

УДК 631.472.74:631.416.4:633.14«324»

Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ

**ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ КАЛИПЛАНТ
НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ
СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ С РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ КАЛИЕМ**

Институт почвоведения и агрохимии

(Поступила в редакцию 06.08.2008)

Введение. Калий – один из важнейших биогенных элементов, необходимых для питания растений. Он выполняет важнейшие физиологические и биохимические функции. Под влиянием калия активизируется функционирование более 60 ферментов и ферментных систем растений, в том числе участвующих в синтезе белка, повышается скорость усвоения азота и образование белка, снижается содержание нитратов, повышается фотосинтетическая активность, оптимизируется кислотно-щелочной баланс, ускоряется синтез целлюлозы и пектиновых веществ, снижается интенсивность транспирации и повышается водоудерживающая способность листьев, усиливается азотфиксация и формирование клубеньков на корнях бобовых культур [1, 2]. Многообразие физиологических функций калия в растительной клетке обусловлено тем, что клеточные мембраны легко проницаемы для калия [2]. При дефиците этого элемента наблюдаются множественные нарушения процессов обмена веществ у растений, приводящие к снижению продуктивности культур и качества урожая.

Микробная мобилизация почвенного калия, который входит в состав первичных и вторичных минералов [3, 4], представляет собой важный альтернативный способ улучшения калийного питания растений. Процессы микробной мобилизации калия еще недостаточно изучены, но ключевая роль почвенных микроорганизмов в трансформации минералов и в высвобождении отдельных элементов из связанных форм не вызывает сомнений [5–10]. Трансформация компонентов почвообразующей породы является важным звеном общего процесса – преобразования минеральной части почвы микроорганизмами. По значению для биосферы этот процесс можно сравнивать с ассимиляцией углекислоты зелеными растениями и автотрофными бактериями или с фиксацией атмосферного азота почвенной микрофлорой [10].

Анализ литературных данных убедительно свидетельствует, что широкий круг почвенных микроорганизмов принимает участие в мобилизации почвенного калия. На наш взгляд, наиболее перспективны для практического использования слизиобразующие бациллы, которые широко распространены в почвах умеренной зоны [11] и проявляют высокую активность в отношении мобилизации калия из калийсодержащих минералов. Микробные слизи содержат в своем составе полисахариды и уроновые кислоты, карбоксильные и фенольные группы которых способны к образованию комплексных связей с элементами минералов, что приводит к их постепенному высвобождению из кристаллической решетки и переходу в растворимое состояние [10]. Слизеобразование играет важнейшую роль не только как фактор воздействия на почвенные калий-алюмосиликаты, но является существенным защитным фактором, обеспечивающим выживание бацилл в конкурентных условиях ризосферы и при неблагоприятных экологических условиях. Дополнительным защитным механизмом является спорообразование, что также обеспечивает преимущества бацилл в качестве действующей основы бактериальных удобрений.

В своих исследованиях при изучении свойств разных изолятов калиймобилизующих бактерий мы также фиксировали наибольшую активность мобилизации почвенного калия именно у сли-

зеобразующих бацилл [12, 13]. Для количественной оценки активности мобилизации калия из слюды и гидрослюды, а также для оценки способности бактерий переводить в доступное состояние разные формы калия в почвенных минералах использовали разработанные нами методики [12]. Тестирование с целью отбора перспективных штаммов калиймобилизующих бактерий было проведено также в лабораторных и вегетационных экспериментах [14–16]. В итоге был отобран активный штамм *Bacillus circulans* БИМ В-376Д [16], на основе которого разработано бактериальное удобрение Калиплант.

Цель настоящей работы – установить эффективность бактериального удобрения Калиплант на посевах зерновых культур при разной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы калием, а также оценить влияние этого удобрения на содержание водорастворимого, обменного и необменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве.

