

Применение и эффективность калийных удобрений в Китае

Фан Чен, Пинг Хе, Шутан Ли, Шихуа Ту

В настоящее время из общей площади пахотных почв в мире, которая составляет 1,3 млрд. га, только 10% не подвержены значительному выносу элементов питания растений или испытывают его в малой степени. На остальной территории около 40% почв имеют недостаточный уровень содержания доступных для растений форм калия [K] (Yang, 1988; Jiang et al., 2003). В Китае в последние годы в результате использования интенсивных агротехнологий и повышения урожайности сельскохозяйственных культур произошло расширение площадей пашни с дефицитом калия. Шелдрик с авторами (Sheldrick et al., 2003) показали, что благодаря выносу K с урожаем ежегодный отрицательный баланс K в пашне Китая составлял 7,7 млн. т K₂O.

В зависимости от биологической доступности, различают четыре формы K в почве: водорастворимый (K почвенного раствора), обменный, необменный и K минерального скелета (Huang et al., 1979). Водорастворимый K обычно присутствует в сельскохозяйственных почвах в небольшом количестве – менее 1% от общего содержания K в почве (Jin, 1993). Однако такой низкий уровень содержания водорастворимого K в почве может обеспечить получение только невысокой урожайности. Минеральные калийные удобрения представляют собой легко растворимые соединения калия и являются критически важным элементом современного высокопродуктивного сельского хозяйства. Для большинства сельскохозяйственных культур чтобы получить нормальный урожай достаточен средний уровень содержания водорастворимого K в почве. Однако для некоторых высокоурожайных кормовых и клубнеплодных культур, таких как картофель, необходим высокий уровень содержания водорастворимого K в почве.

Запасы калия в сельскохозяйственных почвах Китая весьма ограничены, поэтому очень важно повышать эффективность использования минеральных K-удобрений и природных источников K.

На юге Китая в условиях повышенных температур, осадков и интенсивного выветривания потери питательных элементов из почвы в результате выщелачивания и поверхностного стока весьма велики. Кроме того, высокий индекс использования посевных площадей (в среднем 2.1 культуры в год) приводит к выносу большего количества питательных элементов с пашни без соответствующего возмещения отчужденного K. В течение последних трех десятилетий признаки дефицита K проявлялись на ~2/3 площадей орошаемых рисовых полей и 1/2 площадей неорошаемых почв на юге Китая, что составляет 80% от общей площади пахотных почв Китая с недостаточным содержанием доступных для растений форм K в почве (Zheng and Chen, 2004).

На севере Китая в условиях пониженных значений температур, осадков и индекса использования посевных площадей в почвах обычно наблюдается больше K-содержащих минералов, что приводит к более низкой эффективности применения калий-

ных удобрений по сравнению с южными районами страны. Исследования показали (Liu et al., 2011; He et al., 2012), что в большинстве северных районов центрального Китая применение K удобрений повышало урожайность зерна пшеницы и прибыль с гектара, но средняя прибавка урожая составляла менее 1 т/га. Таким образом, показатели эффективности использования K удобрений на севере Китая были относительно низкими.

Баланс калия в почвах сельхозугодий

Начиная с 1980 года, применение промышленных калийных удобрений в Китае активно пропандировалось посредством проведения многочисленных научно-практических исследований и демонстрационных проектов. Общее потребление промышленных калийных удобрений в Китае значительно возросло с 386 тыс. т в 1980 году до 1,98 млн т в 1990 году и 8,49 млн т в 2010 году. В последние годы средние дозы внесения калийных удобрений на сельхозугодьях в различных регионах Китая составляли 87-178 кг K₂O/га. Из всех источников K, используемых в сельском хозяйстве, 38% составляют промышленные калийные удобрения, 35% – экскременты животных и человека, 17% – пожнивные остатки, 4% – различные отложения, 4% – вода для орошения, 1% – сидераты, и 1% – жмыхи (Li and Jin, 2011).

