян (таблица 2).

**Таблица 2** – Влияние микромицетов на содержание хлорофилла а и b в листьях ячменя, в мг/г

Вариант	Количество хлорофилла а, мг/г	Количество хлорофилла b, мг/г	Содержание общего хлорофилла, мг/г	Отношение хлорофилла а к b
Контроль	0,770±0,039	0,415±0,021	1,185±0,006	1,855
<i>A. pullulans</i> T1	0,997±0,049	0,470±0,024	1,467±0,007	2,121
<i>P. bilaiae</i> T8	0,958±0,048	0,466±0,023	1,424±0,007	2,056

В вариантах инокуляции штаммами *A. pullulans* T1 и *P. bilaiae* T8 наблюдали значительное увеличение количества растворимых

форм фосфора в почве. Максимальное содержание свободного фосфора отмечено на 30 сутки ( $0,795$  и  $0,720 \times 10^3$  мкг кг<sup>-1</sup> соответственно).

## Заключение

Полученные данные показывают, что изученные эффективные микромицеты оказывают положительное влияние на физиологические процессы растений (морфометрические показатели и фотосинтез), а также повышают доступность элементов питания. Их дальнейшее использование в составе биопрепарата обеспечивает ускорение роста, повышение урожайности и качества выращиваемых агрокультур. Кроме того, существенным их достоинством будет являться безвредность для человека, животных, почвенных организмов и окружающей среды.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках проекта АР09261262 «Биотехнология создания микробной композиции для стимулирования роста и повышения адаптивного потенциала сельскохозяйственных растений», финансируемой Министерством образования и науки Республики Казахстан.

## Конфликт интересов

Авторы статьи подтверждают отсутствие финансовой или какой-либо иной поддержки исследования, или конфликта интересов.

## Литература

1. Lambers, H., Grammer, M.D., Pearse, S.J. Veneklaas, E.J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits // *Ann. Bot.* – 2006. – Vol. 98. – P. 693-713.
2. Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., Young, C.C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities // *Appl Soil Ecol.* – 2016. – Vol. 34. – P. 33-41.
3. Othman, R., Mohd, H., Saud, M., Habib, S.H. Isolation and characterization of rhizobia and plant growth-promoting rhizobacteria and their effects on growth of rice seedlings // *Appl Soil Ecol.* – 2011. – Vol. 15. – P. 33-39
4. Rodrigues, A.A., Araujo, M.V.F., Soares, M.D.S., De Oliveira B.F.R., Sibov, S.T., Vieira, J.D.G. Isolation and Screening for Multitrait Plant Growth Promoting Actinobacteria From Organic Sugarcane Rhizosphere // *Int. J. Microbiol. Res.* – 2018. – Vol. 10. – P. 1193. doi: 10.9735/0975-5276.10.5.1193-1198
5. Djebaili, R., Pellegrini, M., Smati, M., Del Gallo, M., Kitouni, M. Actinomycete strains isolated from saline soils: Plant-growth promoting traits and inoculation effects on solanumlycopersicum // *Sustainability.* – 2020. – Vol. 12. – P. 4617. doi: 10.3390/su12114617.
6. Hamdali, H., Bouizgarne, B., Hafidi, M., Lebrihi, A., Virolle, M.J., Ouhdouch, Y. Screening for rock phosphate solubilizing Actinomycetes from Moroccan phosphate mines // *Appl. SoilEcol.* – 2008. – Vol. 38. – P. 12–19. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.08.007.
7. Nafis, A., Raklami, A., Bechtaoui, N., El Khalloufi, F., El Alaoui, A., Glick, B.R., Hafidi, M., Kouisni, L., Ouhdouch, Y., Hassani, L. Actinobacteria from Extreme Niches in Morocco and Their Plant Growth-Promoting Potentials. // *Diversity.* – 2019. – Vol. 11 – P. 139. doi: 10.3390/d11080139.
8. Budania, K., Yadav., J. Effects of PGPR blended biochar and different levels of phosphorus on yield and nutrient uptake by chickpea. // *Ann. Agric. Bio Res.* – 2014. – Vol. 19. – P. 408-412.
9. Peix, A, Rivas, A.A., Mateos, P. F., Rodriguez, C., Martinez, E., Velazquez, E. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solublizing strain of Mesorhizobiummediterraneum under growth chamber conditions // *SoilBoil. Biochem.* – 2011. – Vol. 33. – P. 103-110.
10. Whitelaw, M.A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. // *Adv. Agron.* – 2001. – Vol. 69. – P. 99-151.
11. Prajapati, K., Sharma, M.C., Modi, H.A. Isolation of two potassium solubilizing fungi from ceramic industry soils // *Life sciences Leaflets.* – 2012. – Vol. 5. – P. 71-75.
12. Jayadi, M., Baharuddin, Ibrahim B. In vitro selection of rock phosphate solubility by microorganism from Ultisols in South Sulawesi, Indonesia // *American Journal of Agriculture and Forestry.* – 2013. – Vol. 1(4). – P. 68-73.
13. Maliha, Rashid., Samina, K., Najma, A., Sadia, A., Farooq, L. Organic Acids Production and Phosphate Solubilization by Phosphate Solubilizing Microorganisms (PSM) Under in vitro Conditions // *Pakistan Journal of Biological Sciences.* – 2004. Vol. 7. – P. 187-196. DOI: 10.3923/pjbs.2004.187.196
14. Чириков М.А. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО // *Почвы.* – 1996. – С. 3.
15. Бражникова, Е.В., Мукашева, Т.Д., Игнатова, Л.В. Скрининг штаммов микромицетов, перспективных для стимуляции роста сельскохозяйственных культур // *Experimental Biology.* – 2019. – Vol. 3. – P. 80.
16. Шлык, А.А. Определение хлорофиллов и каратиноидов в экстрактах зеленых листьев. // *Биохимические методы в физиологии растений.* – 1971. – С. 154-171.
17. Me Carty, S.C., Chauhan, D.S., Mecarty, A.D., Tripathi, K.M., Selvan, T., Dubey, S.K. Effect of Azotobacter and phosphobacteria on yield of wheat (*Triticum aestivum*) // *Vegetos.* – 2017. Vol. 30. – P. 13–16. doi: 10.5958/2229-4473.2017.00130.6.