Объекты и методы исследования. Эффективность Калипланта на трех зерновых культурах – озимой ржи, яровой пшенице и озимой тритикале – изучали в стационарном полевом опыте в СПК «Хотляны» (Узденский р-н Минская обл.) в 2003–2007 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая рыхлосупесчаная с мощной прослойкой песка (60–80 см) на контакте с размытой мореной. Агрохимические свойства: pH_{KCl} 6,0–6,2, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) – 300–350 мг/кг, гумуса – 2,64–2,71%, обменного кальция (СаО) – 800–850 мг/кг, обменного магния (MgO) – 140–150 мг/кг. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы калием. В годы исследований содержание подвижного калия составило: **I уровень – 94–105, II уровень – 146–186, III уровень – 164–222 и IV уровень – 201–281 мг/кг K_2O .** Чередование культур в севообороте: кукуруза, яровая пшеница, однолетние травы на зеленую массу, озимая рожь, яровая пшеница, озимая тритикале. Под кукурузу вносили навоз в дозе 60 т/га. Дозы азотных удобрений дифференцировали в зависимости от возделываемой культуры. Доза фосфорных удобрений – 30 кг/га (P_2O_5). Исследования проведены на контроле без удобрений и на фоне внесения NP-удобрений. Общая площадь делянок – 45 м², учетная площадь – 24 м². В 2003–2004 гг. возделывали озимую рожь сорта Игуменская, в 2005 г. яровую пшеницу сорта Рассвет, в 2006–2007 гг. озимую тритикале сорта Сокол.

Для обработки посевов использовали жидкую препаративную форму бактериального удобрения Калиплант. Состав рабочей смеси в расчете на обработку 1 га посевов: 1 л Калипланта + 150–200 л воды.

Содержание водорастворимого калия в дерново-подзолистой супесчаной почве определяли в водной вытяжке, обменного – в 1н ацетате аммония по Масловой и необменного калия – в 2н соляной кислоте по Пчелкину [3, 17]. Почвенные образцы отбирали после уборки урожая озимой тритикале в 2007 г.

Агрометеорологические условия 2004–2005 гг. были благоприятными для роста и развития озимой ржи и яровой пшеницы. ГТК в 2004 и 2005 гг. составили 1,65 и 1,73 соответственно (среднепогодная величина ГТК 1,54). Более засушливым был 2007 г.: ГТК составил 1,06. Наиболее неблагоприятные условия для роста и развития озимой тритикале сложились в апреле, июне. По сравнению со среднепогодными наблюдениями количество осадков, выпавших в эти месяцы, было ниже на 30 мм, при этом среднесуточная температура воздуха была выше на 1–2°.

Результаты и их обсуждение. Обобщенные урожайные данные по трем зерновым культурам севооборота (озимой ржи, яровой пшенице и озимой тритикале) показали, что применение Калипланта повышало урожайность зерновых культур на всех изученных уровнях обеспеченности почвы калием, однако уровень прибавок зерна зависел от содержания подвижного калия в почве, что указывает на взаимосвязь эффективности Калипланта и активности микробной мобилизации калия с содержанием его подвижных форм в почве.

На посевах озимой ржи сорта Игуменская (контроль без удобрений) наибольший эффект от внесения калиймобилизующих бактерий был отмечен на I и II уровнях при содержании K_2O в пределах 105–186 мг/кг: прибавки от бактериализации составили 9,9 и 7,4 ц/га соответственно. При повышении содержания K_2O в почве до 222 мг/кг прибавка от бактериализации снизилась до 3,7 ц/га, минимальная прибавка от Калипланта – 2,2 ц/га зерна – была получена при высокой обеспеченности почвы подвижным калием (281 мг/кг) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Влияние Калипланта на урожайность озимой ржи, яровой пшеницы и озимой тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве СПК «Хотляны», 2003–2007 гг., ц/га

