

Влияние калийного питания на качество фруктов и овощей: краткий обзор литературы

Джин Е. Лестер, Джон Л. Джифон, Доналд Дж. Макус

Из всех элементов минерального питания растений калий выделяется как катион, оказывающий сильнейшее влияние на показатели качества, которые определяют товарные свойства сельхозпродукции, содержание в ней полезных для здоровья человека питательных веществ и, соответственно, предпочтения потребителей. Однако, многие факторы, связанные с конкретными условиями сельскохозяйственного производства (культура, почва, окружающая среда), часто лимитируют поглощение калия из почвы в количествах, достаточных для удовлетворения потребности развивающихся плодов в калии и достижения оптимальных значений вышеупомянутых показателей качества. Это было подтверждено в опубликованной в 2007 г. работе (Lester et al., 2007), в которой показано, что внекорневая подкормка калийным удобрением заметно улучшала некоторые показатели качества плодов дыни-канталупы, несмотря на высокое содержание обменного калия в почве. В настоящей статье обобщаются ранее опубликованные результаты работ, выполненных в долине Рио-Гранде в штате Техас (Rio Grande Valley of Texas), и дается анализ опубликованных исследований по изучению эффективности калийных удобрений при внесении в почву и внекорневых подкормках на некоторые показатели качества плодов и овощей, включая содержание в них питательных веществ.

Калий - один из необходимых элементов минерального питания растений, который оказывает значительное влияние на содержание в плодах и овощах полезных для здоровья человека питательных веществ, определяющее качество плодов и овощей. (Usherwood, 1985). Хотя калий не входит в состав каких-либо органических молекул или растительных структур, он участвует во многих биохимических и физиологических процессах, жизненно важных для нормального роста и развития растений, формирования урожая и качества продукции, а также устойчивости растений к стрессу (Marschner, 1995; Sakmak, 2005). Кроме регулирования работы устьиц в процессах транспирации и фотосинтеза, калий также участвует в реакциях фотосинтетического фосфорилирования, транспорте продуктов фотосинтеза из листьев по флоэме к запасующим органам, активизирует работу ферментов, поддерживает тургор, а также повышает устойчивость растений к стрессу (Usherwood, 1985; Doman and Geiger, 1979; Marschner, 1995; Pettigrew, 2008). Оптимальное калийное питание овощных и плодовых культур способствует росту урожайности, увеличению размера плодов и содержания в них растворимых сухих веществ и аскорбиновой кислоты, улучшению цвета, а так же удлиняет срок хранения и повышает сохранность плодов при транспортировке (Geraldson, 1985; Lester et al., 2005, 2006, 2007; Kanai et al., 2007).

Хотя валовое содержание калия во многих почвах высокое, большая часть калия в почве может быть недоступна для растений. Это происходит отчасти потому, что запасы доступных для растений форм калия, существенно ниже, чем валовые запасы калия в почве. Калий существует в почве в различных формах, включая калий минерального скелета (90–98% от валовых запасов K), необменный калий, обменный калий и калий почвенного раствора (K^+ ионы). Однако растения могут непосредственно поглощать только калий почвенного раствора (Tisdale et al., 1985). Поглощение калия растениями, в свою очередь, зависит от многих факторов - особенностей культуры, а также факторов

окружающей среды (Tisdale et al., 1985; Marschner, 1995; Brady and Weil, 1999). Например, оптимальная влажность почвы способствует диффузии ионов калия к корням растений, на долю которой приходится обычно более 75% от общей миграции почвенного калия. Массопоток, который тоже вносит некоторый вклад в миграцию калия в почве, также требует достаточного содержания почвенной влаги. Скогли и Хаби (Skogley and Naby, 1981) обнаружили, что повышение влажности почвы с 10 до 28% приводило к увеличению общей миграции калия более чем вдвое. Поэтому недостаток почвенной влаги может ограничивать миграцию калия в почве, а также его поглощение растениями, и, таким образом, приводит к дефициту калия у растений.