Хотя потребление калия существенно возросло за последние 30 лет, этот рост недостаточен для того, чтобы обеспечить калием увеличивающуюся площадь посевов и высокую урожайность, а также восполнить соответствующий вынос K из почвы. В то же время, территория, на которой применяются промышленные калийные удобрения в Китае, увеличилась на 14.4% (с 9,94 млн га в 1980 году до 11,37 млн га в 2008 году). Однако в наибольшей степени внесение калийных удобрений возросло на посевных площадях, занятых наиболее рентабельными товарными и плодовыми культурами, а так же овощами, которым необходимо более высокое содержание доступных форм K в почве, чем зерновым культурам.

На юге Китая, начиная с 1980 года, было проведено много научно-исследовательских проектов,

Таблица 1. Баланс NPK в почвах сельхозугодий в трех провинциях на юге Китая (кг/га в год).

Провинция	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс
Цзянсу	481	394	87	155	91	64	163	196	-33
Хунань	583	253	330	188	156	32	318	361	-43
Шанхай	365	144	221	102	69	33	70	164	-94

Источник: Данные программы IPNI по Китаю.

Таблица 2. Баланс NPK в почвах сельхозугодий в северном Китае (кг/га в год).

Провинция	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс	Поступление	Вынос	Баланс
Северо-восточный	355	326	29	156	103	53	131	198	-67
Северный центральный	475	391	84	246	118	128	219	226	-7
Северо-западный	401	309	92	172	89	84	170	170	0

Источник: Данные программы IPNI по Китаю.

Таблица 3. Отзывчивость с/х культур, агрономическая эффективность (АЭ) и дополнительная прибыль при внесении калийных удобрений в Китае

Культуры	Кол-во опытов	Урожайность (т/га)	Прибавка урожая от К			Прибыль (\$/га)
			%	кг/га	кг продукции/кг K ₂ O (АЭ)	
Зерновые	582	8.1	14	990	10.3	258
Овощи	137	63.2	15	8500	58.0	1419
Плодовые	51	32.5	23	6000	12.0	3548
Масличные	87	3.0	17	433	4.8	292
Клубнеплодные	116	28.1	18	4000	44.0	787
Хлопчатник	56	2.5	22	458	3.1	533
Чай	15	6.4	14	755	2.9	875

Источник: Данные Программы IPNI по Китаю.

направленных на изучение калийного состояния почв, структуры посевных площадей, взаимодействия между различными элементами питания в почве и других факторов. Эти проекты были осуществлены при поддержке Международного института питания растений (IPNI). Общей целью проектов было увеличение эффективности калийных удобрений на 5-10% при сохранении отношения стоимости прибавки урожая к затратам на удобрения, т.е. окупаемости К удобрений, выше 3.0. В **таблице 1** приведены данные по балансу NPK в почвах сельхозугодий трех провинций на юге Китая. В то время как баланс азота (N) и фосфора (P) в почве был положительным, баланс калия (K) был отрицательным во всех трех провинциях. Если эта тенденция будет продолжаться, то дефицит K в почвах сельхозугодий станет серьезной проблемой для производства продуктов питания в будущем.

В последние годы, благодаря расширению площади посевов под высокопродуктивными сортами и внесению более высоких доз азотных и фосфорных удобрений, баланс K стал отрицательным в по-

чвах сельхозугодий и некоторых районов на севере Китая. По опубликованным данным (Li and Jin, 2011), ежегодный вынос K из почв составляет 67 кг K₂O/га в год в северо-восточных районах страны (провинции Хэйлунцзян, Цзилин и Ляонин) и 7 кг K₂O/га – в северных районах центрального Китая [провинции Пекин, Тяньцзинь, Хэбэй, Хэнань, Шаньдун и Шаньси] (**таблица 2**).

Отзывчивость основных с/х культур на применение калийных удобрений

В период между 2001 и 2010 годами в рамках программы IPNI по Китаю были проведены 1044 полевых опыта с различными культурами по всей стране (**таблица 3**). Полученные результаты показывают, что хлопчатник, а так же плодовые, клубнеплодные и масличные культуры проявляют максимальную отзывчивость на калийные удобрения, при этом прирост урожая от использования K составляет 17-23%. Применение калийных удобрений под плодовые культуры, овощи и чай дало максимальную прибыль с гектара (от 875 до 3548 долла-

Таблица 4. Планируемая урожайность, содержание К в почве, рекомендуемые дозы и окупаемость К-удобрений.