Вариант опыта	Озимая рожь				Яровая пшеница				Озимая тритикале			
	без удобрений		N ₉₀ P ₃₀		без удобрений		N ₉₀ P ₆₀		без удобрений		N ₁₅₀ P ₆₀	
	урожай- ность	прибав- ка	урожай- ность	прибав- ка	урожай- ность	прибав- ка	урожай- ность	прибав- ка	урожай- ность	прибав- ка	урожай- ность	прибав- ка
<i>I уровень, 94–105 мг/кг K₂O</i>												
Контроль	12,5	–	23,5	–	7,2	–	23,1	–	17,5	–	26,9	–
Калиплант	22,4	9,9	28,9	5,4	8,5	1,3	26,1	3,0	23,5	6,0	34,6	7,7
<i>II уровень, 146–186 мг/кг K₂O</i>												
Контроль	16,9	–	29,0	–	8,5	–	41,1	–	25,9	–	38,0	–
Калиплант	24,3	7,4	35,6	6,6	9,8	1,3	45,5	4,4	30,7	4,8	42,9	4,9
<i>III уровень, 164–222 мг/кг K₂O</i>												
Контроль	17,6	–	31,7	–	9,4	–	43,7	–	25,0	–	42,5	–
Калиплант	21,3	3,7	35,8	4,1	10,3	0,9	45,5	1,8	28,4	3,4	45,9	3,4
<i>IV уровень, 201–281 мг/кг K₂O</i>												
Контроль	19,8	–	28,8	–	9,7	–	44,1	–	25,5	–	42,6	–
Калиплант	22,0	2,2	33,2	4,4	10,1	0,4	45,1	1,0	29,2	3,7	45,3	2,7
НСР _{0,05} Фактор А (K ₂ O)	2,4		2,8		1,23		3,69		2,76		3,53	
Фактор В (Калиплант)	1,7		2,0		0,74		2,61		1,95		2,50	

На фоне внесения азотных и фосфорных удобрений (N₉₀P₃₀) получена более высокая урожайность озимой ржи, но отмечено снижение прибавок от бактериализации на I и II уровнях обеспеченности калием (105 и 186 мг/кг) до 5,4 и 6,6 ц/га и тенденция увеличения прибавок на III и IV уровнях (222 и 286 мг/кг) до 4,1 и 4,4 ц/га зерна (табл. 1). На фоне N₉₀P₃₀ общая закономерность снижения прибавок от бактериализации при повышении содержания K₂O в почве также сохранялась.

Наибольшее положительное влияние Калипланта на урожайность яровой пшеницы сорта Рассвет также отмечалась на первых двух уровнях обеспеченности почвы подвижным калием (94 и 146 мг/кг K₂O), прибавки зерна статистически достоверны – 3,0 и 4,4 ц/га соответственно (табл. 1). При увеличении обеспеченности почвы калием до 164 и 201 мг/кг K₂O эффект от бактериализации снижался: уровень прибавок составил 1,0 и 1,8 ц/га. Такая же зависимость от содержания K₂O в почве отмечена на контроле без удобрений (табл. 1). Факт уменьшения эффекта от бактериализации при повышении обеспеченности почвы подвижным калием указывает на снижение активности биологической мобилизации калия.

Аналогичные закономерности наблюдали в 2007 г. на посевах озимой тритикале сорта Сокол: прибавки от Калипланта на первых двух уровнях содержания K₂O в почве (95 и 165 мг/кг) составили 6,0 и 4,8 ц/га, на III и IV уровнях – 3,4 и 3,7 ц/га соответственно. На фоне внесения N₁₅₀P₆₀ эффективность Калипланта также снижалась при повышении содержания подвижного калия в почве (табл. 1).

Таким образом, в течение 2003–2007 гг. на трех зерновых культурах максимальная эффективность калиймобилизующих бактерий была отмечена при относительном недостатке подвижного калия, на двух первых уровнях насыщения почвы калием (в пределах 94–186 мг/кг K₂O). При достаточной обеспеченности почвы подвижным калием – на III и IV уровнях (в пределах 220–280 мг/кг K₂O) – эффективность бактериализации посевов снижалась. Минимальные прибавки от Калипланта получали, как правило, при хорошей обеспеченности почвы подвижным калием, т. е. на IV уровне насыщения.

