

Калийные удобрения повышают урожайность картофеля в провинции Юньнань (Китай)

М. Йин, Л. Хонг, Ш. Ту

Урожайность картофеля и окупаемость затрат на его выращивание существенно возросли в результате применения калийных удобрений. Однако, отзывчивость картофеля на калийные удобрения на почвах с разным уровнем плодородия, значительно различалась. Показано, что оптимальные дозы калийных удобрений составляют для почвы с высоким и низким уровнем плодородия 270 кг и 135 кг $K_2O/га$ соответственно. Сроки внесения калийных удобрений должны соответствовать периодам максимального накопления сухого вещества в клубнях, а также активного поглощения калия растениями в фазы интенсивного роста и развития растений.

Картофель – одна из самых распространенных сельскохозяйственных культур в Китае. В провинции Юньнань, расположенной на юго-западе Китая, посевные площади под картофель занимают третье место после кукурузы и риса (703 тыс. га в 2012 г.). Однако, даже в благоприятных климатических условиях средняя урожайность картофеля в этом регионе обычно низка. Применение низких и несбалансированных по составу доз минеральных удобрений, и особенно невнесение калийных удобрений, считаются основными причинами низкой урожайности и плохого качества картофеля (Duan et al., 2013). В связи с этим, в 2012 г. стартовал научный проект, основной целью которого стало изучение влияния различных доз калийных удобрений на урожайность картофеля и определения оптимальной дозы калийного удобрения для производства картофеля в регионах, где проводились исследования. Опыты были заложены на красноземах с различным уровнем плодородия (продуктивности) в двух регионах: районы Юежоу и Донгшан в округе Цюйцзин провинции Юньнань. В Юежоу краснозем с низким уровнем плодородия характеризовался низким содержанием органического вещества, а также недостаточным содержанием азота



Поле картофеля.

и обменного калия в почве. В Донгшане краснозем с относительно высоким уровнем плодородия характеризовался достаточным уровнем содержания органического вещества, азота и обменного калия (табл. 1).

Исследование проводилось с использованием рандомизированной полноблочной схемы опыта, включающей 4 дозы калийных удобрений (0, 135, 270 и 405 кг $K_2O/га$) в трех повторностях. В каждом варианте в качестве фона вносили азотные и фосфорные удобрения в дозах 150 кг N/га и 90 кг $P_2O_5/$

Таблица 1. Некоторые агрохимические свойства исследуемых почв

Место проведения опыта	pH	Органическое вещество, (г/кг)	Щелочно-гидролизующий азот (мг/кг)	Доступный фосфор (мг/кг)	Обменный калий (мг/кг)
Юежоу	5.1	26.2	69.9	12.9	77.8
Донгшан	5.0	44.4	108.4	12.4	105.8

Таблица 2. Урожайность клубней картофеля в зависимости от доз калийных удобрений в двух районах

Место проведения опыта	Доза K, кг $K_2O/га$	Урожайность, кг/га	Прибавка урожая от K	
			кг/га	%
Юежоу	0	10830 c	–	–
	135	12205 b	1375	12.70
	270	12585 b	1755	16.20
	405	13140 a	2310	21.33
Донгшан	0	21135 c	–	–
	135	27225 b	6090	28.81
	270	32715 a	11580	54.79
	405	28050 b	6915	32.72

Таблица 3. Накопление биомассы картофеля в разные фазы роста и развития при внесении различных доз калийных удобрений

Место проведения опыта	Доза К. кг K ₂ O/га	Всходы		Образование клубней		Рост клубней		Накопление крахмала		Уборка урожая	
		Ботва	г/га	Ботва	Клубни*	Ботва	Клубни	Ботва	Клубни	Ботва	Клубни
Юежоу	0	139.95	627.15	18.00	758.70	722.70	940.80	1344.00	1083.00	2166.00	
	135	139.95	750.15	13.05	882.15	868.05	1115.10	1607.40	1220.55	2440.95	
	270	145.05	758.40	18.00	916.20	970.20	1137.60	1698.00	1358.55	2517.00	
	405	145.05	762.30	15.00	966.75	982.35	1234.95	1762.05	1314.00	2628.00	
Донгшан	0	241.95	919.95	63.90	1030.20	1204.95	1398.15	3856.65	1568.10	4327.05	
	135	235.95	940.05	63.90	1320.30	1249.95	1783.50	4441.65	1833.45	5545.05	
	270	241.95	960.00	58.65	1458.15	1414.95	2130.45	4788.30	2233.50	6544.05	
	405	240.00	1000.05	63.90	1407.15	1530.00	2209.05	4983.30	2283.00	5910.00	

