

ВЛИЯНИЕ КАЛИПЛАНТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ГОРОХА И ПОТРЕБЛЕНИЕ КАЛИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Н.А. Михайловская, Т.Б. Барашенко, С.В. Дюсова
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Бактериальное удобрение Калиплант содержит природный штамм слизеобразующих бактерий *Bacillus circulans* БИМ В-376Д [1], которые оказывают разностороннее положительное влияние на инокулированные растения. Внесение Калипланта стимулирует развитие корневой системы растений за счет продукции фитогормонов [2, 3] и улучшает минеральное питание [4, 6], при дефиците доступного калия в почве *B. circulans* мобилизуют его из труднодоступных форм [4, 5]. Установлена также способность *B. circulans* к мобилизации фосфора из нерастворимых трехзамещенных ортофосфатов кальция [2]. Наличие дополнительного приспособительного механизма, такого как фосфатмобилизация, способствует лучшей адаптации и приживаемости *B. circulans* в конкурентных условиях ризосферы. Разнообразие приспособительных механизмов является важным преимуществом *B. circulans* и определяет их способность оказывать комплексное положительное влияние на режим питания инокулированных растений.

Способность к мобилизации почвенного калия – одно из наиболее ценных свойств бактерий *Bacillus circulans* БИМ В-376Д. Применение Калипланта при дефиците подвижного калия представляет перспективный и экологически обоснованный прием повышения доступности запасов почвенного калия. С другой стороны, Калиплант может способствовать более эффективному использованию разных по степени подвижности форм калия почвы. Этот вопрос практически не изучен и требует выяснения.

Цель исследований – установить влияние Калипланта на урожайность гороха и потребление разных по степени подвижности форм калия в дерново-подзолистой супесчаной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние Калипланта на урожайность гороха WSB 1.132128 и потребление разных форм почвенного калия изучено в стационарном полевом опыте в СПК «Хотляны» (Узденский р-н Минская обл.) в 2006 и 2008 г. Почва опытного участка дерново-подзолистая рыхлосупесчаная с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной. Агрохимические свойства пахотного слоя: рН (KCl) 6,0 – 6,2, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) – 300-350 мг/кг, гумуса – 2,64-2,71%, обменного кальция (CaO) – 800-850 мг/кг, обменного магния – (MgO) 140-150 мг/кг. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы подвижным калием, в годы исследований содержание подвижного калия составило: первый уровень – 94, второй – 146, третий – 164 и четвертый – 201 мг/кг K₂O. Чередование культур в севообороте: кукуруза, яровая пшеница, однолетние травы на зеленую массу, озимая рожь, яровая пшеница, горох, озимое тритикале, горох. Под кукурузу внесен навоз – 60 т/га. Дозы азотных удобрений дифференцируются в зависимости от возделываемой культуры. Доза фосфорных удобрений 30 кг/га (P₂O₅). В 2006 г. исследования проведены на фоне внесения N₃₀P₆₀, в 2008 г. эффективность Калипланта изучена на следующих вариантах: контроль, фон N₃₀P₆₀, фон+K₆₀, фон+K₉₀, фон+K₁₂₀. Общая площадь делянок – 45 м², учетная площадь – 24 м².

Для обработки посевов использовали жидкую препаративную форму бактериального удобрения Калиплант. Состав рабочей смеси в расчете на обработку 1 га посевов: 1 л Калипланта (10⁸-10⁹ КОЕ/мл) + 150-200 л воды.

Содержание водорастворимого калия в почве определяли в водной вытяжке, обменного – в 1 н ацетате аммония по Масловой, и необменного калия в 2 н соляной кислоте по Пчелкину [7, 8].

Вегетационный период 2006 г. (ГТК 2,0) характеризовался дефицитом осадков, что привело к снижению урожайности зерна. Агрометеорологические условия 2008 г. были благоприятными для роста и развития гороха, ГТК составил 1,6, что практически соответствовало среднегодовалной величине 1,54.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На посевах гороха WSB 1.132 128 изучена зависимость эффективности бактериального удобрения Калиплант от уровня обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным калием (94-201 мг/кг) и возрастающих доз калийных удобрений – K₆₀, K₉₀, K₁₂₀.

