

УДК 579.64:631.461.7

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
ПОЧВЕННЫХ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ
ДЛЯ АКТИВАЦИИ ПРИРОДНЫХ ФОСФОРИТОВ**

**Д. С. Сергиевич¹, О. С. Игнатовец¹, А. Ф. Минаковский¹,
В. Н. Босак², О. Б. Дормешкин¹**

¹ – Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 220006, г.
Минск, ул. Свердлова 13а);

² – Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
г. Горки, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 213407, г. Горки,
ул. Мичурина 5)

***Ключевые слова:** фосфатмобилизующие бактерии, фосфориты, биогенный элемент, активация, оптимизация, многофакторный эксперимент.*

***Аннотация.** В представленной работе исследована возможность управления фосфатмобилизующей активностью почвенных бактерий. Проведен подбор компонентов питательной среды, обеспечивающих высокую активность фосфатмобилизующих бактерий. На основании результатов исследований предложен состав питательной среды, основой которой является низкосортный фосфорит, эффективно поддающийся бактериальной активации. Оптимизация экспериментальной композиции проводилась с использованием многофакторных экспериментов, по результатам которых предложен состав питательной среды, состоящего из низкосортного фосфорита, сульфата аммония и хлорида калия.*

Использование общепринятых подходов, связанных с изучением активности микроорганизмов, в сочетании с методом математического планирования дало возможность быстро и качественно провести оценку различных вариантов соотношений компонентов удобрительной композиции и подобрать такой состав, который целиком удовлетворяет требованиям и растений, и фосфатмобилизующих микроорганизмов.

**INCREASED ACTIVITY OF SOIL PHOSPHATE BACTERIA
BASED ON OPTOMIZATION OF THE COMPOSITION OF
COMPLEX FERTILIZERS**

**D. S. Sergievich¹, O. S. Ignatovets¹, A. F. Minakovski¹, V. N. Bosak²,
O. B. Dormeshkin¹**

¹ – Belarussian State Technological University
Minsk, Republic of Belarus (Republic of Belarus, 220006, Minsk,
13a Sverdlova str.);

² – Belarussian State Agricultural Academy

Gorki, Republic of Belarus (Republic of Belarus, 213407, Gorki, 5 Michurina str.)

Key words: *phosphate-mobilizing bacteria, phosphorytes, fertilizer, optimization, multifactor experiment.*

Summary. *In this paper we investigated the possibility of controlling the phosphate-mobilizing activity of soil bacteria. The selection of the components of the fertilizer composition providing high activity of phosphate-mobilizing bacteria was carried out. Based on the results of the research, the composition of a complex fertilizer, based on low-grade phosphoryte, which is effectively amenable to bacterial activation, is proposed. Optimization of the experimental composition was carried out using multifactor experiments. Based on the results of these experiments the composition of a complex fertilizer consisting of low-grade phosphorite, ammonium sulfate and potassium chloride is proposed.*

The use of generally accepted approaches to the study of microorganism activity, combined with the method of mathematical planning, made it possible to quickly and qualitatively evaluate various variants of the ratios of the components of the fertilizer composition and select the composition of a complex fertilizer that fully meets the requirements of nutrients of plants and microorganisms.

(Поступила в редакцию 02.06.2020 г.)

Введение. Фосфор является одним из наиболее важных для растений макроэлементов, однако в дерново-подзолистых почвах, преобладающих в почвенном покрове Республики Беларусь, в первую очередь легкого гранулометрического состава, содержится недостаточно доступных для растений фосфатов, что определяет необходимость систематического внесения фосфорных удобрений [1-3].

Фосфор входит в состав таких важных макромолекул, как ДНК, РНК, АТФ, фосфолипиды и некоторые коферменты и влияет на многие биохимические процессы в растениях. При его недостатке в растениях тормозится синтез белков и углеводов, происходит задержка роста, наблюдается заметное снижение урожая. При достаточном содержании фосфора ускоряется рост и развитие растений, образование репродуктивных органов и созревание растений, увеличивается урожайность и качество сельскохозяйственных культур [4-7].

