

применении возрастающих доз азотных удобрений происходит снижение объемов дренажного стока за счет усиления роста растений и, следовательно, водопотребления. Это оказывает большее влияние на потери азота, чем повышение содержания минерального азота в почве при внесении азотных удобрений. Соответственно, была получена тесная обратная зависимость между чистой прибылью и «фактором потерь растворенного N» (рис. 2). Мы провели количественную оценку уровня устойчивости агроценозов, разделив чистую прибыль на «фактор потерь растворенного N», и выработали ряд рекомендаций и пояснений по используемым агротехнологиям для возможных сценариев возделывания пшеницы (табл. 2).

Результаты данной работы предполагают, что гибкий подход к применению азотных удобрений с целью повышения чистой прибыли способствует также и улучшению показателей устойчивости агроценозов.

Д-р Нэш¹ (e-mail: david.nash@depi.vic.gov.au), Р. Харрис² и П. Риффкин² – исследователи Департамента базовых отраслей промышленности и окружающей сре-

ды штата Виктория (¹г. Эллингтон, ²г. Гамильтон), штат Виктория (Австралия). А. Блэкберн – консультант, «Алан Блэкберн и Партнеры», г. Гилонг, штат Виктория.

К. Ничолсон – консультант, «Никон Рурал Сервисиз» (Nicon Rural Services), г. Квинслиффе, штат Виктория. М. Макдональд – генеральный директор, Южные системы земледелия, г. Инверлейг, штат Виктория.

Данная статья представляет собой сокращенную версию следующей публикации: Nash, D, P. Riffkin, R. Harris, A. Blackburn, C. Nicholson and M. McDonald, 2013. *Europ. J. Agronomy*, 47, 23-32.

Литература

Keating, B.A. et al. 2003. *European Journal of Agronomy* 18, 267-288.

Nash, D.M. et al. 2010. *Journal of Environmental Quality* 39, 1699-1710.

Zadoks, J.C. et al. 1974. *Weed Research* 14, 415-421.

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

Управление азотным питанием кукурузы при высокой густоте стояния растений в широкорядных и узкорядных посевах

К.Р. Крозиер, Р.Дж. Гехль, Д.Х. Харди и Р.В. Хейнигер

Полевые опыты по установлению оптимальной ширины междурядий при выращивании кукурузы, проведенные в течение 3-х лет в штате Северная Каролина (США), показали, что урожайность зерна достоверно повышается при узкорядном способе посева и проведении азотных подкормок по сравнению с другими изученными комбинациями между шириной междурядий и сроками внесения азотных удобрений. Относительная урожайность зерна в результате применения азотных удобрений повышалась на 19% за счет улучшения показателей структуры урожая: число рядов зерен в початке увеличивалось на 3%, число зерен в ряду – на 17%, а масса зерновки – на 8%.

Согласно практическому руководству, опубликованному в 1988 г., густота стояния растений кукурузы должна составлять 50 тыс. растений/га в богарных условиях и 60 тыс./га при орошении (Olson и Sander, 1988). Однако результаты недавно проведенных исследований свидетельствуют о положительных результатах при увеличении густоты стояния растений вплоть до 93.1 тыс./га (Novacek и др., 2013). Чтобы не усиливать конкуренцию между растениями в рядах, посевы можно загустить за счет уменьшения ширины междурядий. При узкорядном способе возделывания кукурузы затруднено проведение технологических операций, включая междурядную подкормку азотом. Цель нашей работы состояла в том, чтобы определить оптимальные дозы и сроки внесения азота при высокой густоте стояния растений кукурузы. Урожайность зерна и структура урожая (число рядов зерен в початке, число зерен в ряду и масса зерновки) изучались при широкорядном (76-102 см) и узкорядном (38-51 см) способах возделывания кукурузы.