Существенные различия урожайности гороха по годам исследований были связаны с агрометеорологическими условиями. Вегетационный период 2006 г. (ГТК 2,0) характеризовался дефицитом осадков, что привело к снижению урожайности зерна. В 2008 году ГТК составил 1,6, что практически соответствовало среднемноголетней величине (ГТК 1,54) и обеспечило высокую урожайность гороха (табл. 1).

В 2006 г. эффективность Калипланта изучена на фонах внесения $N_{30}P_{60}$. В условиях засушливого года наиболее высокая урожайность гороха получена на третьем и четвертом уровнях обеспеченности почвы K_2O (164 и 201 мг/кг). Наиболее высокая прибавка от бактериализации посевов, 2,8 ц/га, отмечена на первом уровне (94 мг/кг K_2O), прибавки на втором и третьем уровнях были достоверны и составили 2,0 и 2,4 ц/га зерна соответственно (табл. 1).

В 2008 г. изучена эффективность Калипланта на посевах гороха в зависимости от доз калийных удобрений при разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы калием. Благоприятные погодные условия 2008 г. способствовали получению высокой урожайности зерна гороха. На первом уровне обеспеченности почвы K_2O (94 мг/кг) достоверные прибавки от применения Калипланта получены на фонах NP , $NP_{K_{60}}$ и $NP_{K_{90}}$ (табл. 1). Наиболее высокая прибавка от Калипланта, 4,0 ц/га зерна, отмечена на фоне NP при относительном дефиците подвижного калия в почве. При внесении K_{60} и K_{90} на фонах NP прибавки от бактериализации снижались и составили 2,6 и 2,0 ц/га зерна (НСР 1,73) соответственно. Наиболее высокая урожайность гороха, 57,5-57,6 ц/га, получена при внесении $NP_{K_{120}}$, но в этих условиях применение Калипланта не оказывало влияния на урожайность гороха (табл. 1). При содержании в почве 94 мг/кг K_2O наиболее обосновано применение Калипланта на фонах $NP_{K_{60}}$ и $NP_{K_{90}}$, так как это обеспечивает высокую урожайность 51-55 ц/га зерна гороха и достоверные прибавки урожайности – 2,0-2,6 ц/га.

На втором уровне обеспеченности почвы K_2O (146 мг/кг) статистически достоверные прибавки от бактериализации посевов Калиплантом, 3,7 и 1,7 ц/га зерна, получены на фонах NP и $NP_{K_{60}}$ соответственно (табл. 1). Наиболее значительный эффект от Калипланта, 3,7 ц/га зерна, также отмечен в условиях относительного недостатка подвижного калия в почве на фоне NP . При внесении $NP_{K_{60}}$ прибавка от бактериализации снижалась и была практически на уровне НСР (1,73). На втором уровне обеспеченности почвы K_2O наиболее высокая урожайность гороха, 65,4-65,9 ц/га, также была получена при внесении $NP_{K_{120}}$, применение Калипланта при этом не оказывало эффекта (табл. 1). При содержании в почве 146 мг/кг K_2O применение Калипланта наиболее целесообразно на фонах NP и $NP_{K_{60}}$, что позволяет достичь урожайности 62-62,3 ц/га зерна гороха.

На третьем уровне обеспеченности почвы K_2O (164 мг/кг) существенная прибавка от Калипланта, 1,9 ц/га зерна, получена только на фоне NP (табл. 1). При внесении возрастающих доз калийных удобрений использование Калипланта было нерационально. Наиболее высокая урожайность гороха, 66,1-66,9 ц/га, также отмечена при внесении $NP_{K_{120}}$ (табл. 1). При содержании в почве 164 мг/кг K_2O целесообразно применять Калиплант на фоне внесения азота и фосфора, что позволяет получить урожайность 63,6 ц/га зерна гороха, прибавку 1,9 ц/га.

Установлена зависимость эффективности Калипланта на посевах гороха от содержания подвижных форм калия в почве. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве Калиплант эффективен при относительном дефиците калия – в пределах 94-164 мг/кг (K_2O). Прибавки зерна гороха на фоне внесения $N_{30}P_{60}$ составляли 2,0-2,8 ц/га в условиях засушливого 2006 г. и 3,7-4,0 ц/га в благоприятных условиях 2008 г. (табл. 1). При внесении K_{60} - K_{90} существенные прибавки от Калипланта, 1,7-2,6 ц/га зерна получены при содержании K_2O в почве в пределах 94-146 мг/кг (K_2O). При повышении содержания K_2O в почве, а также при внесении повышенных доз калийных удобрений эффект от Калипланта снижается. Экспериментальные данные включены в рекомендации по применению удобрений под горох посевной [11].