Свойства почвы также сильно влияют на доступность калия растениям. Например, глинистые почвы могут иметь высокую K-фиксирующую способность и, следовательно, отзывчивость растений на внесение калийных удобрений на таких почвах может быть низкой, потому что большая часть доступного калия быстро связывается глинистыми минералами (Tisdale et al., 1985; Brady and Weil, 1999). Таким образом, фиксация калия почвой может способствовать снижению его потерь от вымывания и создавать запас почвенного калия, который может быть использован последующими культурами в долгосрочной перспективе. С другой стороны, песчаные почвы обычно имеют низкую калийснабжающую способность из-за низкой емкости



Таблица 1. Обзор публикаций по влиянию калия на показатели качества плодов в зависимости от культуры, способа внесения и вида калийного удобрения

Культура	Способ внесения	Вид удобрения ^а	Показатели качества, которые улучшались ^б	Источник ^в
Яблоня (<i>Malus X domestica</i>)	в почву	KCl	цвет, твердость, сахаристость	Nava (2009)
		K ₂ SO ₄	размер, цвет, твердость, сахаристость	El-Gazzar (2000)
		K ₂ SO ₄	урожайность, твердость, сахаристость	Attala (1998)
Яблоня	внекорневое	неизвестна	размер, цвет, твердость, сахаристость	Wojcik (2005)
		KCl	без изменений	Hassanloui (2004)
Банан (<i>Musa sp.</i>)	в почву	неизвестна	качество	Naresh (1999)
		KCl	размер, сахаристость, содержание кислот	Suresh (2002)
Апельсин (<i>Citrus sinensis</i>)	внекорневое	KCl, KNO ₃	без изменений	Haggag (1990)
		неизвестна	урожайность, качество	Dutta (2003)
		K ₂ SO ₄	качество	Shawky (2000)
Мандарин (<i>Citrus reticulata</i>)	в почву	неизвестна	урожайность, качество	Lin (2006)
		неизвестна	лежкость, качество	Srivastava (2001)
Мандарин (<i>Citrus reticulata</i>)	внекорневое	KCl > KNO ₃	толщина кожицы, качество	Gill (2005)
Огурец (<i>Cucumis sativus</i>)	в почву	K ₂ SO ₄ > KCl	содержание аминокислот, «качество»	Guo (2004)
		KCl	без изменений	Umamaheswarappa (2004)
Огурец	внекорневое	KCl > KNO ₃	устойчивость к болезням, «качество»	Magen (2003)
Виноград (<i>Vitis vinifera</i>)	в почву	K ₂ SO ₄	вкусовые качества, «качество»	Sipiora (2005)
Гуава (<i>Psidium guajava</i>)	в почву	неизвестна	урожайность, вес, «качество»	Ke (1997)
Гуава	внекорневое	K ₂ SO ₄ > KCl	кислотность, качество	Dutta (2004)
Киви (<i>Actinidia deliciosa</i>)	в почву	K ₂ SO ₄ > KCl	твердость, содержание кислот, сорт продукции	He (2002)
Личи (<i>Litchi chinensis</i>)	внекорневое	KNO ₃	вес, урожайность	Ashok (2004)
Манго (<i>Mangifera indica</i>)	в почву	KNO ₃	без изменений	Simoes (2001)
Манго	внекорневое	KNO ₃	нет эффекта	Rebolledo-Martinez (2008)
		неизвестна	структура, аромат, цвет, лежкость	Shinde (2006)
Мускусная дыня (<i>Cucumis melo</i>)	в почву	неизвестна	урожайность	Demiral (2005)
Мускусная дыня	внекорневое	Хелатный комплекс К с глицином	твердость, содержание витаминов	Lester (2005)
		Хелатный комплекс К с глицином > KCl	твердость, сахаристость, содержание витаминов	Lester (2006)
		Хелатный комплекс К с глицином = K ₂ SO ₄ > KCl > KNO ₃	твердость, содержание витаминов, сахаристость, урожайность, товарные качества	Jifon (2009)
Нектарин (<i>Prunus persica</i>)	в почву	неизвестна	твердость, лежкость, устойчивость к растрескиванию	Zhang (2008)
Окра (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	внекорневое	нафтенат К	содержание хлорофилла, протеина, каротина	Jahan (1991)
Маракуйя (<i>Passiflora edulis</i>)	гидропоника	K ₂ SO ₄	урожайность, число семян, «качество»	Costa-Araujo (2006)
Папайя (<i>Carica papaya</i>)	в почву	неизвестна	«качество», вес, сахаристость	Ghosh (2007)
Груша (<i>Pyrus communis</i>)	в почву	K ₂ SO ₄	без изменений	Johnson (1998)
Фалса (<i>Grewia subinaequalis</i>)	внекорневое	K ₂ SO ₄	размер, вес, «качество»	Singh (1993)
Стручковый перец (<i>Capsicum annum</i>)	в почву	KCl	почти без изменений	Hochmuth (1994)
		K ₂ SO ₄	жгучесть, качество	Ananthi (2004)
		K ₂ SO ₄ > KNO ₃	жгучесть, урожайность, вес	Golcz (2004)
		K ₂ SO ₄	«качество»	El-Masry (2000)
Стручковый перец	гидропоника	KNO ₃	без изменений	Flores (2004)
Ананас (<i>Ananas comosus</i>)	в почву	KCl	содержание витамина С, устойчивость к внутреннему побурению	Herath (2000)
Гранат (<i>Punica granatum</i>)	внекорневое	K ₂ SO ₄ > KCl	рост, урожайность, «качество»	Muthumanickam (1999)