Современное земледелие требует постоянного восполнения питательных элементов в почве, что обычно обеспечивается внесением органических и минеральных удобрений, в т. ч. фосфорсодержащих. Фосфорные удобрения имеют высокую себестоимость, которая обусловлена использованием импортного сырья, а также большим количеством минеральных кислот при их переработке. Наряду с транспортными и энергетическими затратами, технологический процесс получения фосфорсодержащих удобрений связан с образованием больших

объемов отходов: фосфогипса и летучих соединений фтора, что дополняет перечень экологических проблем, а утилизация этих отходов требует дополнительных затрат.

Основным направлением в современной земледелии является оптимизация и регулирование плодородия почв посредством удобрений. В настоящее время особенно остро стоит проблема с обеспечением растений фосфором. Если учесть, что азотное питание может быть улучшено за счет биологического азота, а калия в почвах в несколько раз больше, чем фосфора, то становится очевидным, что недостаток фосфора в земледелии является лимитирующим фактором развития сельскохозяйственного производства [1, 2, 8, 9].

Процесс получения фосфорных удобрений заключается в переводе неусвояемых соединений фосфора фосфорсодержащего сырья в формы, усвояемые растениями. В традиционных методах этот перевод осуществляется разложением фосфатного сырья серной, фосфорной либо азотной кислотами. Такие технологии сопряжены с образованием крупнотоннажных отходов: фосфогипса и фторсодержащих газов, которые значительно повышают экологическую нагрузку на окружающую среду регионов. Кроме того, кислотные методы пригодны для переработки высококонцентрированного фосфатного сырья с низким содержанием примесей и практически не применяются для фосфоритов с высоким содержанием карбонатов и примесей полуторных оксидов (R_2O_3). В удобрениях, полученных кислотными методами, свыше 90 % соединений фосфора находится в водорастворимой форме. В то же время коэффициент использования фосфора из таких удобрений составляет в среднем 15-25 % от внесенной нормы вследствие протекания процессов ретроградации, а также вымывания соединений фосфора из почвенного слоя.

В настоящее время мировым производителям становится все сложнее удовлетворять стабильно растущий спрос на фосфорсодержащие удобрения ввиду выработки наиболее доступных и богатых месторождений фосфатных руд.

Поэтому не теряет актуальность использование в производстве фосфорсодержащих удобрений дешевого и доступного низкосортного фосфатного сырья, месторождения которого присутствуют в большинстве стран [10].

Проблема усугубляется при использовании низкокачественных фосфорсодержащих удобрений, что приводит к накоплению в почве сопутствующих соединений фтора, стронция, серы, редкоземельных и радиоактивных элементов. Чрезмерное использование минеральных удобрений может оказывать неблагоприятное влияние на компоненты

сельскохозяйственных ландшафтов: загрязнение почв, поверхностных и грунтовых вод, усиление эвтрофирования водоемов, уплотнение почв, а также на нарушение круговорота и баланса питательных веществ, ухудшение агрохимических свойств и снижение плодородия почвы, на развитие болезней растений и др. [11].

Альтернативным подходом является интенсификация деятельности почвенных микроорганизмов, способных переводить нерастворимый в воде минеральный фосфор в доступные для растений соединения [12-17].

Сказанное предопределяет необходимость выделения и использования фосфатмобилизующих микроорганизмов, распространенных в определенной географоклиматической зоне, в экспериментах по изучению возможности прямого применения природных фосфоритов в качестве фосфорсодержащих удобрений, что способствовало бы повышению степени использования сельскохозяйственными культурами фосфора, внесенного в почву, и, соответственно, экологизации сельского хозяйства.

Цель исследования – подбор состава и оптимизация содержания биогенных элементов в питательной среде на основе низкосортных фосфоритов, способного стимулировать деятельность почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов.

Материал и методика исследований. Объектами исследования являлись почвенные фосфатмобилизующие бактерии штаммов ВП.6 и НВП.XVII, выделенные нами ранее из почв различных регионов Республики Беларусь [18].

Пересевы, культивирование, хранение и получение суточных культур проводили с использованием общепринятых микробиологических методов [19, 20].

Определение способности почвенных бактерий мобилизовать фосфат из фосфатсодержащих соединений проводили с использованием глюкозо-аммонийной среды (ГАА) следующего состава (г/л): глюкоза – 10,0; дрожжевой экстракт – 0,2; сернокислый аммоний – 0,5; шестиводный сернокислый магний – 0,5; в качестве источника фосфора использовали фосфориты Вятско-Камского месторождения (Российская Федерация) и бассейна Каратау (Республика Казахстан) в концентрации 0,5 г/л. Контролем служила среда ГАА, не инокулированная тест-бактериями.

