

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 флоэнного 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.



Лист сои при недостатке **калия** (слева) и здоровый лист. Лист сои, заселенный **тлей**.

лия. Количество личинок, приходящихся на одну взрослую особь, и скорость роста популяции были существенно выше при питании тли на листьях сои с низким содержанием калия (табл. 2). Подобное действие калия свидетельствует о том, что его недостаток у растений сои потенциально способствует более высокой скорости роста популяции тли. Однако в контролируемых лабораторных условиях исключается действие такого фактора, как естественные враги тли (хищники и паразиты), которые существуют в полевых условиях.

Механизм действия калия в вышеуказанном опыте не изучался, но, как отмечают другие исследователи, пищевой рацион тли формируется за счет растворимых аминокислот, а недостаток калия может вызывать увеличение концентрации этих аминокислот в растительных тканях.

Штат Висконсин, 2004 г.

В штате Висконсин в 2004 г., когда натиск вредителей был несильным, был проведен мониторинг численности соевой тли в производственных посевах (34 поля) при диапазоне содержания подвижного калия в почве от 80 до 200 мг К/кг почвы и выше (Myers and Gratton, 2006). Встречались и поля с почвами песчаного гранулометрического состава, а для них критическое содержание подвижного калия (верхний предел “низкого” класса обеспеченности) составляет уже 60 мг К/кг почвы. Скорость роста популяции тли на полях с песчаными почвами отрицательно коррелировала с содержанием подвижных форм К и Р в почве, а также с содержанием К, N, Р

и S в листьях растений. Однако пиковая плотность заселения растений тлей положительно коррелировала со всеми вышеуказанными почвенными и растительными показателями.

Проведенный в том же году полевой опыт по изучению действия разных уровней калийного питания на развитие тли показал, что при среднем классе обеспеченности почвы подвижным калием и выше снижалась скорость репродукции тли, замедлялась скорость роста популяции и уменьшалась пиковая численность естественной популяции тли (табл. 3). К листьям растений, незаселенных тлей, с помощью зажимов прикреплялись маленькие садки, что позволило в полевых условиях изучить численность потомства одной особи тли. Тля помещалась на лист сои в небольшое ограниченное пространство, изолированное от других тлей и защищенное от хищников.

Неясны причины того, почему в 2001 и 2002 гг. численность тли не снизилась при более высоком содержании подвижного калия в почве (табл. 1), как это произошло в 2004 г (табл. 3). Данное обстоятельство может быть связано с меньшим натиском вредителей в 2004 г., что и позволило выявить влияние минерального питания растений на развитие тли. Высокая же численность тли, наблюдавшаяся в 2001-2002 гг., не дала этого сделать. При этом размер делянок в 2004 г. был таким же, как и в более ранних опытах.

Штат Мичиган, 2003-2004 гг.

В юго-западной части штата Мичиган в середине августа 2003 и 2004 годов были обследованы производственные посева сои (5-8 полей) с выявленными внешними признаками недостатка калия у растений (Walter and DiFonzo, 2007). В пределах каждого поля выделялось 2 участка: один выбирался в центре области с внешними признаками сильного недостатка калия у растений, а другой – в ближайшей части поля, где растения не проявляли признаков недостатка калия. На каждом из этих участков отбирались образцы почвы, проводился сбор флоэмного сока растений, а также определялась численность

Таблица 2. Ускоренное размножение тли на листьях сои с низким содержанием калия: лабораторный опыт, 2003 г. (адаптировано из Myers et al., 2005).

Подвижный калий, мг К/кг почвы	Содержание калия в листьях, %	Содержание калия в соке черешков листьев, мг К/кг	Плодовитость тли: количество личинок на одну взрослую особь, шт.	Скорость роста популяции тли
60	0.55	1000	68	0.48
160	1.68	2493	49	0.42

Таблица 3. Повышение содержания калия в листьях сои, снижение заселенности растений тлей и рост урожайности сои в результате увеличения содержания подвижного калия в почве до 113 и 142 мг К/кг почвы при внесении хлористого калия: полевой опыт в Арлингтоне, штат Висконсин, 2004 г. (адаптировано из Myers and Gratton, 2006).

Подвижный калий, мг К/кг почвы	Содержание калия в листьях, %	Маленькие садки		Численность тли в естественных условиях, особей/растение		Урожай зерна сои, т/га
		Плодовитость тли: количество личинок на одну взрослую особь, шт.	Скорость роста популяции тли	19 августа	26 августа	
60	1.50	42	0.31	107	251	1.61
113	2.40	27	0.28	56	72	3.16
142	2.40	26	0.27	54	72	3.09

Таблица 4. Повышенная численность естественной популяции тли на участках полей с выраженным недостатком калия у растений в первый год обследования: двухлетнее обследование полей в штате Мичиган, 2003 и 2004 годы (Walter and DiFonzo, 2007).