Таблица 1. Обзор публикаций по влиянию калия на показатели качества плодов в зависимости от культуры, способа внесения и вида калийного удобрения (продолжение)

Культура	Способ внесения	Вид удобрения ^а	Показатели качества, которые улучшались ^б	Источник ^в
Клубника (<i>Fragaria X ananassa</i>)	в почву	KCl	без изменений	Albregts (1996)
	фертигация	KCl >KNO ₃	«качество»	Ibrahim (2004)
Клубника	гидропоника	K ₂ SO ₄	урожайность, общее качество	Khayyat (2007)
Томат (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	в почву	KCl	ликопин	Taber (2008)
		K ₂ SO ₄	«качество»	Si (2007)
		K ₂ SO ₄	урожай, скороспелость, «качество»	Hewedy (2000)
Томат	фертигация/гидропоника	KCl >KNO ₃	внешний вид, «качество»	Chapagain (2003)
		KCl >KNO ₃	урожайность, «качество»	Chapagain (2004)
		K ₂ SO ₄	содержание каротиноидов витамина E	Fanasca (2006)
		неизвестна	содержание антиоксидантов	Li (2006)
		неизвестна	содержание ликопина, «качество»	Yang (2005)
Томат	внекорневое	неизвестна	рост, содержание протеина, витамина C и кислот, сахаристость	Li (2008)
Листовые овощи	в почву	K ₂ SO ₄ > KCl	содержание сухих веществ и витамина C	Ni (2001)
Арбуз (<i>Citrullus lanatus</i>)	в почву	KCl	без изменений	Locascio (2002)
		KCl	без изменений	Perkins-Veazie (2003)

^а По своему действию формы удобрений расположены по убыванию (разделены знаком >).

^б Слово «качество» означает, что авторы не указали конкретных показателей или их было слишком много.

^в Для краткости указан только первый автор.

катионного обмена.

Карбонатные почвы обычно имеют высокое содержание ионов кальция (Ca²⁺), которые преобладают на поверхности глинистых минералов и других обменных позициях почвенного поглощающего комплекса (ППК). Хотя это может ограничивать сорбцию калия и повышать его содержание в почвенном растворе, высокие концентрации других катионов, особенно Ca²⁺ и Mg²⁺, препятствуют поглощению калия корнями растений из-за конкуренции за обменные центры на поверхности корней, связывающие ионы из почвенного раствора. Следовательно, у сельскохозяйственных культур, выращиваемых на карбонатных почвах, признаки недостатка калия могут проявляться даже в том случае, когда результаты почвенных анализов свидетельствуют о достаточной обеспеченности почвы доступным калием (Navlin et al., 1999).