Культура	Содержание доступных форм К в почве (мг/кг)	Рекомендуемая доза K_2O (кг/га)	Планируемая урожайность (т/га)	Окупаемость (\$/\$)
Рис (n=135)	<40	117	6.1	4.8
	40-60	98	6.8	3.1
	60-90	90	7.0	2.5
	90-120	77	7.8	1.8
	>120	62	8.3	1.3
Кукуруза (n=46)	<60	170	4.7	6.2
	60-100	126	5.6	5.8
	100-130	113	6.5	3.3
	130-150	90	6.4	2.1
	>150	68	6.7	2.1
Арахис (n=26)	<50	152	2.8	8.3
	50-70	108	3.1	6.1
	70-90	100	3.4	5.7
	90-120	63	3.9	5.0
	>120	35	4.0	3.2
Рапс (n=67)	<50	150	1.1	3.8
	50-80	105	1.3	3.6
	80-100	92	1.4	3.1
	100-120	87	1.4	2.8
	>120	45	1.7	1.5

Источник: Совместные проекты программы по Китаю IPNI и Институтов Почвоведения и Удобрений в провинциях Хунань. Хубей. Цзянси. Чжэцзян. Сычуан. Гуанси и Гуандун.

ров США/га). Овощи и клубнеплодные культуры показали максимальную агрономическую эффективность (44–58 кг продукции на 1 кг внесенного K_2O), что значительно превышало результаты, полученные для других с/х культур.

IPNI также обобщил полученные результаты многочисленных полевых опытов (1041 опыт), проведенных на 30-ти основных культурах на юге Китая в течение последних трех десятилетий. Результаты показали хорошую отзывчивость всех культур на применение калийных удобрений. Большинство товарных культур и овощей показали более высокую отзывчивость на К удобрения, а также прибыль с гектара посевной площади, чем зерновые культуры. В общем, более высокий экономический эффект был получен при внесении калийных удобрений под товарные культуры и овощи.

Рекомендации по применению калийных удобрений, основанные на данных почвенного анализа

Таблица 4 содержит рекомендации по оптимальным дозам калийных удобрений для четырех основных культур, выращиваемых на юге Китая. Они были разработаны на основании данных почвенного анализа. Аналогичные рекомендации были предложены и для других культур, выращиваемых во всех регионах страны. Дальнейшие исследования в рамках программы IPNI по Китаю и совместных проектов института будут сфокусированы на оценке эффективности применения калийных удобрений при различной влажности почвы,

пространственном варьировании содержания элементов питания в почве, миграции К в экологических системах сельхозугодий, а также возможном воздействии К на окружающую среду.

Выводы

Применение калийных удобрений необходимо и выгодно для сельскохозяйственного производства в Китае. Наша основная задача – эффективно применять калийные удобрения для увеличения производства сельскохозяйственных культур.

Литература

- He, P., J.Y. Jin, H.T. Wang, R.Z. Cui, and C.J. Li. 2012. Yield responses and potassium use efficiency for winter wheat in north-central China. *Better Crops*, Vol.96 (3):28-30.
- Huang, P.M. 1979. Soil potassium reserves in relation to crop response to potash. In *Proceedings of the workshop, Potash and Phosphate Institute of Canada, Saskatoon, Canada*.
- Jiang, C.C., L.S. Yuan, and Y.H. Wang. 2003. K-efficiency in different cotton genotypes at seeding stage. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 22(6):564-568.
- Jin, J.Y. 1993. *Advances in soil potassium research. Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(1):94-101.
- Li, S.T. and J.Y. Jin. 2011. Characteristics of Nutrient Input/Output and Nutrient Balance in Different Regions of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (20):4207-4229.
- Liu, X.Y., P. He, J.Y. Jin, W. Zhou, G.D. Sulewski, and S. Phillips. 2011. Yield Gaps indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agronomy Journal*, Vol.103

Sheldrick, W.F., J.K. Syers, and C.J. Lingard. 2003. Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balances and output/input relationships. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94(3):341-354.