Таблица 1

Влияние Калипланта на урожайность гороха в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы калием и доз калийных удобрений (СПК «Хотляны», 2006, 2008 г.)

Вариант опыта	2006 г.		2008 г.		
	NP	NP	NP _{K₆₀}	NP _{K₉₀}	NP _{K₁₂₀}
	1-й уровень, 94 мг/кг K_2O				
Контроль	13,9	44,3	48,4	53,1	57,5
Калиплант	16,7	48,3	51,0	55,1	57,6
Прибавка	2,8	4,0	2,6	2,0	0,1
	2-й уровень, 146 мг/кг K_2O				
Контроль	16,5	58,3	60,6	63,2	65,9
Калиплант	18,5	62,0	62,3	63,6	65,4

Прибавка	2,0	3,7	1,7	0,4	-0,5
3-й уровень, 164 мг/кг K ₂ O					
Контроль	16,9	61,7	63,5	65,1	66,9
Калиплант	19,3	63,6	63,7	65,6	66,1
Прибавка	2,4	1,9	0,2	0,5	-0,8
4-й уровень, 201 мг/кг K ₂ O					
Контроль	18,3	62,8	64,5	66,2	63,8
Калиплант	18,6	63,5	65,2	66,7	63,5
Прибавка	0,3	0,7	0,7	0,5	-0,3
Фактор А (уровни K ₂ O)	0,60	2,45			
Фактор В (Калиплант)	0,84	1,73			
Дозы NP-удобрений – N ₃₀ P ₆₀					

Для оценки влияния Калипланта на потребление разных форм почвенного калия растениями гороха проведено сравнение содержания водорастворимого, обменного и необменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве на вариантах без внесения бактерий и с обработкой посевов Калиплантом.

Наиболее доступными для растений являются водорастворимые соли калия – нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды и карбонаты, находящиеся в почвенном растворе [7, 9, 10]. Содержание водорастворимого калия обычно невелико по сравнению с обменными и необменными его формами (табл. 2-4). Обменный калий представлен катионами K⁺ в почвенном поглощающем комплексе. Водорастворимые соединения калия и катионы почвенного поглощающего комплекса служат основным источником калийного питания растений. Суммарное количество водорастворимого и обменного калия характеризует уровень обеспеченности почвы калием для питания растений. Однако растения способны использовать лишь 5,7-37,5% запаса подвижных форм [10].

Необменный калий менее доступен для растений, он прочно удерживается кристаллической решеткой минералов [7, 9, 10]. Содержание необменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве значительно выше, по сравнению с более подвижными его формами (табл. 2-4). В почве существует динамическое равновесие между формами калия, использованный растениями водорастворимый калий пополняется за счет обменных форм. По мере потребления обменных форм их запасы в почве восполняются за счет мобилизации необменных форм [10].

Степень использования калия почвы зависит от ряда факторов – типа почвы, гранулометрического состава, общего содержания калия в почве, биологических особенностей возделываемой культуры [7-10]. Очевидно, к перечисленным факторам следует отнести также биологический фактор – внесение активных штаммов калиймобилизующих бактерий. В наших предыдущих исследованиях показано, что бактериализация сельскохозяйственных культур бактериальным удобрением Калиплант стимулирует развитие корневой системы, что повышает адаптивные возможности растений [2-4, 6] и может способствовать более эффективному использованию калия из почвы.

В наших исследованиях на первом уровне обеспеченности калием (94 мг/кг) на вариантах NP, NPK₆₀ и NPK₉₀ с внесением Калипланта установлено статистически достоверное снижение содержания водорастворимого и обменного калия. На этих же вариантах отмечено существенное повышение урожайности, прибавки от бактериализации составили 4,0, 2,6 и 2,6 ц/га (рис. 1-2). Снижение содержания подвижных форм калия указывает на активизацию их потребления в результате бактериализации.