Отзывчивость кукурузы на азотные удобрения изучалась в 13-ти полевых опытах, проведенных в следующих частях штата Северная Каролина (США):

Тайдвоуер, Прибрежная равнина, Пьемонт и Горный регион. Стартовое ленточное внесение ЖКУ в дозе по азоту 6.7 кг N/га (46.7 л/га ЖКУ состава 11-37-0) служило фоном во всех опытах, за исключением опыта в округе Перкуиманс в 2011 г., где было внесено вразброс 56 кг N/га. Схема опытов включала варианты с внесением возрастающих доз азота (0, 44.8, 89.6, 134.4, 179.2 и 224.0 кг N/га). Как при широкорядном, так и при узкорядном посеве азот вносили двумя способами: при посеве и в междурядную подкормку (между фазами 5-ти и 7-ми листьев). Расстояние между семенами в ряду и ширина междурядий представлены в табл. 1. Оптимальная густота стояния растений по округам штата Северная Каролина зависит от конкретных почвенно-климатических условий. Высокая густота стояния растений, заданная в наших исследованиях, в 1.5 раза превышает ранее сделанные рекомендации для данного штата (Heiniger, 2004).

Полевые опыты были заложены по методу расщепленных делянок: делянки первого порядка – варианты с различной шириной междурядий. Сеялки настраивались таким образом, чтобы получить примерно равную густоту стояния растений как при

Таблица 1. Планируемая густота стояния растений, ширина междурядий и расстояние между семенами в ряду в опытах.

Регион (количество опытов)	Округ (год)	Планируемая густота стояния растений, тыс./га	Узкорядный посев		Широкорядный посев	
			Ширина междурядий	Расстояние между семенами в ряду	Ширина междурядий	Расстояние между семенами в ряду
Тайдвотер (5)	Памлико (2010, 2011, 2012) Тиррелл (2011) Пасквотенк (2012)	92.6	51	21.3	102, 91	10.7, 11.7
Прибрежная равнина (3)	Перкуиманс (2010, 2011, 2012)	83.3	51	23.6	102	11.7
Пьедмонт (2)	Юнион (2010, 2011)	74.1	38	35.3	76	17.8
Горный регион (3)	Хендерсон (2010, 2011, 2012)	85.2	51	23.1	91	12.7