Поглощение калия также зависит от биологических факторов – генетических особенностей возделываемой культуры и стадии развития (фаза вегетативного роста по сравнению с репродуктивной; Rengel et al., 2008). У многих плодоносящих видов поглощение калия происходит, главным образом, в фазу вегетативного роста, когда большие запасы углеводов доступны для процессов роста корней и поглощения. Конкуренция за продукты фотосинтеза между развивающимися плодами и вегетативными органами в репродуктивную фазу может ограничивать рост и активность корней, а также поглощение калия из почвы. В таких условиях внесение калийного удобрения в почву может оказаться недостаточной мерой для коррекции дефицита калия у растений, вызванного их интенсивным развитием, в том числе из-за снижения роста и активности корней во время репродуктивного развития, а также из-за конкуренции других катионов за обменные центры на корнях, связывающие ионы из почвенного раствора

(Marschner, 1995).

В работе, опубликованной в журнале *Better crops with Plant Food* и других журналах (Lester et al., 2005, 2006, 2007), показано, что внекорневая подкормка калийными удобрениями улучшала как товарные качества мускусной дыни, повышая ее твердость и сахаристость, так и важные для здоровья человека показатели качества продукции, увеличивая содержание аскорбиновой кислоты и бета-каротина. При этом повышалось и содержание обменного K в почве, которое соответствовало высокому уровню обеспеченности растений. Тем не менее, опубликованные в литературе данные о действии калийных удобрений на качество плодоовощной продукции противоречивы из-за того, что и почвенное, и внекорневое внесение разных форм калийных удобрений изучались в разных почвенно-климатических условиях (сезонах) при разных сроках и кратности внесения. В настоящем обзоре обобщены результаты опубликованных работ по действию калийных удобрений на качество продукции ряда плодовых, ягодных, овощных и бахчевых культур. При этом особое внимание уделяется сравнению эффективности разных видов калийных удобрений, а также способов их внесения (внесение в почву, внекорневые подкормки).

Сравнение эффективности различных видов калийных удобрений

Хотя опубликовано много работ, в которых описаны примеры положительного эффекта от применения калийных удобрений на устойчивость растений к болезням, а также урожайность, вес, твердость, сахаристость, вкусовые качества, лежкость плодов и содержание биологически активных полезных для человека веществ в плодах, противоположные примеры тоже описаны в научной литературе (табл. 1). Эти



Д-р Лестер проверяет растения мускусной дыни в вегетационном опыте в теплице. Точная настройка режима питания растений - важное условие для повышения качества плодов (вставка)

противоречивые результаты нельзя не принимать во внимание, однако их можно объяснить различиями в способе внесения калийных удобрений (например, внесение в почву в сравнении с внекорневыми подкормками, фертигацией или гидропоникой) и особенностями действия разных видов калийных удобрений (например, KCl , K_2SO_4 , KNO_3 , хелатный комплекс калия с глицином).

Обзор публикаций, охватывающих последние 20 лет, представлен в **табл. 1**. Результаты подавляющего большинства рассматриваемых исследований показали, что внесение калийных удобрений оказывает положительное влияние на некоторые показатели качества плодов. Однако восемь работ, включая изучение действия калийных удобрений на качество яблок (Hassanloui, et al., 2004), огурцов, (Umamaheswarappa and Krishnappa, 2004), манго (Rebolledo-Martinez et al., 2008), груш (Johnson et al., 1998), сладкого перца (Hochmuth et al., 1994), клубники (Albregts et al., 1996) и арбузов (Locascio and Hochmuth, 2002; Perkins-Veazie et al., 2003), отличаются своими выводами. Эти авторы не обнаружили никаких или почти никаких изменений (т.е. улучшений) в качестве плодов при применении калийных удобрений. Интересно, что, за исключением исследований на деревьях яблони, общим для всех вышеуказанных работ является прямое внесение калийных удобрений в почву и часто скудная информация о сроках их внесения, а также физических и химических свойствах почвы. Однако эти факторы могут влиять на доступность элементов питания в почве и их поглощение растениями, а внесение калийных удобрений в почву в некоторых условиях может не влиять или оказывать незначительное влияние на поглощение калия, а также урожайность и качество плодов (Tisdale et al., 1985; Brady and Weil, 1999).