18. Nath, M., Bhatt, D., Bhatt, M.D., Prasad, R., Tuteja, N. Microbe-Mediated Enhancement of Nitrogen and Phosphorus Content for Crop Improvement. Elsevier B.V.; Amsterdam. – 2018. – P. 293–304.
19. Maqsood, M., Shehzad, M.A., Wahid, A., Butt, A.A. Improving drought tolerance in maize (*Zea mays*) with potassium application in furrow irrigation systems // *Int. J. Agric. Biol.* – 2013. Vol. 15. – P. 1193–1198.
20. Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Lendeh, K.S. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice // *Ecol. Eng.* – 2017. – Vol. 103. – P. 164–169. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.03.008.
21. Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., Aeron, A., Kumar, A., Kim, K., Bajpai, V.K. Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica // *Ecol. Eng.* – 2015. Vol. 81. – P. 340–347. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.065.
22. Prajapati, K., Sharma, M.C., Modi, H.A. Isolation of two potassium solubilizing fungi from ceramic industry soils // *Life sciences Leaflets.* – 2012. – Vol. 5. – P. 71.
23. Rosa-Magri, M.M., Avansini, S.H., Lopes-Assad, M.L., Tauk-Tornisielo, S.M., Ceccato-Antonini, S.R. Release of potassium from rock powder by the yeast *Torulasporaglobosa* // *Brazilian archives of biology and technology.* – 2012. – Vol. 55. – P. 577-582.