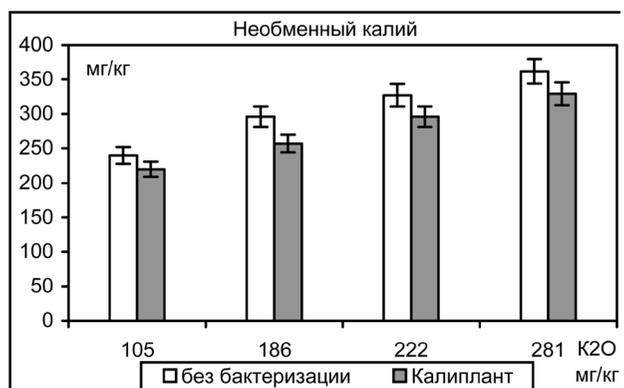
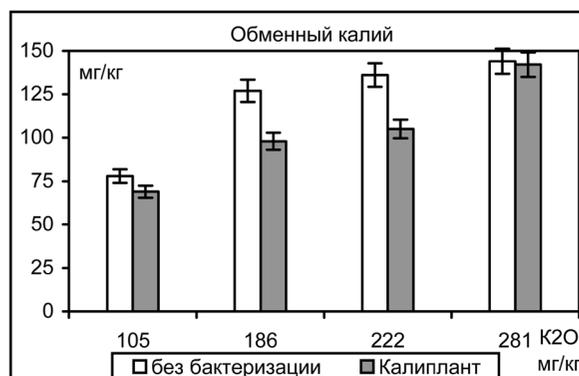
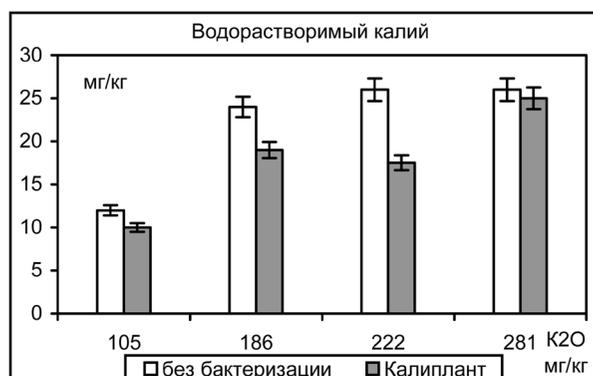
Данные среднегодовой продуктивности зерновых культур (озимой ржи, яровой пшеницы и озимой тритикале) подтверждают установленные закономерности (табл. 2).

Одной из задач исследований была оценка влияния Калипланта на содержание водорастворимого, обменного и необменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве. По мере насыщения почвы калием, от I к IV уровню, содержание всех изученных форм калия повышалось (рисунок).

Таблица 2. Среднегодовая продуктивность зерновых культур (озимая рожь, яровая пшеница, озимая тритикале), СПК «Хотляны», 2003–2007 гг., ц/га к.ед.

Вариант опыта	Без удобрений		NP	
	продуктивность	прибавка	продуктивность	прибавка
<i>I уровень, 94–105 мг/кг K₂O</i>				
Контроль	14,7	–	29,1	–
Калиплант	21,0	6,3	35,5	6,4
<i>II уровень, 146–186 мг/кг K₂O</i>				
Контроль	20,2	–	42,9	–
Калиплант	25,4	5,2	49,2	6,3
<i>III уровень, 164–222 мг/кг K₂O</i>				
Контроль	20,5	–	46,8	–
Калиплант	24,0	3,5	50,5	3,7
<i>IV уровень, 201–281 мг/кг K₂O</i>				
Контроль	21,7	–	45,9	–
Калиплант	24,2	2,5	49,1	3,2
НСР _{0,05} Фактор А (K ₂ O)	3,5		3,9	
Фактор В (Калиплант)	2,4		2,8	

Водорастворимый калий в почвенном растворе представлен в основном нитратами, фосфатами, сульфатами, хлоридами и карбонатами, по сравнению с другими его формами количество относительно невелико [1, 3, 4]. Обменный калий представлен катионами в почвенном поглощающем комплексе и характеризует запасы легкоусвояемого калия почвы. Водорастворимые и обменные формы служат основным источником калийного питания растений. Необменная форма характеризует общие запасы мобилизуемого и усвояемого растениями калия. Содержание обменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве значительно выше по сравнению с более подвижными формами (рисунок). В почве существует динамическое равновесие между



Влияние бактериального удобрения Калиплант на содержание водорастворимых, обменных и необменных форм калия в дерново-подзолистой супесчаной почве (фоны NP)

формами калия. Количество использованного растениями водорастворимого калия пополняется в почве за счет обменного, который, в свою очередь, может быть восполнен за счет необменных форм [3].