В ряде работ (например, исследования качества огурцов, манго и мускусной дыни) по сравнению внесения в почву и внекорневых подкормок калийными удобрениями показано, что последний способ привел к достоверному улучшению показателей качества плодов. В то же время внесение удобрений в почву

обычно имело незначительный эффект или вообще не оказывало никакого влияния на качество продукции (табл. 1) (Demiral and Koseoglu, 2005; Lester et al., 2005, 2006; Jifon and Lester, 2009).

Более того, в работах, в которых изучалось действие различных видов калийных удобрений, положительный эффект зависел от вида удобрения. Например, Джифон и Лестер (Jifon and Lester, 2009) показали, что внесение в почву или внекорневые подкормки нитратом калия (KNO_3) во второй половине вегетации слабо влияют или вообще не оказывают никакого положительного эффекта на товарный вид плодов и содержание в них полезных для человека питательных веществ. В некоторых случаях эти показатели были фактически хуже при внесении KNO_3 по сравнению с контрольными деланками опытов.

Настоящая статья показывает, что при рассмотрении вопроса о внесении калийных удобрений специалист-практик должен осознавать, что данных только почвенного анализа может быть недостаточно чтобы принять наиболее адекватное решение. Результаты почвенного анализа, разумеется, имеют важное значение и полезны при принятии решений, однако необходимо также учитывать и другие факторы: динамику потребности растений в калии, вид калийных удобрений и сроки внесения. Высокое содержание доступного для растений калия в почве не всегда гарантирует, что растения не будут отзывчивы на внесение калийных удобрений. Более того, в случае высокой потребности в калии во время формирования плодов внекорневая калийная подкормка может улучшить некоторые показатели качества плодов.

Д-р Лестер (gene.lester@ars.usda.gov) и д-р Макус - сотрудники Субтропического центра сельскохозяйственных исследований департамента сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США (USDAARS), Kika de la Garza, 2413 East Business Highway 83, Building 200, Weslaco, Texas 78596 USA. Д-р Джифон - сотрудник Исследовательского центра селекции плодовых и овощных культур «Агри-Лайф» в Техасе, «Texas A&M Систем», 2415 East Business Highway 83, Weslaco, Texas 78596 USA.