На втором уровне обеспеченности калием (146 мг/кг) статистически значимое снижение содержания водорастворимого и обменного калия при внесении Калипланта отмечено на вариантах NP и NPK₆₀, где получены достоверные прибавки урожайности – 3,7 и 1,7 ц/га (рис. 1-2). Экспериментальные данные также указывают на активизацию потребления подвижного калия бактериализованными растениями гороха в этих условиях.

На третьем уровне обеспеченности калием (164 мг/кг) статистически достоверное снижение содержания водорастворимого и обменного калия наблюдали только на варианте NP с внесением Калипланта, где прибавка зерна составила 1,9 ц/га (рис. 1-2). При внесении калийных удобрений на вариантах с Калиплантом не отмечено значимых изменений содержания водорастворимых и обменных форм калия. При внесении K₁₂₀ наблюдали преимущественно тенденцию повышения содержания подвижного калия.

На четвертом уровне обеспеченности калием (201 мг/кг) получена наиболее высокая урожайность гороха. Калиплант не оказывал влияния на урожайность, прибавки от бактериализации были в пределах ошибки эксперимента. Не установлено также существенных изменений содержания водорастворимых и обменных форм калия в зависимости от внесения Калипланта (рис. 1-2).

Аналогичные закономерности отмечены при изучении влияния Калипланта на содержание необменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве (рис. 3). Внесение Калипланта

активизировало потребление необменного калия растениями гороха при следующих условиях: на 1-ом уровне обеспеченности калием (94 мг/кг) – в вариантах NP, NPK₆₀ и NPK₉₀; на 2-ом уровне (146 мг/кг) – в вариантах NP и NPK₆₀; на 3-ем уровне (164 мг/кг) – в варианте NP.

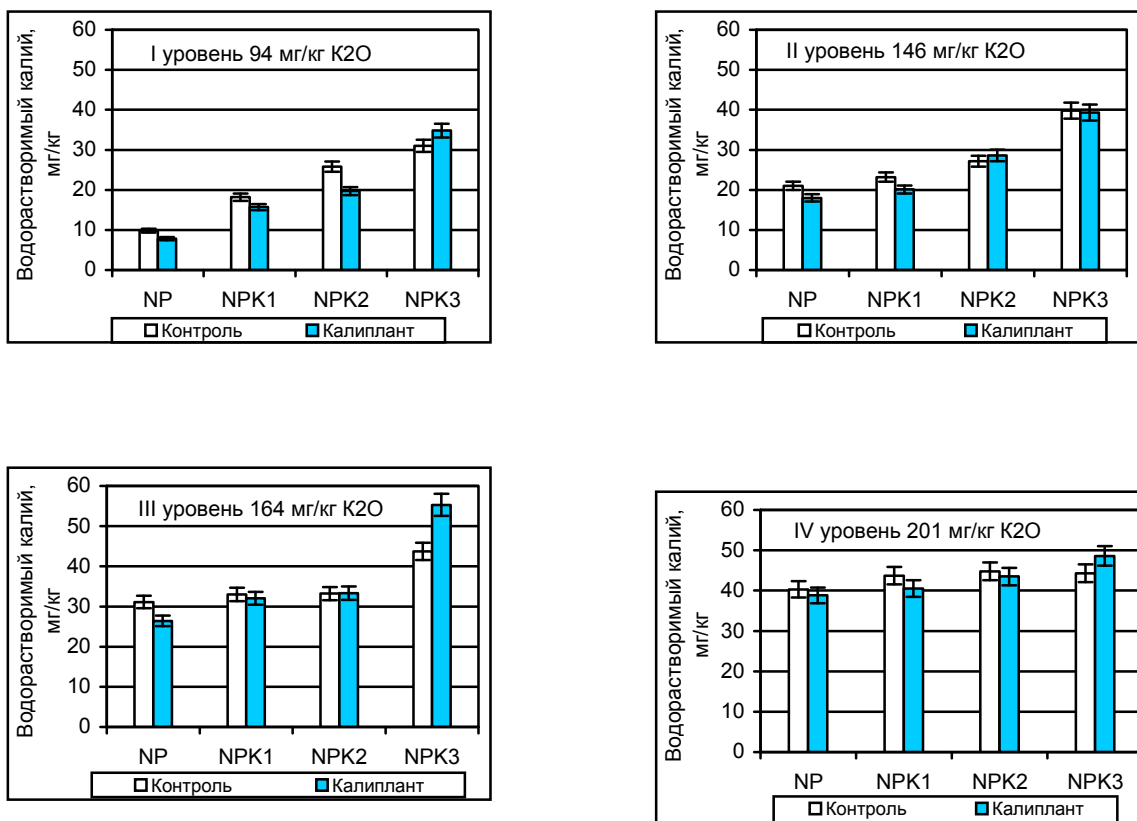


Рис. 1. Влияние Калипланта на содержание водорастворимых форм калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