Yang, X.E. 1988. Research on the genetic characteristics of plant mineral nutrition. *Advances of Soil Science*, 19(6):284-287.

Zheng, S.X. and F. Chen. 2004. Research on the technologies of high

efficient application potash for main crops in south China. *Evaluation of Soil K Fertility and Rational K Fertilization- Proceedings of 10th International Potash Symposium*, Science and Technology Publishing House of Jilin, p.227-233.

Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е., вице-президент IPNI по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку.

Экономические преимущества применения калийных удобрений при выращивании основных зерновых культур на Индо-Гангской равнине

С. Датта, К. Маджумдар, Т. Сатьянараяна

Стоимость калийных (К) удобрений в Индии за последние три года заметно выросла. Это вызвало обеспокоенность относительно рентабельности применения К-удобрений под зерновые культуры. Исследования по изучению отзывчивости риса, пшеницы и кукурузы на К-удобрения, недавно проведенные на Индо-Гангской равнине (ИГР), продемонстрировали достоверное повышение урожайности данных культур, а также доходности их возделывания при применении К-удобрений. Согласно полученным результатам, невнесение К-удобрений под указанные зерновые культуры ведет к нестабильным урожаям зерна и недополучению прибыли даже при повышении цен на К-удобрения. Экономическая оценка с использованием прогнозных показателей – стоимости К-удобрений и минимальной закупочной цены (МЗЦ) на зерно также свидетельствует о приемлемой окупаемости затрат на приобретение К-удобрений.

Общепринятое представление о том, что почвы Индии богаты калием и не требуют внесения К-удобрений, уже неактуально в условиях интенсивного производства сельскохозяйственных культур. Действительно, появляется все больше свидетельств растущего дефицита калия в результате недостаточного внесения или невнесения К-удобрений и несбалансированного применения азотных (N) и фосфорных (P) удобрений. Несбалансированное по калию применение удобрений, безусловно, оказывает негативное влияние на рост и развитие растений риса, пшеницы и кукурузы – основных зерновых культур, за счет которых формируется продовольственная безопасность Индии. Ситуация ухудшилась после недавнего увеличения цен на К-удобрения. Существует два способа, позволяющих справиться с ростом цен на удобрения: 1) повышение урожайности культур с определенным годовым приростом или 2) увеличение цен на сельхозпродукцию. Предыдущие исследования, проведенные в разных регионах Индии, выявили

значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур в результате применения К-удобрений, равно как и связанные с этим экономические выгоды. Расчет экономической отдачи от внесения К-удобрений при вышеуказанной высокой отзывчивости растений на калий с учетом МЗЦ на зерно и сложившейся стоимости 1 кг K_2O свидетельствует о том, что на одну рупию, вложенную в приобретение К-удобрений, можно получить доход в размере более 15-ти рупий. Рассматриваемое в данной статье исследование охватывало весь ИГР-регион и проводилось для того, чтобы оценить: 1) отзывчивость риса, пшеницы и кукурузы на применение К-удобрений в разных почвенно-климатических условиях; 2) экономическую выгоду от применения К-удобрений под основные зерновые культуры при сценарии роста цен на удобрения.

В рамках проекта «Инициатива по системам возделывания зерновых культур в Южной Азии» (CSISA) Международный институт питания растений (IPNI) совместно с Международным центром по улучшению кукурузы и пшеницы (CIMMYT) провел в 2009-2011 гг. полевые опыты на фермерских полях для установления отзывчивости сельскохозяйственных культур на основные элементы питания в разных почвенно-климатических условиях ИГР-региона. На полях фермеров в штатах Пенджаб, Харьяна, Уттар-Прадеш, Бихар, Джаркханд и Западная Бенгалия в общей сложности было проведено 45, 141 и 36 опытов соответственно на рисе, пшенице и кукурузе. В западной части ИГР-региона опыты проводились в условиях интенсивного орошаемого земледелия на достаточно крупных по размерам фермерских полях, а в восточной части Индии – на сильно фрагментированных фермерских полях в условиях неорошаемого низкоинтенсивного земледелия.

Результаты

Изучение отзывчивости основных зерновых