Литература

- Albregts, E.E., G.J. Hochmuth, C.K. Chandler, J. Cornell, and J. Harrison. 1996. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 164-168.
- Ananthi, S., D. Veeraragavathatham, K. Srinivasan. 2004. *South Indian Hort.* 52: 152-157.
- Ashok, K. and K. Ganesh. 2004. *Adv. Plant Sci.* 17: 519-523
- Attala, E.S. 1998. *Egyptian J. Agric. Res.* 76:709-719.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 9th Edition. Macmillan Publishing Company, New York. 750 p.
- Cakmak, I. 2005. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:521-530
- Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2004. *Sci. Hort.* 102:177-188
- Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2003. *Sci Hort.* 99: 279-288
- Chapagain, B.P., Z. Wiesman, M. Zaccai, P. Imas, and H. Magen. 2003. *J. Plant Nutr.* 26: 643-658.
- Cooke, D.L. and D.T. Clarkson. 1992. Plenum Press, N.Y. pp 75-208
- Costa-Araujo, R., C.H. Bruckner, H.E. Prieto-Martinez, L.C. Chamhum-Salomao, V.H. Alvarez, A. Pereira de-Souza, W.E. Pereira, and S. Hizumi. 2006. *Fruits.* 61:109-115
- Demiral, M.A. and A.T. Koseoglu. 2005. *J. Plant Nutr.* 28: 93-100
- Doman, D.C. and D.R. Geiger. 1979. *Plant Physiol.* 64:528-533.
- Dutta, P. 2004. *Orissa J. Hort.* 32: 103-104.
- Dutta, P., A.K. Chakroborty, and P.K. Chakroborty. 2003. *Ann. Agric. Res.* 24:786-788
- El-Gazzar, A.A.M. 2000. *Ann. Agric. Sci., Cairo.* 3(Special):1153-1160
- El-Masry, T.A. 2000. *Ann. Agric. Sci., Moshthohor.* 38:1147-1157
- Fanasca, S., G. Colla, Y. Rouphael, F. Saccardo, G. Maiani, E. Venneria, and E. Azzini. 2006. *HortScience.* 41:1584-1588
- Flores, P., J.M. Navarro, C. Garrido, J.S. Rubio, and V. Martinez. 2004. *J. Sci. Food Agric.* 84: 571-576.
- Geraldson, C.M. 1985. *Potassium nutrition of vegetable crops*. In Munson, R.D. (ed) *Potassium in Agriculture*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp 915- 927.
- Ghosh, S.N. and R.K. Tarai. 2007. *Indian J. Fert.* 3:47-49.
- Gill, P.S., S.N. Singh, and A.S. Dhatt. 2005. *Indian J. Hortic.* 62:282-284
- Golcz, A., P. Kujawski, and B. Politycka. 2004. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura.* (95):109-113.
- Guo, X.S., S.Y. Ye, W.J. Wang, H.B. Zhu, J. Xu, and L.S. Wu. 2004. *Plant Nutr. Fertilizer-Sci.* 10:292-297.
- Haggag, M.N. 1990. *Alexandria J. Agril. Res.* 1988. 33:157-167.
- Hassanloui M.R.D., M. Taheri, and M.J. Malakouti. 2004. *J. Agric. Eng. Res.* 5:71-84.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*. 6th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 499 p.
- He, Z.J., G.L. Zhang, G.W. Zhang, L. Ma, and Y. Tong. 2002. *J. Fruit Sci.* 2002 19:163-166.
- Herath, H.M.I., D.C. Bandara, and D.M.G.A. Banda. 2000. *Trop. Agric. Res.* 12:352-359.
- Hewedy, A.M. 2000. *Egyptian J. Agric. Res.* 78:227-244.
- Hochmuth, G., K. Shuler, E. Hanlon, and N. Roe. 1994. *Proc. Florida State Hort. Soc.* 107:132-139.
- Ibrahim, A., T. Abdel-Latif, and S. Gawish, and A. Elnagar. 2004. *Arab Universities J. Agric. Sci.* 12:469-48.
- Jifon, J.L. and G.E. Lester. 2009. *J. Sci. Food Agric.* 89:2452-2460.
- Jahan, N., Q.A. Fattah, and M.A. Salam. 1991. *Bangladesh J. Bot.* 20:163-168.
- Johnson, D.S., T.J. Samuelson, K. Pearson, and J. Taylor. 1998. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73:151-157.
- Kanai, S., K. Ohkura, J.J. Adu-Gyamfi, P.K. Mohapatra, N.T. Nguyen, H. Saneoka, and K. Fujita. 2007. *J. Exp. Bot.* 58:2917-2928.
- Ke, L.S. and W.D. Wang. 1997. *J. Agric. Assoc. China.* 179:15-29.