* Биомасса клубней и корневой системы

Таблица 4. Поглощение калия в разные фазы роста и развития картофеля в зависимости от доз калийных удобрений

Место проведения опыта	Доза К кг K ₂ O/га	Всходы		Образование клубней		Рост клубней		Накопление крахмала		Уборка урожая	
		кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день	кг/га	г/га в день
Юежоу	0	7.04	0.12	25.35	1.41	21.98	1.05	26.15	1.87	6.08	0.23
	135	7.20	0.12	33.72	1.87	26.74	1.27	35.72	2.55	1.41	0.05
	270	7.71	0.13	34.4	1.91	28.51	1.36	39.11	2.79	10.19	0.38
	405	8.1	0.14	35.31	1.96	31.57	1.50	45.50	3.25	3.35	0.12
Донгшан	0	12.17	0.22	36.61	1.74	31.89	2.13	100.67	6.71	0.12	0.01
	135	12.14	0.22	40.83	1.94	46.74	3.12	132.44	8.83	1.71	0.12
	270	12.86	0.23	41.75	1.99	53.69	3.58	155.02	10.33	1.52	0.11
	405	12.74	0.24	45.93	2.16	53.65	3.58	168.62	11.24	0.04	0

га. Размер опытной делянки составлял 20 м² (4×5 м). В качестве азотных удобрений использовали мочевины (46% N), фосфорных – простой суперфосфат (12% P₂O₅) и калийных – хлористый калий (60% K₂O). Азотные и калийные удобрения вносили в два приема: под основную обработку (50%) и в качестве подкормки в период интенсивного роста клубней. Фосфорные удобрения вносили в один прием под основную обработку. В качестве опытной культуры использовали сорт картофеля Hezuo 88, посев проводили в марте, а уборку – в середине августа 2012 г.

Картофель выращивали в условиях естественного увлажнения без дополнительного полива в течение всего вегетационного сезона. В каждой фазе



Опытные делянки

развития картофеля отбирали растительные пробы для оценки накопления сухой биомассы, а также поглощения калия ботвой и клубнями. При уборке собирали отдельно ботву и клубни с каждого варианта и взвешивали. В растительных пробах определяли поглощение питательных элементов и ботвой, и клубнями. Далее вычисляли эффективный коэффициент использования калия из удобрений и оккупаемость удобрений.

Влияние калийных удобрений на урожайность картофеля

Различия в уровне плодородия почвы оказывали существенное влияние на урожайность картофеля (табл. 2). В Донгшане на красноземе с относительно высоким уровнем плодородия урожайность картофеля превышала его урожайность на низкоплодородной почве в Юежоу вдвое и более, независимо от внесенных доз калийных удобрений. В Юежоу на низкоплодородном красноземе урожайность картофеля значительно возрастала с увеличением доз калийных удобрений, не достигая предела. При этом прибавка урожая от калия составляла от 12,70 до 21,33%. В Донгшане на высокоплодородном красноземе, урожайность картофеля также значительно возрастала с увеличением доз калийных удобрений, однако достигнув максимума при дозе 270 кг K₂O/га, она начала снижаться при дальнейшем росте дозы вносимого

Место проведения опыта	Доза К. кг К ₂ O/га	Урожайность. кг/га	Доход	Затраты	Чистая прибыль	Рост прибыли от К. %
Юежоу	0	10830	2130.49	256.60	1873.89	-
	135	12205	2400.98	420.49	1980.25	5.68
	270	12585	2475.74	584.88	1890.86	0.91
	405	13140	2585.90	749.02	1835.90	-2.03
Донгшан	0	21135	4157.70	256.60	4144.55	-
	135	27225	5355.74	420.49	4935.00	19.07
	270	32715	6438.20	584.88	5852.88	41.22
	405	28050	5518.03	749.02	4769.02	15.07