На вариантах с применением Калипланта наблюдали снижение содержания водорастворимого, обменного и необменного калия, наиболее выраженное на I–III уровнях насыщения почвы калием (рисунок). Этот факт связан с более активным потреблением калия бактеризованными растениями. Прослеживается корреляция с величиной урожайности, так как внесение калий-мобилизующих бактерий приводило к существенному повышению урожайности и обеспечивало наиболее высокие прибавки зерна на первых трех уровнях (табл. 1).

Положительное влияние Калипланта на урожайность и усиление потребления разных форм почвенного калия связано также со стимуляцией роста и улучшением показателей структуры урожая. В исследованиях, проведенных нами ранее, показано стимулирующее действие калий-мобилизующих бактерий на корневую систему и высоту растений [13, 14], установлена также стимуляция продуктивного кущения и повышение массы зерна в колосе по сравнению с вариантами без бактеризации [15].

Применение калиймобилизующих бактерий исключает экологический риск. Накопленные к настоящему времени научные данные позволяют сделать вывод, что в природе не существует минералов, абсолютно устойчивых к действию микроорганизмов и их метаболитов, так как даже такой устойчивый минерал, как кварц, постепенно разрушается под действием метаболитов некоторых грибов и бактерий [5, 10]. При этом процесс не является односторонним, доказана трансформация одних минералов в другие и новообразование минералов под действием микробных метаболитов, что подтверждено методами рентгеноструктурного анализа [10, 18]. Биогенное минералообразование представляет собой широко распространенный в природе, но до настоящего времени слабо изученный процесс [5, 10]. W. E. Krumbein [19] и J. Berthelin [20] получили экспериментальное подтверждение преобразования биотита в вермикулит под воздействием микроорганизмов. Деятельность микроорганизмов является не только фактором биодegradации, но также и образования минералов [21], в том числе фактором образования силикатных минералов [10, 22].

Заклучение. В результате исследований установлено, что бактериальное удобрение Калиплант повышает урожайность зерновых культур при разной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы калием. Наиболее высокий эффект от бактеризации отмечен при относительном дефиците подвижного калия – в пределах 94–186 мг/кг почвы, прибавки от Калипланта достигали 6,3–6,4 ц/га к.ед., среднегодовая продуктивность составляла 29–49 ц/га к.ед. Повышение обеспеченности почвы подвижным калием до 220–280 мг/кг снижает эффект от бактеризации, уровень прибавок находится на уровне 3,2–3,7 ц/га к.ед. Внесение калиймобилизующих бактерий повышает адаптивные возможности зерновых культур и активизирует потребление водорастворимого, обменного и необменного калия почвы.

Литература

1. Прокошев, В. В. Калий и калийные удобрения: практ. рук-во / В. В. Прокошев, И. П. Дерюгин. – Москва: Ледум, 2000. – С. 13–19.
2. Mengel, K. Principles of plant nutrition / K. Mengel, E. A. Kirckby // Int. Potash Inst. – Bern, 1987. – 687 p.
3. Пчелкин, В. У. Почвенный калий и калийные удобрения / В. У. Пчелкин. – Москва: Колос, 1966. – С. 5–27.
4. Горбунов, Н. И. Минералогия и коллоидная химия почв / Н. И. Горбунов. – Москва: Наука, 1978. – С. 185–189.
5. Аристовская, Т. В. Роль микроорганизмов в превращении минералов / Т. В. Аристовская, А. Ю. Дараган, Т. С. Зверева // География, генезис и плодородие почв. – Л.: Колос, 1972. – 153 с.
6. Илялетдинов, А. Н. Биологическая мобилизация минеральных соединений / А. Н. Илялетдинов. – Алма-Ата: Наука, 1966. – С. 63–73.
7. Александров, В. Г. Силикатные бактерии / В. Г. Александров. – Москва: Сельхозгиз, 1953. – 115 с.
8. Александров, В. Г. Бактерии, разрушающие алюмосиликаты (силикатные бактерии) / В. Г. Александров, Г. А. Зак // Микробиология. – 1950. – Т. XIX. – Вып. 2. – С. 97–104.
9. Зак, Г. А. Освобождение калия из алюмосиликатов почвы силикатными бактериями / Г. А. Зак // Микроорганизмы в сельском хозяйстве: тр. межвуз. науч. конф. / МГУ. – М., 1963. – С. 298–306.