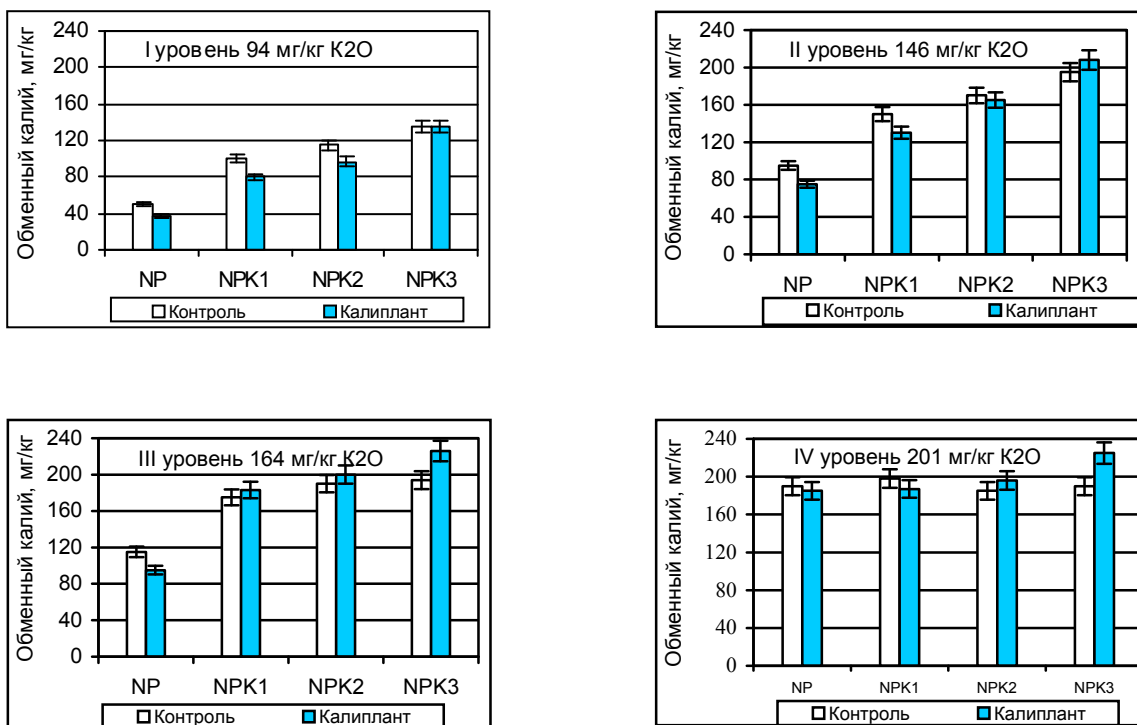


Рис. 2. Влияние Калипланта на содержание обменных форм калия

в дерново-подзолистой супесчаной почве

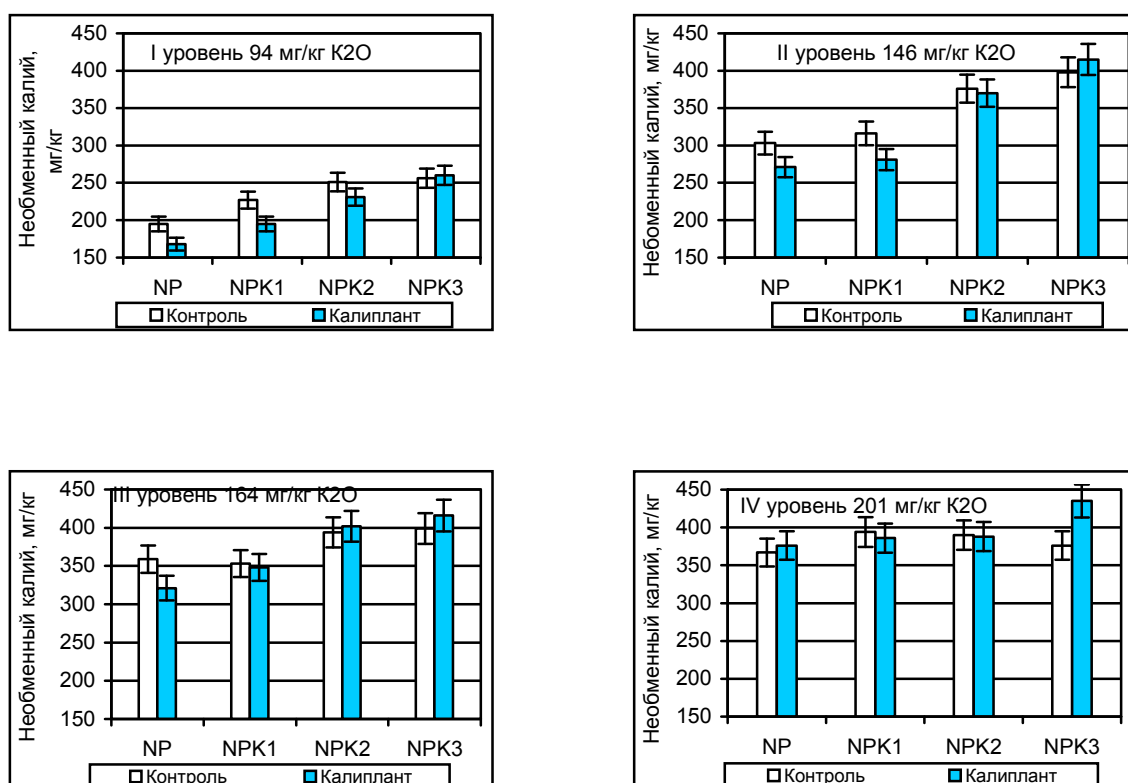


Рис. 3. Влияние Калипланта на содержание необменных форм калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Калиймобилизующие бактерии, находящиеся в корневой зоне, стимулируют рост корней, повышают адаптивный потенциал растений и эффективность потребления разных по степени подвижности форм калия. Снижение содержания изученных форм калия отмечено в основном в вариантах, где внесение Калипланта приводило к существенному повышению урожайности гороха и обеспечивало наиболее высокие прибавки зерна (табл.1, рис.1-3). При этом на первом, втором и третьем уровнях установлена