Место проведения опыта	Доза К. кг К ₂ O/га	Вынос К (ботва+клубни). кг/га	K _{эф} . %	Агрономическая эффективность К. кг/кг
Юежоу	0	87	-	-
	135	103	12.43	10.19
	270	120	12.34	6.50
	405	124	9.19	5.70
Донгшан	0	182	-	-
	135	234	38.81	45.11
	270	265	30.88	42.93
	405	281	24.57	17.07

удобрения. При этом прибавка урожая от калия составляла от 28,81 до 54,79%, что значительно превышало результаты, полученные на низкоплодородной почве. На высокоплодородном красноземе при дозе К удобрения 270 кг К₂O/га урожайность картофеля достигла 32715 кг/га, что было в 2,6 раза больше, чем при этой же дозе на низкоплодородной почве. Кривая отзывчивости картофеля на возрастающие дозы калийных удобрений на высокоплодородной почве имела типичный вид (Karam et al., 2009); на низкоплодородной почве ее форма была менее обычна, однако аналогичные кривые отзывчивости были также получены другими исследователями и представлены в публикациях (Kelling et al., 2002; Singh and Lal, 2012). Полученные результаты показывают, что урожайность картофеля на низкоплодородной почве не может достичь аналогичного уровня на высокоплодородной почве при внесении только калийных удобрений. Очевидно, что существуют другие ограничивающие урожайность факторы, кроме недостатка калия, которые требуют дальнейшего исследования. Таким образом, для низкоплодородного краснозема оптимальная доза калийных удобрений под картофель составляет 135 кг К₂O/га, поскольку

внесение более высоких доз дает малый или нулевой экономический эффект, несмотря на рост урожайности (табл. 3).

Накопление биомассы в разные фазы роста и развития картофеля

Данные, приведенные в табл. 3, показывают отчетливые тренды в накоплении биомассы ботвы и клубней в течение всего жизненного цикла картофеля в обоих районах исследований. Период максимального накопления биомассы надземной части растений включал фазы образования клубней и накопления крахмала, а у клубней - фазы активного роста клубней и уборку урожая. В периоды максимального накопления биомасса и ботвы, и клубней возрастала с ростом дозы калийных удобрений. Содержание сухого вещества в растениях, выращенных в Донгшане, существенно превышало (до двух раз) величины, полученные в Юежоу. Для лучшего удовлетворения потребности картофеля в питательных веществах, необходимых для быстрого роста и развития клубней, калийные удобрения следует применять с учетом периодов активного на-

$$*K_{эф} = \frac{V_y - V_0}{Y_d} \cdot 100\%$$

K_{эф} – эффективный коэффициент использования элемента питания из удобрения, %

V_y – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции в варианте с внесением удобрений, кг/га

V₀ – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции в варианте без внесения удобрений, кг/га

Y_d – количество элемента питания, внесенное с удобрениями (доза удобрения), кг д.в./га

Примечание: Название показателя дано переводчиком Ивановой С.Е. Данный коэффициент соответствует коэффициенту использования питательных веществ из удобрений (КИУ), определенного разностным методом с учетом фактического выноса.

копления биомассы - в фазы всходов и образования клубней (Guo et al., 2011).

Накопление калия в тканях в разные фазы роста и развития картофеля

Быстрое накопление калия происходило в период, включающий фазы образования клубней и накопления крахмала, достигая максимальных величин в фазе накопления крахмала, составлявших 26,15–45,50 и 100,67–168,62 кг/га в Юежоу и Донгшане соответственно (табл. 4). Эти значения были значительно выше полученных данных о накоплении азота и фосфора в фазу накопления крахмала (данные не приводятся), потому что потребность картофеля в калии выше, чем в других основных питательных элементах (Westermann, 2005). В фазу уборки урожая растения картофеля поглощали относительно мало калия. Эти результаты подтверждаются литературными данными (Gao et al., 2003; Lu et al., 2013). Полученные результаты показывают, что фазы быстрого накопления калия соответствуют периодам максимального поглощения калия, когда достаточное калийное питание растений картофеля необходимо как для получения высокого урожая, так и его качества (Guo et al., 2011). Внесение калийного удобрения под картофель после фазы накопления крахмала не дает значительного эффекта. Отсутствие отзывчивости на калийные удобрения, внесенные на более поздних фазах роста и развития картофеля, было описано Kelling et al. (2002).