При проведении исследований использовали фосфоритную муку Вятско-Камского месторождения (ВКФМ) по ГОСТ 5716-74 следующего состава (масс. %): CaO – 37,50; P₂O₅ общ. – 21,89; P₂O₅ усв. – 7,20; SiO₂ – 13,61; Al₂O₃ – 4,60; Fe₂O₃ – 3,90; MgO – 1,85; CO₂ – 7,59; F – 2,10.

Химический анализ исходной фосфоритной муки бассейна Каратау месторождения Жанатас показал содержание (масс. %) CaO – 39,44; P₂O₅ общ. – 25,66; P₂O₅ усв. – 5,1 (27,0 % от общего содержания); SiO₂ – 17,66; Al₂O₃ – 1,69; Fe₂O₃ – 0,94; MgO – 2,83; CO₂ – 6,3; п. п. п. – 3,7 [21].

Определение влияния различных компонентов питательной среды на рост и фосфатмобилизующую активность тест-культур проводили с применением среды GAA, в которой в качестве единственного источника азота присутствовал один из следующих компонентов: нитрат натрия (0,05 % об.), сульфат аммония (0,05 % об.), карбамид (0,03 % об.). Для этого в моделируемую питательную среду, объемом 10 мл, вносили по 0,1 мл суспензии тест-бактерий, предварительно разведенной до концентрации 10⁶ КОЕ/мл, и инкубировали посеvy в течении 3-х суток при температуре 30 ± 1 °C и n = 150 мин⁻¹ в термостатируемом шейкере-инкубаторе «Biosan» ES-20, далее производили подсчет концентрации жизнеспособных клеток путем высева суспензии на питательный агар. Для установления количества высвободившегося фосфата использовали фотометрический метод [22].

О степени доступности концентрата для бактерий судили по динамике высвобождения фосфата под действием фосфатмобилизующих микроорганизмов. Для этого в качалочные колбы, объемом 50 мл, вносили по 10 мл среды GAA и 0,1 мл суспензии тест-бактерий (предварительно разведенной до концентрации 10⁶ КОЕ/мл). В качестве единственного источника фосфора в питательную среду добавляли 0,05 г соответствующего фосфорита. Инкубировали посеvy в течение 10-и суток в условиях аэрации, как описано выше. В ходе культивирования проводили анализ динамики высвобождения фосфата, используя фотометрический метод.

Оптимизацию состава питательной среды проводили с использованием тест-бактерий, которые выращивали в течение 3-х суток при 30 ± 1 °C в условиях аэрации на термостатируемом шейкере-инкубаторе «Biosan» ES-20 в жидкой питательной среде, состоящей из следующих компонентов: глюкоза 2 %, фосфоритная мука месторождений Вятско-Камского либо Каратау, сульфат аммония, хлорид калия, в количестве согласно плану эксперимента. Для инокуляции использовали суточную культуру, разведенную до концентрации 10⁶ КОЕ/мл, количество инокулята брали из расчета 0,1 мл на 10 мл среды. Для проведения оптимизации состава удобрительной композиции использовали метод математического планирования, включающий 2 этапа:

- построение адекватной математической модели процесса путем связывания выходного параметра системы (количество растворимого

фосфата в культуральной жидкости, титр клеток) с входными концентрациями компонентов (факторов) питательной среды в полных факторных экспериментах (ПФЭ) по плану 3^3 с их варьированием на трех количественных уровнях (верхнем «+», нижнем «-» и среднем «0»). Уровни варьирования подбирали исходя из потребностей микроорганизмов и экономических затрат; нахождение оптимального состава среды – по схеме «крутого восхождения».

В качестве факторов варьирования использовали содержание в питательной среде сульфата аммония (X1), фосфорита (X2), хлорида калия (X3). Уровни варьирования представлены в таблице 1, содержание остальных компонентов питательной среды зафиксировали на постоянном уровне.

Обработку данных производили в MS Excel, согласно методам, предложенным И. А. Хмызовым [23].