### References

1. Lambers, H., Grammer, M.D., Pearse, S.J. Veneklaas, E.J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. *Ann. Bot.* 98, no 5 (2006): 693-713.
2. Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., Young, C.C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl Soil Ecol.* 34, no 3(2016): 33-41.
3. Othman, R., Mohd, H., Saud, M., Habib, S.H. Isolation and characterization of rhizobia and plant growth-promoting rhizobacteria and their effects on growth of rice seedlings. *Appl Soil Ecol.* 15, no 19 (2011): 33-39
4. Rodrigues, A.A., Araujo, M.V.F., Soares, M.D.S., De Oliveira B.F.R., Sibov, S.T., Vieira, J.D.G. Isolation and Screening for Multitrait Plant Growth Promoting Actinobacteria From Organic Sugarcane Rhizosphere. *Int. J. Microbiol. Res.* 10, no 21 (2018): 1193. doi: 10.9735/0975-5276.10.5.1193-1198
5. Djebaili, R., Pellegrini, M., Smati, M., Del Gallo, M., Kitouni, M. Actinomycete strains isolated from saline soils: Plant-growth promoting traits and inoculation effects on solanumlycopersicum. *Sustainability.* 12, no (2020): 4617. doi: 10.3390/su12114617.
6. Hamdali, H., Bouizgarne, B., Hafidi, M., Lebrihi, A., Virolle, M.J., Ouhdouch, Y. Screening for rock phosphate solubilizing Actinomycetes from Moroccan phosphate mines. *Appl. SoilEcol.* 38, no 3 (2008): 12–19. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.08.007.
7. Nafis, A., Raklami, A., Bechtaoui, N., El Khalloufi, F., El Alaoui, A., Glick, B.R., Hafidi, M., Kouisni, L., Ouhdouch, Y., Hassani, L. Actinobacteria from Extreme Niches in Morocco and Their Plant Growth-Promoting Potentials. *Diversity.* 11, no 3 (2019): 139. doi: 10.3390/d11080139.
8. Budania, K., Yadav., J. Effects of PGPR blended biochar and different levels of phosphorus on yield and nutrient uptake by chickpea. *Ann. Agric. Bio Res.* 19, no 14 (2014): 408-412.
9. Peix, A., Rivas, A.A., Mateos, P. F., Rodriguez, C., Martinez, E., Velazquez, E. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solublizing strain of *Mesorhizobiummediterraneum* under growth chamber conditions. *SoilBoil. Biochem.* 33, no 7 (2011): 103-110.
10. Whitelaw, M.A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. *Adv. Agron.* 69 (2001): 99-151.
11. Prajapati, K., Sharma, M.C., Modi, H.A. Isolation of two potassium solubilizing fungi from ceramic industry soils. *Life sciences Leaflets.* 5, no 23 (2012): 71-75
12. Jayadi, M., Baharuddin, Ibrahim B. In vitro selection of rock phosphate solubility by microorganism from Ultisols in South Sulawesi, Indonesia. *American Journal of Agriculture and Forestry.* 1, no 4(2013): 68-73.
13. Maliha, Rashid., Samina, K., Najma, A., Sadia, A., Farooq, L. Organic Acids Production and Phosphate Solubilization by Phosphate Solubilizing Microorganisms (PSM) Under in vitro Conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 7, no 13 (2004): 187-196. DOI: 10.3923/pjbs.2004.187.196
14. Chirikov M.A. Opredelenie podvizhnyh soedinenij fosfora i kaliya po metodu CHirikova v modifikacii CINA0. *Pochvy.* 4, no 3(1996): S3.
15. Brazhnikova, E.V., Mukasheva, T.D., Ignatova, L.V. Skrining shtammov mikromicetov, perspektivnyh dlya stimulyacii rosta sel'skohozyajstvennyh kul'tur. *Experimental Biology.* 3, no 1(2019): 80.
16. Shlyk, A.A. Opredelenie hlorofillov i karatinoidov v ekstraktah zelenykh list'ev. *Biohimicheskie metody v fiziologii ras-tenij.* 15, no 12(1971): 154-171.
17. Me Carty, S.C., Chauhan, D.S., Mecarty, A.D., Tripathi, K.M., Selvan, T., Dubey, S.K. Effect of *Azotobacter* and phosphobacteria on yield of wheat (*Triticum aestivum*). *Vegetos.* 30, no 9(2017): 13-16. doi: 10.5958/2229-4473.2017.00130.6.
18. Nath, M., Bhatt, D., Bhatt, M.D., Prasad, R., Tuteja, N. Microbe-Mediated Enhancement of Nitrogen and Phosphorus Content for Crop Improvement. Amsterdam: Elsevier, 2018.
19. Maqsood, M., Shehzad, M.A., Wahid, A., Butt, A.A. Improving drought tolerance in maize (*Zea mays*) with potassium application in furrow irrigation systems. *Int. J. Agric. Biol.* 15, no 11(2013): 1193-1198.
20. Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Lendeh, K.S. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. *Ecol. Eng.* 103, no 22(2017): 164–169. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.03.008.



21. Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., Aeron, A., Kumar, A., Kim, K., Bajpai, V.K. Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. *Ecol. Eng.* 81, no 13(2015): 340–347. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.065.
22. Prajapati, K., Sharma, M.C., Modi, H.A. Isolation of two potassium solubilizing fungi from ceramic industry soils. *Life sciences Leaflets.* 5, no 3 (2012): 71
23. Rosa-Magri, M.M., Avansini, S.H., Lopes-Assad, M.L., Tauk-Tornisielo, S.M., Ceccato-Antonini, S.R. Release of potassium from rock powder by the yeast *Torulasporaglobosa*. *Brazilian archives of biology and technology.* 55, no 27(2012): 577-582.