Наличие внешних признаков недостатка калия у растений на выделенных участках полей	2003		2004	
	Обменный калий ¹ , мг К/кг почвы	Численность тли, особей/лист	Обменный калий, мг К/кг почвы	Численность тли, особей/лист
+	15-65	174	28-83	3
-	22-83	103	38-83	3

¹Обменный калий, извлекаемый 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Значения ниже 75 и выше 100 считаются, соответственно, низкими и высокими.

Таблица 5. Развитие популяций тли: полевой опыт в округе Ван-Бюрен, штат Мичиган, 2004 г. (Walter and DiFonzo, 2007).

Доза K_2O , кг/га	Маленькие садки		Большие садки	
	14 июля		30 июня	15 июля
	Возраст тли при появлении первого поколения личинок, дней	Количество личинок на одну взрослую особь, шт.	Численность тли, особей/растение	
0	8.8	88	703	6858
157	11.0	71	233	2315

тли. И в первый, и во второй год обследований содержание обменного калия в почве было ниже на тех участках полей, где у растений сои проявлялись внешние признаки недостатка калия. В 2003 г. произошла вспышка численности вредителя, и плотность заселения растений тлей была выше также на участках полей, где наблюдались внешние признаки недостатка калия у растений (табл. 4). Численность тли в 2004 г. была крайне низка для того, чтобы выявить различия в плотности заселения растений этим вредителем.

В округе Ван-Бюрен (штат Мичиган) в 2004 г. был проведен полевой опыт в производственных посевах сои с низким содержанием обменного калия в почве. Исходное содержание обменного калия в почве составило 67 мг К/кг почвы, что свидетельствует о недостаточной обеспеченности почвы калием. Критический уровень для данной почвы (с ЕКО, равной 8.6 мг-экв/100 г) составляет 96 мг К/кг почвы. В опыте было два варианта: без внесения и с внесением калийных удобрений в дозе 157 кг K_2O /га. Опыт проводился в 5-ти кратной повторности, площадь делянки составила 6.1 x 36.6 м. Для наблюдения за репродуктивной способностью тли использовались маленькие садки и большие полевые садки.



Маленький садок для изучения роста и развития отдельных особей тли.

Маленькие садки, где в небольшом ограниченном пространстве тля была защищена от хищников, прикреплялись к листьям сои с помощью зажимов (как указывалось выше). Данные садки применялись для изучения роста и численности потомства одной особи тли. Большие садки представляли собой куб со стороной 1 м, и ими накрывалось по 10 растений. Данные садки также защищали помещенных внутрь тлей от хищников, но, в отличие от мелких садков, позволяли улетать появляющимся крылатым (летающим) особям.

В маленьких садках, установленных в первый раз – 10-го июня, различий в репродуктивной способности тли между вариантами опыта выявлено не было. В аналогичных садках, установленных во второй раз – 14-го июля, личинки тли появлялись раньше и в больших количествах на растениях сои, не получавших калийного удобрения, по сравнению с удобренными калием растениями (табл. 5). В больших садках заселение тлей проводилось 28-го мая из расчета одна особь/растение. Начиная с 30-го июня, в больших садках наблюдалось статистически значимое увеличение численности тли в варианте без внесения калийного удобрения.

Во всех опытах, проводившихся в Мичигане в 2003 и 2004 годах, были проанализированы образцы флоэмного сока растений. При этом определялось соотношение 18-ти незаменимых аминокислот без измерения их общего содержания во флоэмном соке. Была установлена обратная корреляция между относительной долей аминокислоты аспарагина и содержанием обменного калия в почве, в то время как для других аминокислот подобных зависимостей выявлено не было. Таким образом, содержание аспарагина в растительном соке повышалось при снижении содержания обменного калия в почве: при содержании обменного калия, равном 120 мг К/кг почвы, на долю аспарагина приходилось 3-10% от суммы аминокислот, а при 20 мг К/кг почвы доля аспарагина возрастала до 8-20%.

Аспарагин может играть критическую роль в питании тли азотом, поскольку тля обладает ограниченной способностью усваивать азотсодержащие соединения. Вейбулл (Weibull, 1988) отмечал, что растительный сок наиболее устойчивых к тле



Большие садки (с защитой тли от хищников), которые были использованы для определения скорости роста популяции тли на растениях сои, испытывавших недостаток калия (в варианте без внесения калия в почву) и получивших калийное удобрение. Юго-запад штата Мичиган, июль 2003 г.

образцов овса и ячменя содержит относительно мало аспарагина. Как указывали Ричардс и Бернер (Richards and Berner, 1954), недостаток калия вызывает повышение содержания аспарагина в листьях ячменя. Баркер и Брэдфилд (Barker and Bradfield, 1963) сообщали, что увеличение концентрации калия в питательном растворе приводит к снижению содержания свободных аминокислот, особенно аспарагина, в молодых проростках кукурузы.