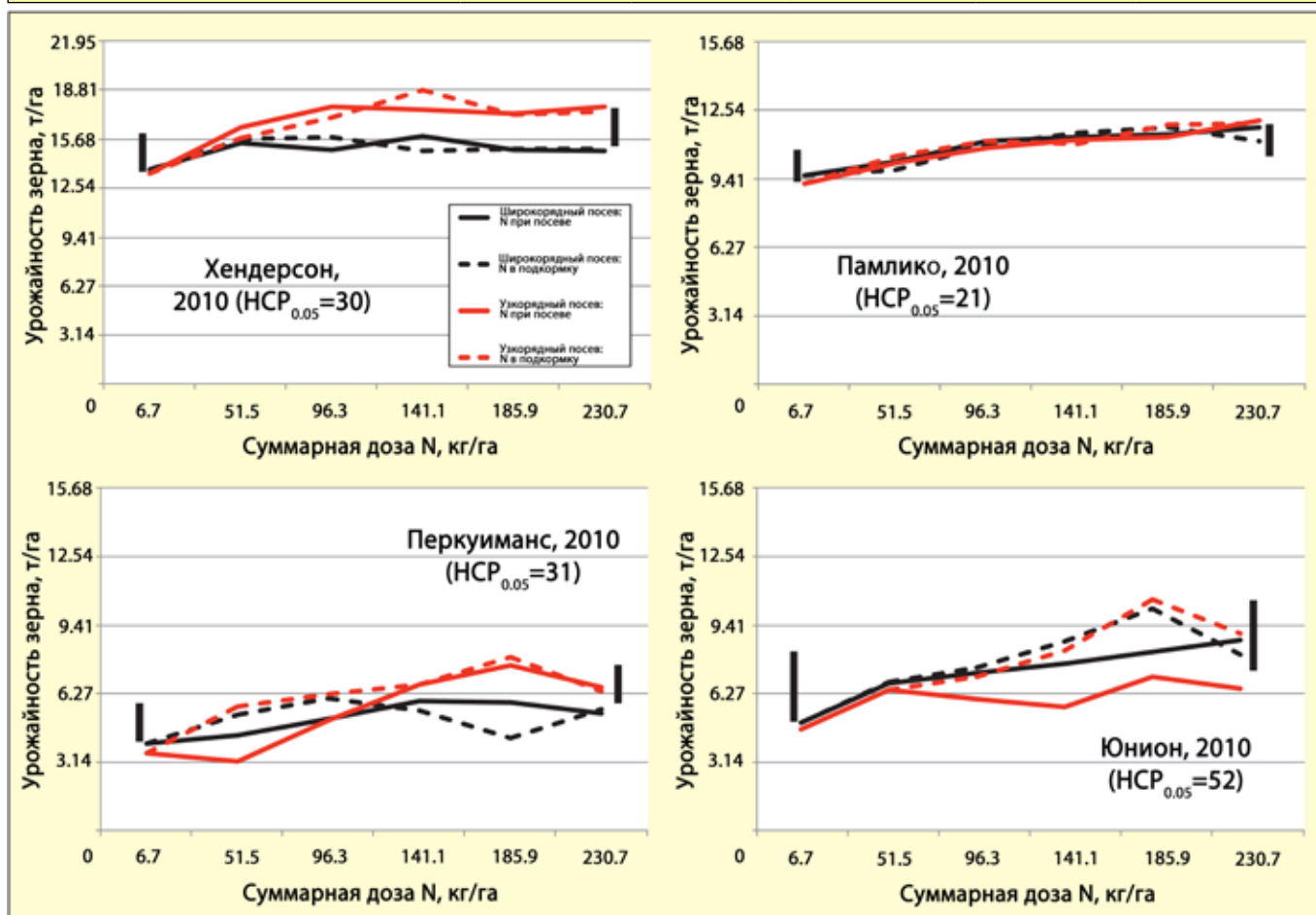


Рис. 1. Отзвчивость кукурузы на применение азотных удобрений в опытах, проведенных в 2010 г. Вертикальные столбцы показывают наименьшую существенную разность ($p < 0.05$) для сравнения средних значений по вариантам.



Способы посева кукурузы в опыте, проводившемся в Тайдвотере: широкорядный (102 см) и узкорядный (51 см).

широкорядном, так и при узкорядном посеве. Делянки второго порядка – разные системы применения азотных удобрений (дозы и сроки внесения). Размер делянок первого порядка зависел от используемого посевного агрегата. Минимальная длина делянок второго порядка составила 9.1 м. Они включали по 3-4 ряда растений при широкорядном способе посева и 6-8 – при узкорядном. Учет урожайности проводился вручную. Суммарная длина убираемых рядов составила 6.1 м при широкорядном способе посева и 12.2 м – при узкорядном. После обмолота початков зерно доводилось до стандартной влажности 15.5%. Структуру урожая определяли путем подсчета растений и початков на учетной площади делянки. Для