- Khayyat, M., E. Tafazolli, S. Eshghi, M. Rahemi, and S. Rajae. 2007. *Amer. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 2:539-544.
- Lester, G.E., J.L. Jifon, and W.M. Stewart. 2007. *Better Crops.* 91:(1)24-25.
- Lester, G.E., J.L. Jifon, and D.J. Makus. 2006. *HortScience.* 41:741-744.
- Lester, G.E., J.L. Jifon, and G. Rogers. 2005. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:649-653.
- Lester, G.E., Arias L. Saucedo, and Lim M. Gomez Lim. 2001. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:33-36.
- Li, R.H., D.B. Xu, and Q.W. Huang. 2008. *China Vegetables.* 6:17-20.
- Li, S., Y. Xu, W.S. White, S. Rodermel, and H. Taber. 2006. *FASEB J.* 20(5, Part 2):A1059.
- Lin, X.Y, Y.S. Zhang, M.Z. Cai, Y.P. Zhang, G. Li, and X.E. Yang. 2006. *Plant Nutr. Fertil. Sci.* 12:82-88.
- Locascio, S.J. and G.J. Hochmuth. 2002. *HortScience.* 37:322-324.
- Magen, H., P. Imas, Y. Ankorion, and A. Ronen. 2003. *Proc. Int. Fertil. Soc.* (524):13-24.
- Marschner, H. 1995. *Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients*, p. 299-312.
- In: H. Marschner (ed.). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Edition. Academic Press, N.Y.
- Muthumanickam, D. and G. Balakrishnamoorthy. 1999. *South Indian Hort.* 47:152-154.
- Naresh, B. 1999. *Bioved.* 10:39-42
- Nava, G., A. Roque-Dechen, and G. Ribeiro-Nachtiga. 2008. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:96-107.
- Ni, W.Z., J.S. Liang, and R. Hardter. 2001. *Pedosphere.* 11:251-255.
- Perkins-Veazie, P., W. Roberts, and K. Perez. 2003. *Hortscience.* 38:816-817.
- Pettigrew, W.T. 2008. *Physiol. Plant.* 133:670-681.
- Rebolledo-Martinez, A., A. Lid-del-Angel-Perez, and J. Rey-Moreno. 2008. *Interiencia.* 33:518-522.
- Rengel, Z., P.M. Damon, and I. Cakmak. 2008. *Physiologia Plantarum* 133:624-636.
- Shawky, I., A. Montasser, M. Nageib, L. Haggag, and M. Abd-El-Migeed. 2000.
- Effect of fertilization with potassium and some micronutrients on Navel orange trees. II - Effect on yield, fruit quality and juice mineral content.* In El-Sawy M, Francis RR, El-Borollosy MA, Hosni AM (ed) *Annals Agric Sci Cairo.* 3(Special): 1215-1226.
- Shinde, A.K., D.J. Dabke, B.B. Jadhav, M.P. Kandalkar, and M.M. Burondkar. 2006. *Indian J. Agric. Sci.* 76:213-217.
- Si, S.K.G., M. Bellal, and F. Halladj. 2007. *Acta Hort.* (758):269-274.
- Simoës, Ado-N, J.B. Menezes, S.E.V.D. Lima, J.F. Medeiros, G.F. Silva, D.F. Freitas. 2001. *Caatinga.* 14:31-35.
- Singh, H.K., K.S. Chauhan, and B.P. Singh. 1993. *Haryana J. Hort. Sci.* 22:276-279.
- Sipiora, M.J., M.M. Anderson, and M.A. Matthews. 2005. *Proc. Soil Environ. Vine Mineral Nutr. Symp. San Diego, CA, 29-30-June, 2004.* pp 185-192.
- Skogley, E.O. and V.A. Haby. 1981. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:533-536.
- Srivastava, A.K., A.D. Huchche, R. Lallan, and S. Shyam. 2001. *J. Potassium Res.* 17:93-97.
- Suresh C.P. and M.A. Hasan. 2002. *Res. Crops.* 3:398-402.
- Taber, H., P. Perkins-Veazie, S.S. Li, W. White, S. Rodermel, and Y. Xu. 2008. *HortScience.* 43:159-165.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil and Fertilizer Potassium*. Ch. 7 in S.L. Tisdale, W.L. Nelson, and J.D. Beaton (eds). *Soil Fertility and Fertilizers*, 4th ed. Macmillan, New York. 249-291.
- Umamaheswarappa, P. and K.S. Krishnappa. 2004. *Trop. Sci.* 44:174-176.
- Usherwood, N.R. 1985. *The role of potassium in crop quality*. In Munson, R.D. (ed). *Potassium in Agriculture* ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp 489-513.