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов в ПФЭ

Компонент среды (г/10 мл)	фактор	Верхний уровень «+»	Средний уровень «0»	Нижний уровень «-»
Сульфат аммония	X1	0,1	0,0505	0,001
Фосфорит	X2	0,1	0,0505	0,001
Хлорид калия	X3	0,1	0,0505	0,001

Результаты исследований и их обсуждение. Важнейшими биогенными элементами, в наибольшей степени лимитирующими рост и развитие растений, являются азот и фосфор, а среди макроэлементов – калий.

В данном исследовании состав комплексного удобрения ограничили источниками именно этих элементов. При этом старались учесть потребности в питании растений и стимулировать активность почвенной микробиоты, способной мобилизовать (высвободить из состава нерастворимых в воде соединений) фосфат.

На первом этапе исследования требовалось определить источник и необходимую концентрацию в питательной среде азота и фосфорита, а также концентрацию калия. При этом ориентировались на изменение содержания ионов PO_4^{3-} в культуральной жидкости фосфатмобилизующих бактерий, которая служит мерой их активности, а также на концентрацию клеток бактерий.

Для определения источника азота, в наибольшей мере удовлетворяющего фосфатмобилизующей деятельности тест-бактерий, клетки обоих штаммов культивировали в среде GAA, где источником фосфора являлись фосфориты Вятско-Камского месторождения, а источниками азота – соединения, наиболее часто включаемые в состав минеральных азотных удобрений: сульфат аммония, карбамид, нитрат натрия. Эти соединения вносили в среду в концентрации 0,05 % об. для сульфата

аммония и нитрата натрия, 0,03 % об. для карбамида, что в пересчете на чистый азот соответствует концентрациям порядка 0,02 г N/л питательной среды. Дозы подобраны таким образом, чтобы целиком удовлетворить потребности в азоте микроорганизмов.

На рисунке 1 представлены результаты, отражающие накопление свободных фосфатов. Эти данные позволяют судить о том, что наиболее приемлемым источником азота является сульфат аммония и карбамид. И хотя различие в содержании ионов PO_4^{3-} в культуральных жидкостях клеток каждого штамма с этими источниками азота находятся в пределах погрешности, можно все же сделать выбор в пользу сульфата аммония, учитывая его меньшую стоимость и чуть более выраженную способность влиять на микробное высвобождение фосфора из состава фосфорита.

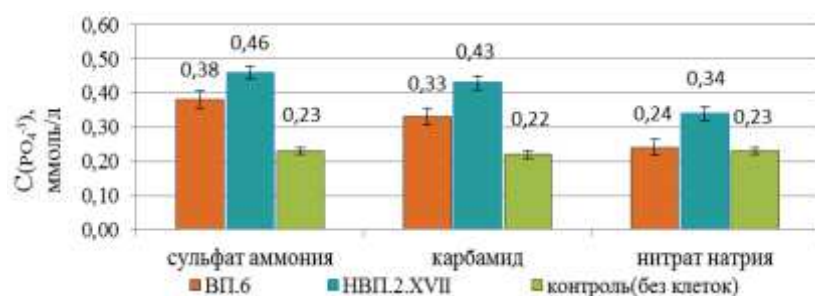


Рисунок 1 – Влияние источника азота на активность мобилизации фосфата тест-бактериями

Следует отметить, что полученный результат коррелирует с данными относительно влияния различных источников азота и углерода на фосфатмобилизующую активность почвенных бактерий *Pseudomonas lurida* при использовании в составе удобрения трехзамещенного фосфата кальция, ранее опубликованными индийскими исследователями [24]. Как и в наших исследованиях, наиболее высокое содержание растворимого фосфата наблюдалось в среде, где в качестве источника азота выступал сульфат аммония, а при использовании карбамида и нитрата натрия количество ионов PO_4^{3-} оказалось сильно сниженным. Однако такая высокая активность может быть обусловлена аддитивным действием самих фосфатмобилизующих бактерий и высвобождаемого в культуральную жидкость сульфат иона.

Еще одним подтверждением эффективности использования сульфата аммония в качестве источника азота в составе комплексного

удобрения являются результаты культивирования тест-бактерий в жидкой питательной среде, представленные в таблице 2.

Можно видеть, что численность жизнеспособных клеток обоих штаммов в среднем на порядок выше после инкубирования в среде с сульфатом аммония по сравнению с карбамидом.