10. А р и с т о в с к а я, Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – С. 140–145.
11. Л у к и н, С. А. Азоспириллы и ассоциативная азотфиксация у небобовых культур в практике сельского хозяйства / С. А. Лукин, П. А. Кожевин, Д. Г. Звягинцев // Сельскохозяйственная биология. – 1987. – № 1. – С. 51–58.
12. М и х а й л о в с к а я, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизирующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
13. Effect of silicate bacteria on K-nutrition and barley growth / N. Mikhailovskaya [et al.] // Regional Workshop Balanced Fertilization in Contemporary Plant Production. The Role of Potassium: Book of Abstracts / Kaunas-Marijampole, Lithuania, September 30 – October 1. – 2003. – P. 31.
14. Влияние силикатных бактерий на развитие проростков ячменя и пшеницы / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 316–324.
15. Влияние калиймобилизирующих бактерий на урожай ячменя и овса в вегетационных опытах / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2004. – Вып. 33. – С. 185–192.
16. Штамм бактерий *Bacillus circulans* БИМ В-376Д для бактериализации семян зерновых культур: пат. 9646 Респ. Беларусь / Н. А. Михайловская, И. М. Богдевич, О. В. Журавлева, Т. Б. Барашенко, Н. Н. Курилович, С. В. Дюсова; заявитель РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – № a20050228; заявл. 10.03.2005; опубли. 30.08.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 4 (57). – С. 112.
17. Агрохимические методы исследования почв / отв. ред. А. В. Соколов, Д. Л. Аскинази. – Москва: Наука, 1965. – С. 128–164.
18. E h r l i c h, H. L. Geomicrobiology / H. L. Ehrlich. – New York: Marcel Dekker, 1981. – 393 p.
19. K r u m b e i n, W. E. Role des microorganismes dans la genese la diagenese et la degradation des roches en place / W. E. Krumbein // Rev. Ecol. Biol. Sol. – 1972. – Vol. 9. – N 3.
20. B e r t h e l i n, J. Quelques aspects des mecanismes de transformation des mineraux des sols par les microorganismes heterotrophes / J. Berthelin // Sc. Sol. Bull. A. F. E. S. – 1977. – N 1. – P. 45–50.
21. F e r r i s, F. G. Mineral formation and decomposition by microorganisms / F. G. Ferris, W. Shotyk, W. S. Fyfe // Metal Ions and Bacteria. – New York: Wiley, 1989. – P. 413–441.
22. H u a n g, P. M. Ionic factors affecting the formation of short-range ordered aluminosilicates / P. M. Huang // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1991. – Vol. 55. – P. 1172–1180.

N. A. MIKHAILOUSKAYA

**THE INFLUENCE OF BIOFERTILIZER KALIPLANT ON THE GRAIN CROP YIELD
ON ALBELUVISOL LOAMY SAND SOIL WITH DIFFERENT SUPPLY OF POTASSIUM**

Summary

The effect of biofertilizer Kaliplant (K-mobilizing bacteria) on grain crop yields (winter rye, spring wheat and winter triticale) was tested in field experiment on Albeluvisol loamy sand soil characterized by different levels of K-supply. Application of biofertilizer resulted in the increase of grain yields. Most effectiveness of Kaliplant was observed on soils characterized by a relative deficit of mobile potassium. Introduction of K-mobilizing bacteria was found to increase the use of different forms (water soluble, exchangeable and non-exchangeable) of soil potassium by grain crops.