Экономическая эффективность применения калийных удобрений

В Юежоу экономически выгодным оказалось внесение калийных удобрений только в дозе 135 кг K₂O/га, а применение более высоких доз давало незначительный или отрицательный экономический эффект по сравнению с вариантом без внесения калийных удобрений (табл. 5). Однако в Донгшане экономическая эффективность возрастала с ростом доз калийных удобрений, достигая максимума при внесении 270 кг K₂O/га. Дальнейшее увеличение дозы калийных удобрений приводило к снижению экономической эффективности. Чистый доход, обусловленный применением калийных удобрений в Донгшане, превышал аналогичную величину для Юежоу более, чем вдвое. Дальнейшие исследования показали, что для получения более высокой урожайности картофеля и экономической эффективности от внесенных удобрений на почвах с высоким уровнем плодородия следует применять повышенные дозы калийных удобрений.

Эффективный коэффициент использования калия из удобрений (K_{эф})*

Эффективный коэффициент использования K из удобрений и агрономическая эффективность снижались с увеличением дозы калийных удобрений

в обоих местах проведения опытов (табл. 6). В Донгшане были получены более высокие значения данных показателей, чем в Юежоу. Обычно эффективный коэффициент использования калия из удобрения на низкоплодородной почве выше, чем на высокоплодородной. Однако опыт в Юежоу дал противоположные результаты. Это значит, что кроме недостатка калия должны быть еще и другие ограничивающие урожайность факторы, негативно влияющие на рост и развитие картофеля, а также снижающие его отзывчивость на внесение калийных удобрений. Кроме того, как указывалось Келлингом с соавт. (Kelling et al. (2002)), погодные условия года выращивания также могут отчасти негативно влиять на отзывчивость картофеля на калийные удобрения на почвах с низким уровнем плодородия.

Д-р Мей Йин и д-р Лифанг Хонг – профессора Института сельскохозяйственных ресурсов и окружающей среды, Юньнаньской академии сельскохозяйственных наук.

Д-р Ту – заместитель регионального директора МИПР по Китаю (программа на Ю-З Китая), профессор Института почв и удобрений, Сычуаньской академии сельскохозяйственных наук, Китай; e-mail: stu@ipni.net

Литература

- Duan, Y., Tuo, D.B., Zhao, P.Y., Li, H.C. and Li, S.T. 2013. Response of potato to fertiliser application and nutrient use efficiency in Inner Mongolia. *Better Crops*, 97(3):24-26.
- Gao, J.L., Liu, K.L., Zhang, B.L. and Sheng, J.H. 2003. The patterns of phosphorus and potassium absorption, accumulation and distribution in dryland potato. *Chinese Potato*, 17(6):326-330.
- Guo, Z.P., Sang, T.T., Zhu, H.T. and Pan, D. 2011. Effect of applying potassium fertiliser in different growth periods on the yield and the quality of potato. *Hubei Agric. Sci.*, 50 (4):681-682.
- Karam, F., Roupheal, Y., Lahoud, R., Breidi, J. and Colla, G. 2009. Influence of genotypes and potassium application rates on yield and potassium use efficiency of potato. *Journal of Agronomy*, 8(1): 27-32.
- Kelling, K.A., Panique, E., Speth, P.E. and Stevenson, W.R. 2002. Effect of potassium rate, source and application timing on potato yield and quality. *Potato Conference, Idaho, USA*.
- Lu, J.W., Qiu, H.Z., Zhang, W.M., Wang, D., Zhang, J.L., Zhang, C.H. and Hou, S.Y. 2013. Characteristics of dry matter and potassium accumulation and distribution in potato plant in semiarid rainfed areas. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(2):423-430.
- Singh, S.K. and Lal, S.S. 2012. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. *Potato J.*, 39(2):155-165.
- Westermann, D.T. 2005. Nutritional requirements of potatoes. *Amer. J. Potato Res.* 82:301-307.

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