корреляция содержания водорастворимого (рис. 4) и обменного калия (рис. 5) с величиной урожайности. Теснота связи для обеих форм калия ослабевала от первого к третьему уровню. Для водорастворимой формы наиболее высокий коэффициент детерминации отмечен на первом уровне $R^2 = 0,76$, на втором $R^2 = 0,67$, на третьем – $R^2 = 0,53$, на четвертом уровне – корреляция отсутствует (рис. 4). Для обменной формы калия установлена аналогичная закономерность: наиболее высокий коэффициент детерминации отмечен на первом уровне $R^2 = 0,76$, на втором $R^2 = 0,70$ на третьем – $R^2 = 0,64$, четвертом – также не отмечено корреляции (рис. 5).

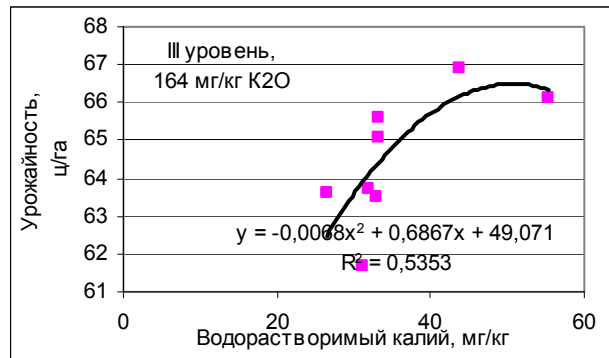
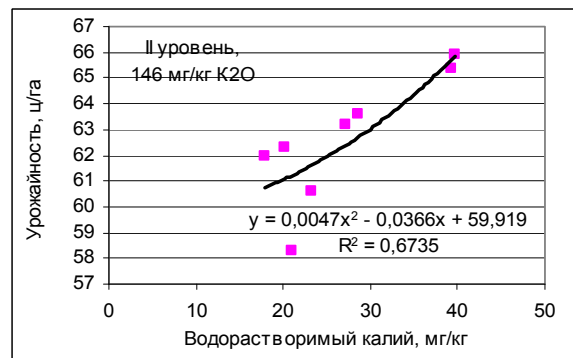
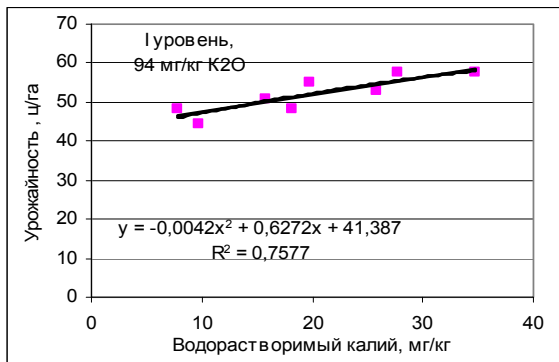