При выборе фосфорита как основного компонента комплексного минерального удобрения руководствовались следующими параметрами: низкая себестоимость, малое количество примесей. Основываясь на вышеизложенном, выбор остановился на фосфоритной муке двух различных месторождений, а именно Каратау (Казахстан) и Вятско-Камском (Россия).

Таблица 2 – Зависимость содержания жизнеспособных бактерий при культивировании в средах с различными источниками азота

Источник азота	Концентрация жизнеспособных клеток штаммов, КОЕ/мл	
	ВП.6	НВП.2.XVII
Сульфат аммония	$8,9 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$
Карбамид	$7,5 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^7$
Нитрат натрия	$4,1 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^6$

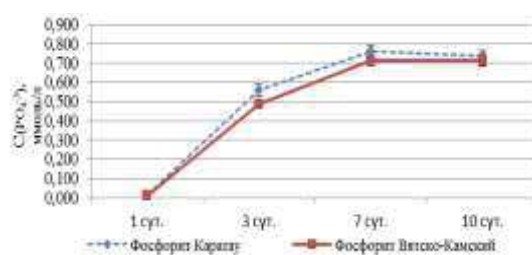
Сравнительный анализ фосфоритов осуществляли на основе данных о доступности их для микробной мобилизации фосфата, которая коррелирует с концентрацией растворимых ионов PO_4^{3-} в культуральной жидкости тест-бактерий. Для этого использовали GAA среду с добавлением в нее в качестве единственного источника фосфора навески фосфорита из расчета 0,05 г на 10 мл питательной среды. Длительность инкубирования тест-культур составила 10 суток. В процессе инкубирования определяли количество высвободившегося в культуральную жидкость фосфата на 1, 3, 7 и 10-е сутки.

На рисунке 2 представлены зависимости, отображающие динамику высвобождения фосфата под действием тест-бактерий. Из данных рисунка следует, что, несмотря на отсутствие достоверной разницы в количестве растворимого фосфата, высвобожденного под действием бактерий штамма ВП.6 из образцов фосфорита (доверительные интервалы перекрываются), для всех временных интервалов сохраняется тенденция худшего высвобождения растворимых фосфатов из состава Вятско-Камского фосфорита по сравнению с фосфоритом Каратау. Бактерии штамма НВП.XVII также эффективнее высвобождают фосфаты из фосфоритов бассейна Каратау.

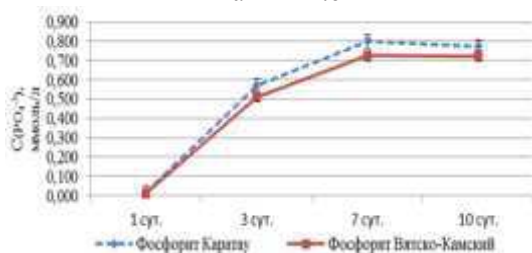
Таким образом, на основе данных о доступности фосфоритов для бактериальной мобилизации фосфата осуществлен выбор модельного источника нерастворимых фосфатов – фосфорита бассейна Каратау. Более высокий уровень фосфатмобилизующей активности по отношению к этому типу фосфорита, в сравнении с ВКФМ, можно объяснить

более высоким содержанием в ВКФМ ингибирующих жизнедеятельность бактерий соединений железа, алюминия и фтора при пониженном содержании фосфора, магния и карбонатов.

В качестве источника калия в питательной среде решено использовать хлорид калия, т. к. именно он получил наибольшее распространение в качестве калийного удобрения в сельском хозяйстве Республики Беларусь, кроме того, является достаточно дешевым и доступным компонентом минеральных удобрений.



штамм ВП.6



штамм НВП.ХVII

Рисунок 2 – Динамика высвобождения фосфата из фосфоритов различного происхождения под действием фосфатмобилизующих бактерий

В результате проведенных экспериментов осуществлен подбор состава питательной среды, который использовался далее в качестве основы для оптимизации с помощью многофакторного эксперимента.

Оптимизацию содержания азота, фосфора и калия в питательной среде проводили исходя из следующей задачи: получить такое соотношение компонентов, которое обеспечило бы максимальный выход усвояемого фосфора из низкосортного фосфорита вкупе с высоким содержанием жизнеспособных клеток бактерий. Для этого, согласно составленной матрице планирования полного многофакторного эксперимента (ПФЭ), провели 21 эксперимент с каждой из бактериальных тест-

культур. Уровни варьирования изучаемых факторов представлены в таблице 1. Все эксперименты проводили с трехкратной повторностью.