Считается, что тля получает весь свой рацион азота за счет аминокислот, транспортируемых с флоэмным соком растений. Как известно, в процессе пищеварения у тли не используются протеиназы, возможно потому, что во флоэмном соке обычно высоко содержание ингибиторов протеиназ и крайне низка концентрация белков. По этой причине растительные белки являются плохим источником азота для тли. По сообщению Годфрея и Хатчмахера (Godfrey and Hutchmacher, 1999), внесение калия под хлопчатник в штате Калифорния (США) в дозах от 112 до 224 кг K_2O /га оказывало “умеренное отрицательное влияние как на срок развития генерации тли, так и на ее плодовитость.” Таким образом, по мере усиления стресса, вызванного недостатком доступного калия в почве, растения реагируют выделением во флоэму большего количества свободных аминокислот, таких как аспарагин. Это делается для того, чтобы уравновесить осмотический дисбаланс в растениях. Тля же использует эти свободно перемещаемые и легкоусваиваемые азотсодержащие соединения с выгодой для себя – она быстрее развивается и дает больше потомства в расчете на одну самку. Это приводит к более быстрому росту численности тли и, в конечном итоге, к более высокой плотности заселения растений тлей, что увеличивает потери урожая.

Выводы

С учетом содержания стандартно определяемых подвижных и доступных форм калия в почвах штатов Висконсин и Мичиган повышение численности тли на соевых полях наблюдалось только в тех случаях, когда содержание данных форм калия опускалось до минимальных значений, и было значительно

ниже уровней, рекомендованных при возделывании сои. Почвенное обследование, проведенное в 2005 г., показало, что медианные значения содержания обменного калия в вышеуказанных штатах составили, соответственно, 125 и 149 мг К/кг почвы. При этом доля почв с содержанием обменного калия ниже 80 мг К/кг почвы оценивалась примерно в 10-15%.

Хотя результаты, полученные в штатах Висконсин и Мичиган, и свидетельствуют о сильном влиянии на развитии соевой тли такого фактора, как питание растений сои калием, это отнюдь не означает, что достаточная обеспеченность растений этим элементом питания может гарантировать стопроцентную защиту от соевой тли. Численность тли контролируется еще и естественными врагами, такими как хищная коровка хармония (*Harmonia axyridis* Pall.), а также паразитами. Это примеры трофических факторов, подавляющее действие которых на тлей проявляется с разной силой в зависимости от условий конкретного года и региона, в сравнении с факторами, связанными с минеральным питанием растения-хозяина. Заселение растений тлей может происходить и при достаточном уровне калийного питания растений.

Тем не менее, предотвращение недостатка калия у растений – это, по крайней мере, одна из мер защиты от тли и страховка от потери урожая из-за повреждения этим потенциально опасным вредителем, которое к тому же является и переносчиком вирусных и грибных болезней растений. С практической точки зрения это означает, что при возделывании сои необходимо поддерживать плодородие почвы по калию на рекомендуемом уровне, поскольку это является составной частью интегрированной системы защиты растений от соевой тли.

Д-р Граттон – адъюнкт-профессор кафедры энтомологии Университета Висконсина (г. Мадисон, США).
Д-р Ди Фонзо – профессор кафедры энтомологии Университета штата Мичиган (г. Ист-Лансинг, США).
Д-р Бруулсема – Директор Международного института питания растений по Северо-Восточному региону Северной Америки (г. Гуэльф, провинция Онтарио, Канада); e-mail: tom.bruulseta@ipni.net.

Литература

- Barker, A.V. and R. Bradfield. 1963. *Agron. J.* 55(5): 465-470
- Godfrey, L.D. and R. Hutchmacher. 1999. http://www.cdffa.ca.gov/is/folders/completed_projects.html
- Myers, S.W., C. Gratton, R.P. Wolkowski, D.B. Hogg, and J.L. Wedberg. 2005. *J. Econ. Entomol.* 98: 113-120.

- Myers, S.W. and C. Gratton. 2006. *Environ. Entomol.* 35: 219-227.
- Richards, F.J. and E. Berner, Jr. 1954. *Annals of Botany* 18: 15-33.
- Walter, A.J. and C.D. DiFonzo. 2007. *Environ. Entomol.* 36(1)26-33.
- Weibull, J. 1988. *Phytochemistry* 27: 2069-2072.

Перевод с английского и адаптация: В.В. Носов.

Применение и эффективность калийных удобрений в Китае

Фан Чен, Пинг Хе, Шутуан 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 соавторами (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 большого 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 калийных 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 пропагандировалось 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

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.