Рис. 4. Взаимосвязь содержания водорастворимого калия в почве с урожайностью гороха

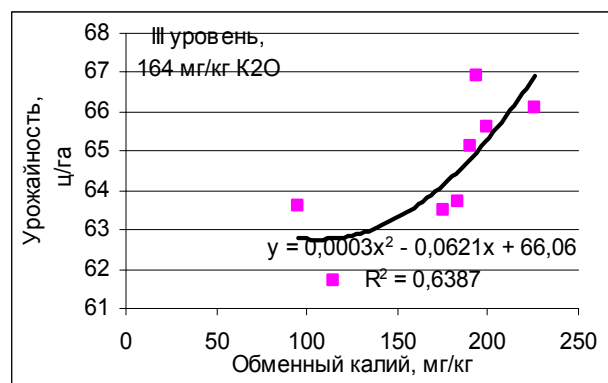
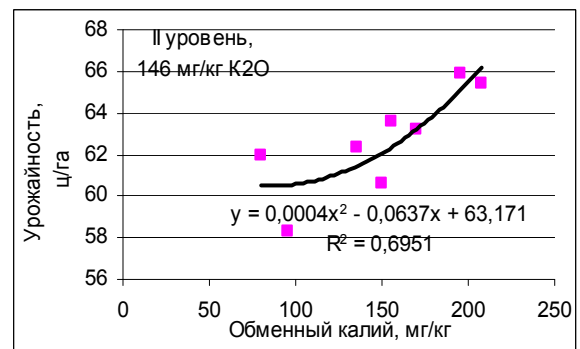
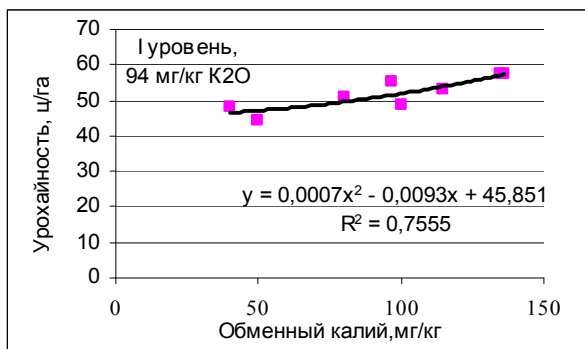


Рис. 5. Взаимосвязь содержания обменного калия в почве с урожайностью гороха

ВЫВОДЫ

Установлена зависимость эффективности Калипланта на посевах гороха от содержания подвижных форм калия в почве и доз калийного удобрения. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве Калиплант эффективен при относительном дефиците калия – в пределах 94-164 мг/кг (K_2O). Прибавки зерна гороха на фоне внесения $N_{30}P_{60}$ составляли 2,0-2,8 ц/га в условиях засушливого и 3,7-4,0 ц/га при благоприятных агрометеороусловиях. При внесении $K_{60}-K_{90}$ существенные прибавки от Калипланта, 1,7-2,6 ц/га зерна, получены при содержании K_2O в почве в пределах 94-146 мг/кг (K_2O). При повышении содержания K_2O в почве, а также при внесении повышенных доз калийных удобрений эффект от Калипланта снижается.