В результате вычислены коэффициенты уравнений регрессии – математических моделей зависимости функций Y_1 (количество растворимого фосфата в культуральной жидкости) и Y_2 (титр клеток) от концентрации в ферментационной среде компонентов: сульфата аммония (X_1), фосфорита (X_2) и хлорида калия (X_3).

На основании коэффициентов получены математические модели зависимости содержания растворимого фосфата в культуральную жидкости (Y_1) и титра жизнеспособных клеток тест-культур (Y_2) от концентраций в питательной среде компонентов. Полученные модели, отражающие накопление жизнеспособных клеток и высвобождение растворимого фосфата из фосфоритной муки при 95%-м доверительном интервале, дают основание утверждать, что в изученном диапазоне концентраций разные компоненты оказывают весьма близкое действие на активность тест-бактерий.

Уравнения регрессии, с учетом значимости коэффициентов, выглядят следующим образом:

Для штамма ВП.6

$$Y_1 = 0,98 + 1,96 \cdot X_1 + 12,72 \cdot X_2 - 2,71 \cdot X_3 - 42,89 \cdot X_1 X_2 - 6,43 \cdot X_1 X_3 - 42,31 \cdot X_2 X_3 + 12,57 \cdot X_1^2 - 58,68 \cdot X_2^2 + 46,48 \cdot X_3^2;$$

$$Y_2 = 7485408,02 - 255358344,00 \cdot X_1 + 369115349,21 \cdot X_2 + 944916287,80 \cdot X_3 + 2826242220,00 \cdot X_1 X_2 + 1295786144,01 \cdot X_1 X_3 - 2799034112,03 \cdot X_2 X_3 + 1911180643,00 \cdot X_1^2 - 197447728,31 \cdot X_2^2 - 9849524047,01 \cdot X_3^2.$$

Для штамма НВП.2.XVII

$$Y_1 = 0,86 + 3,34 \cdot X_1 + 8,80 \cdot X_2 - 4,40 \cdot X_3 - 75,40 \cdot X_1 X_2 - 40,46 \cdot X_1 X_3 - 44,26 \cdot X_2 X_3 + 22,70 \cdot X_1^2 - 7,77 \cdot X_2^2 + 82,15 \cdot X_3^2;$$

$$Y_2 = -698908274,70 + 2251497,22 \cdot X_1 + 3087978,55 \cdot X_2 + 393351727,11 \cdot X_3 + 555924990,60 \cdot X_1 X_2 + 883129839,42 \cdot X_1 X_3 - 976090875,12 \cdot X_2 X_3 - 3513246948,01 \cdot X_1^2 + 613882937,1 \cdot X_2^2 - 698908274,71 \cdot X_3^2.$$

Заключение. Положительное влияние на фосфатмобилизующую активность обеих тест-культур оказывает увеличение концентрации фосфорита (X_2), при этом нет необходимости во внесении высоких концентраций аммонийного азота и калия. Результаты оптимизации состава питательной среды показывают, что для получения высокой концентрации высвобождаемого фосфата и титра клеток достаточно внести в питательную среду по 0,01 % (масс.) сульфата аммония и хлорида калия, при этом необходимо обеспечить высокую концентрацию фосфорита 1,0 %

(масс.). Разработанный компонентный состав предполагает пролонгированное высвобождение фосфата под действием почвенной микробиоты и существенное снижение экономических затрат при производстве за счет использования дешевых и доступных компонентов.