Как оптимизация калийного питания растений помогает подавить развитие соевой тли

Т. Бруулсема, К. Ди Фонзо и К. Граттон

Соевая тля стала наиболее опасным насекомым-вредителем на Северо-Востоке и Среднем Западе Северной Америки. Зачастую она сильнее повреждает растения сои, которые испытывают недостаток калия, по сравнению с растениями, достаточно обеспеченными этим элементом питания. Недавние исследования в американских штатах Висконсин и Мичиган показали, что в ряде случаев, но не всегда, испытывающие недостаток калия растения сои больше страдают от повреждения тлей в сравнении с растениями, достаточно обеспеченными калием. Причиной этого могут быть различия в аминокислотном составе флоэчного сока растений.

Соевая тля (*Aphis glycines Matsumura*) – инвазивный вид насекомых, выявленный в США в 2000 г. Осмотр полей и наблюдения в штатах Висконсин и Мичиган (США) показали, что на многих полях из числа наиболее сильно зараженных соевой тлей у растений сои проявлялись также внешние признаки недостатка калия. В данной статье обобщены результаты недавних исследований по изучению взаимосвязей между уровнем калийного питания сои и интенсивностью заселения растений тлей. Целью исследований было установить, как оптимизация минерального питания растений помогает в борьбе с этим вредителем.

Штат Висконсин, 2001-2002 гг.

В мелкоделяночном полевом опыте с внесением калийного удобрения в разных дозах содержание калия в листьях сои и урожайность повышались с ростом содержания подвижного калия в почве (табл. 1), но статистически значимых различий в численности тли между вариантами опыта выявлено не было (Myers et al., 2005). Проводившиеся опрыскивания инсектицидом снижали численность тли и повышали урожайность сои, но статистически значимого взаимного влияния обработок инсектицидом и питания растений калием на данные показатели выявлено не было.



Увеличенная фотография тли (*Aphis glycines Matsumura*).
Фото К. Граттона

При этом численность тли и в первый, и во второй год указанного опыта была очень высокой – существенно выше, чем на полях фермеров. Например, в 2002 г. пиковая численность тли на необработанных инсектицидом делянках превысила 1600 особей/растение, а средняя пиковая численность данного вредителя, выявленная при обследовании полей сои в южной части штата Висконсин, составила 280 особей/растение. Возможно, из-за близкого расположения (<0.9 м) и небольшого размера делянок (3.0 x 7.0 м) растения, испытывавшие сильный недостаток калия, привлекали и служили источником пищи для больших популяций тли, что приводило к колонизации и достаточно обеспеченных калием растений. Таким образом, примененная разбивка делянок в данном полевом опыте могла мешать выявить взаимосвязи, которые, по-видимому, существуют в масштабах всего поля.

Штат Висконсин, 2003 г.

В 2003 г. в специальном лабораторном опыте была изучена плодовитость тли при питании на листьях сои, отобранных на опытном поле в Арлингтоне (штат Висконсин) со здоровых растений и растений с внешними признаками недостатка ка-

Таблица 1. Повышение содержания калия в листьях и урожайности сои с ростом содержания подвижного калия в почве: полевой опыт в Арлингтоне, штат Висконсин (среднее за 2001 и 2002 годы; адаптировано из Myers et al., 2005).

Подвижный калий ¹ , мг К/кг почвы	Содержание калия в листьях, %	Урожай зерна сои, т/га	
		С обработками инсектицидом	Без обработок инсектицидом
60	0.76	2.22	1.75
93	1.20	3.16	2.55
114	1.43	3.49	2.76

¹Для определения содержания подвижного калия в почве в штате Висконсин используется метод «Брей-1» ($0.03 M NH_4F + 0.025 M HCl$). Значения ниже 80 и выше 100 считаются, соответственно, низкими и высокими.