Действие Калипланта на потребление разных по степени подвижности форм калия горохом также тесно связано с содержанием подвижного калия в почве и дозы калийного удобрения. Значительное стимулирующее влияние Калипланта на потребление водорастворимого и обменного калия горохом отмечено при следующих условиях: на 1-ом уровне обеспеченности калием (94 мг/кг) – в вариантах NP , $NP_{K_{60}}$ и $NP_{K_{90}}$; на 2-ом уровне (146 мг/кг) – в вариантах NP и $NP_{K_{60}}$ и на 3-ем уровне (164 мг/кг) – только в варианте NP .

Внесение Калипланта стимулировало потребление необменного калия горохом при следующих условиях: на 1-ом уровне обеспеченности калием (94 мг/кг) – в вариантах NP , $NP_{K_{60}}$ и $NP_{K_{90}}$; на 2-ом уровне (146 мг/кг) – в вариантах NP и $NP_{K_{60}}$; на 3-ем уровне (164 мг/кг) – в варианте NP .

На первом, втором и третьем уровнях содержания K_2O в почве установлена корреляция содержания водорастворимого и обменного калия в почве с величиной урожайности, теснота связи (R^2) ослабевала от первого к третьему уровню: для водорастворимой формы – от 0,76 до 0,53, для обменной формы – от 0,76 до 0,64; на четвертом уровне корреляция отсутствовала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штамм бактерий *Bacillus circulans* БИМ В-376Д для бактериализации семян зерновых культур: пат. 9646 Респ. Беларусь, МПК С 12 N 1/20, А 01 N 63/00 / Михайловская Н.А., Богдевич И.М., Журавлева О.В., Барашенко Т.Б., Курилович Н.Н., Дюсова С.В.; заявитель РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – № а 20050228; заявл. 10.03.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 4(57). – С. 112.
2. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225-231.
3. Влияние ризобактерий на развитие инокулированных растений / н.а. михайловская, т.б. барашенко, т.в. барашенко // приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы междунар. научно-практ. конф., горки, 6-7 июня 2007 г. / бгсха, горки, 2007. – с. 225-229.
4. Михайловская, Н.А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Михайловская Н.А. // Весці НАН Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41-46.
5. Способность ризобактерий к мобилизации почвенного калия / Михайловская Н.А., Лученок Л.Н. // Фосфор и калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації: матеріали Междунар. научно-практ. конф., Чернигов-Харьков, 12-14 июля 2004 г. / Инст. с.-х микробиологии; ННЦ Инст. почвовед. и агрохим.; Междунар. Инст. калия. – Чернигов-Харьков, 2004 г. – С. 223-232.
6. Mikhailouskaya, N. K-mobilizing bacteria and their effect on wheat yield / N. Mikhailouskaya, A. Tchernysh // *Agronomijas vestis (Latvian Journal of Agronomy)*. – 2005. – V. 8. – P. 147-150.
7. Пчелкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчелкин. – Москва: Колос, 1966. – С. 5-27.
8. Агрохимические методы исследования почв. – Москва, 1965. – С. 128-164.
9. Mengel, K. Principles of plant nutrition / K. Mengel, E.A. Kirkby – Int. Potash Inst. Bern, 1987. – 687p.
10. Агрохимия / И.Р. Вильдфлуш [и др.] – Минск, Ураджай, 1995. – С. 156-159.
11. Рекомендации по применению минеральных удобрений под горох посевной с учетом агрохимических свойств дерново-подзолистых почв / И.М. Богдевич [и др.] // Национальная Академия наук Республики Беларусь; Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – С. 21-27.

**EFFECT OF KALIPLANT ON PEA YIELD AND USE OF Soil POTASSIUM
BY PLANTS ON LUVISOL LOAMY SAND SOIL**

N.A. Mikhailouskaya, T.B. Barashenko, S.V. Dyusova

Summary

The effect of Kaliplant on pea yield and different potassium forms use by pea plants was found to depend on mobile potassium content in Luvisol loamy sand soil as well as on the rate of K-fertilizer. Significant stimulation effects of Kaliplant on the use of water-soluble, exchangeable and unexchangeable potassium forms were observed under following conditions: at the first level of soil K-supply ($94 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) – at treatments NP, NPK_{60} и NPK_{90} ; at the second level ($146 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) – at treatments NP, NPK_{60} and at the third level ($164 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) – at treatment NP.

Поступила 13 марта 2009г.