Итогом выполнения данной работы является предлагаемое нами соотношение компонентов в питательной среде для оценки фосфатмобилизующей активности бактерий, состоящей из фосфорита бассейна Каратау (1,0 % масс.), сульфата аммония и хлорида калия (по 0,01 % масс.). При этом осуществлен отбор таких компонентов, которые обуславливают повышенную активность почвенных фосфатмобилизующих бактерий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильдфлуш, И. Р. Фосфор в почвах и земледелии Беларуси / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа. – Минск: Хата, 1999. – 196 с.
2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.
3. Schubert, S. Pflanzenernährung / S. Schubert. – Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 2018. – 234 S.
4. Босак, В. Н. Оптимизация питания растений / В. Н. Босак. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. – 203 с.
5. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: УП Технопринт, 2005. – 276 с.
6. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.
7. Швартау, В. В. Особенности реакции растений на дефицит фосфора / В. В. Швартау, Б. И. Гуляев, А. Б. Карлова // Журнал физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, № 3. – С. 208-220.
8. Босак, В. Н. Фосфатный и калийный режим дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при длительном применении удобрений в зернотравяном севообороте / В. Н. Босак, О. Ф. Смеянович, Е. С. Малей // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2. – С. 102-106.
9. Рекомендации по оптимизации фосфорного и калийного статуса пахотных почв в зависимости от уровня интенсификации земледелия по областям и районам Беларуси / И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2008. – 28 с.
10. Шатило, В. И. Бескислотная активация Вятско-Камской фосфоритной муки в присутствии азот- и калийсодержащих солей / В. И. Шатило, А. Ф. Минаковский // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2019. – № 4. – С. 464-471.
11. Цыганов, А. Р. Экологические проблемы агрохимии / А. Р. Цыганов, И. Р. Вильдфлуш, Т. Ф. Персикова. – Минск, 1997. – 75 с.
12. Выделение и характеристика почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов / Н. А. Белясова [и др.] // Вестник БГСХА. – 2018. – № 2. – С. 93-97.
13. Особенности фосфатмобилизующей способности почвенных микроорганизмов / А. Ф. Минаковский [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2020. – С. 265-267.
14. Применение сапропеля для активации почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов / А. Ф. Минаковский [и др.] // Вестник БГСХА. – 2020. – № 2. – С. 101-106.
15. Способ оптимизации фосфатного режима почвы при возделывании сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. – 2016. – Т. 8. – С. 148-162.

16. Характеристика и перспективы использования различных типов сапропеля / А. Ф. Минаковский [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2020. – С. 105-107.
17. Deepshikha, T. Phosphate solubilising microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plants / T. Deepshikha, K. Rajesh, S. Vineet // Agricultural Review. – 2014. – Vol. 35. – P. 159-171.
18. Сергиевич, Д. С. Выделение почвенных бактерий, способных осуществлять активацию низкосортных фосфатных руд / Д. С. Сергиевич, Н. А. Белясова // Биотехнология: взгляд в будущее. – Ставрополь, 2016. – С. 125-127.
19. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 328 с.
20. Теплер, Е. З. Практикум по микробиологии / Е. З. Теплер, В. К. Шильников, Г. И. Переверзева. – Москва: ООО «Дрофа», 2004. – 256 с.
21. Минаковский, А. Ф. Бескислотный метод переработки фосфоритов (Бассейн Каратау) в комплексные удобрения / А. Ф. Минаковский, В. И. Шатило // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2018. – № 3 – С. 376-384.
22. Бабко, А. К. Применение трифенилметановых красителей для экстракционно-фотометрического определения микроколичеств фосфата / А. К. Бабко, Ю. Ф. Шкаровский, Е. М. Ивашкович // Украинский химический журнал. – 1967. – № 33. – С. 951-959.
23. Хмызов, И. А. Применение ЭВМ в отрасли: методическое пособие / И. А. Хмызов, В. Л. Флейшер. – Минск: БГТУ, 2007. – 57 с.
24. Punami, K. P. Effect of different carbon and nitrogen sources on solubilization of insoluble inorganic phosphate by psychrotolerant bacterial strains / K. P. Punami, P. C. Gupta // Plant Soil. – 2013. – P. 1299-1302.

УДК 631.816.12:633.11«321»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Т. Г. Синевич, В. А. Гончарук, В. А. Телеш

УО «Гродненский государственный аграрный университет»
г. Гродно, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 230008,
г. Гродно, ул. Терешковой, 28; e-mail: ggau@ggau.by)

Ключевые слова: озимая пшеница, некорневые подкормки, урожайность, удобрения.

Аннотация. В статье изложены материалы исследований по изучению влияния некорневых подкормок различными видами удобрений на посевах озимой пшеницы. Установлено, что максимальная урожайность зерна озимой пшеницы (63,3 ц/га) получена при совместном внесении микроудобрений Эколистмоно Медь и Эколист моно Марганец с комплексными удобрениями Максимум РКМg и Максимум 20-20-20. Этот же вариант оказал наибольшее влияние на содержание сырого протеина (10,2 %) и клейковины (23,5 %) в зерне озимой пшеницы.