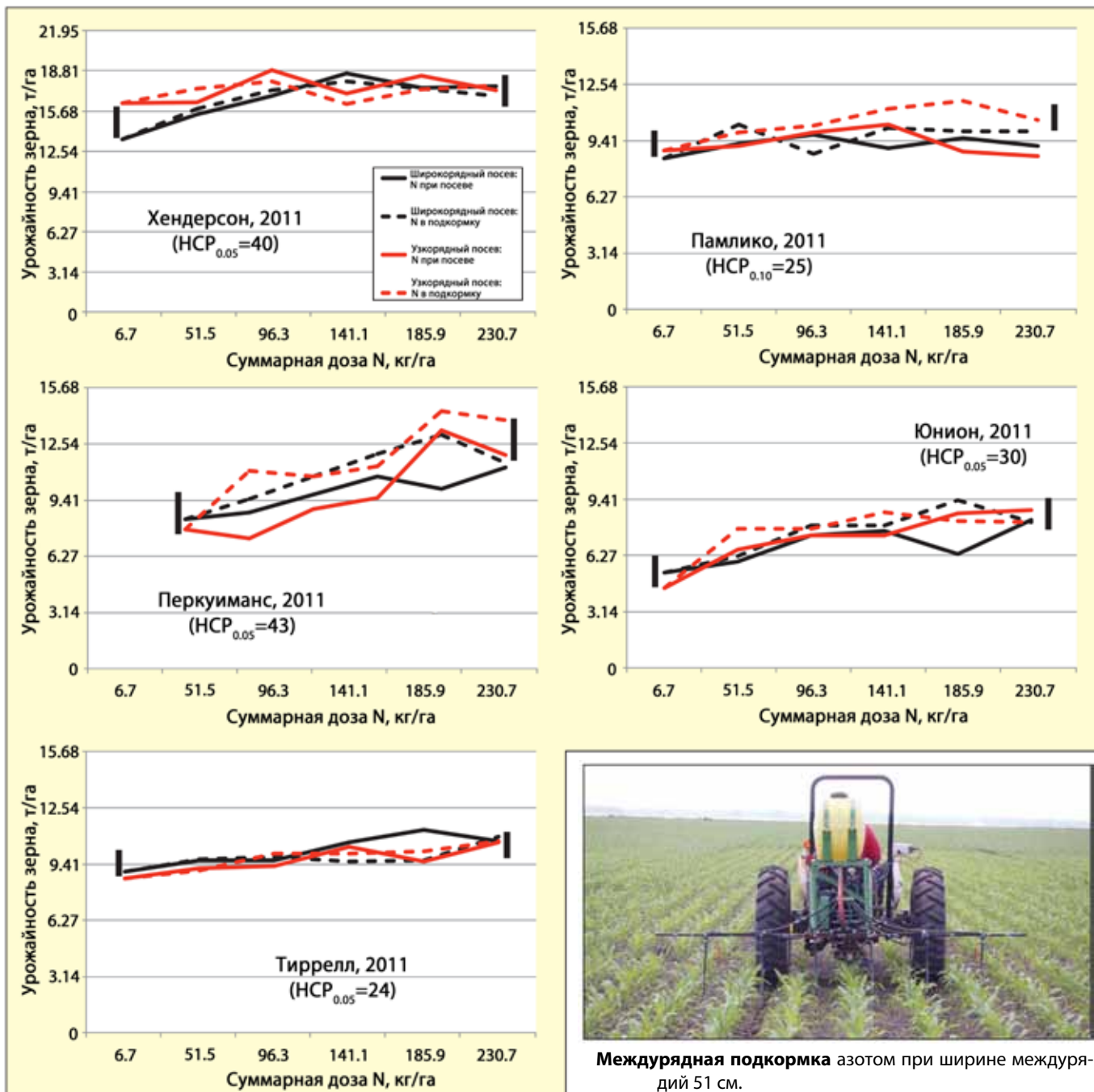


Рис. 2. Отзвчивость кукурузы на применение азотных удобрений в опытах, проведенных в 2011 г. Вертикальные столбцы показывают наименьшую существенную разность ($p < 0.05$) для сравнения средних значений по вариантам.

определения числа рядов зерен в початке, числа зерен в ряду и массы одной зерновки отбирали по 5 початков. При обобщении данных, полученных в разных округах, рассчитывалась относительная урожайность зерна в процентах от максимальной урожайности, которая была достигнута в каждом конкретном почвенно-климатических условиях. По каждому опыту был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) с использованием процедуры SAS Proc GLM¹ для расчета наименьшей существенной разности между средними значениями урожайности по вариантам при 5% (и 10%) уровне значимости. Для установления совместного влияния таких факторов, как дозы и сроки внесения азотных удобрений применялась процедура SAS Proc Mixed. При этом контрольные варианты

были исключены из анализа. В качестве фиксированных факторов рассматривались ширина междурядий, дозы и сроки внесения азота, а также взаимодействие между ними; а в качестве случайных – почвенно-климатические условия, включая взаимодействие с другими изученными факторами.

Урожайность зерна кукурузы показана на **рис. 1-3** (2010, 2011 и 2012 годы). Были выявлены существенные различия между округами в обеспеченности почвы минеральным азотом, а также в отзвчивости кукурузы на применение азотных удобрений. В **табл. 2** указаны факторы, оказавшие значимое влияние на структуру урожая и урожайность зерна кукурузы. Влияние такого фактора, как дозы внесения азотных удобрений рассматривается в **табл. 3**, где обобщена отзвчивость кукурузы на внесение возрастающих доз азота. В **табл. 4** показано взаимодействие двух других

¹ Обобщенный линейный анализ

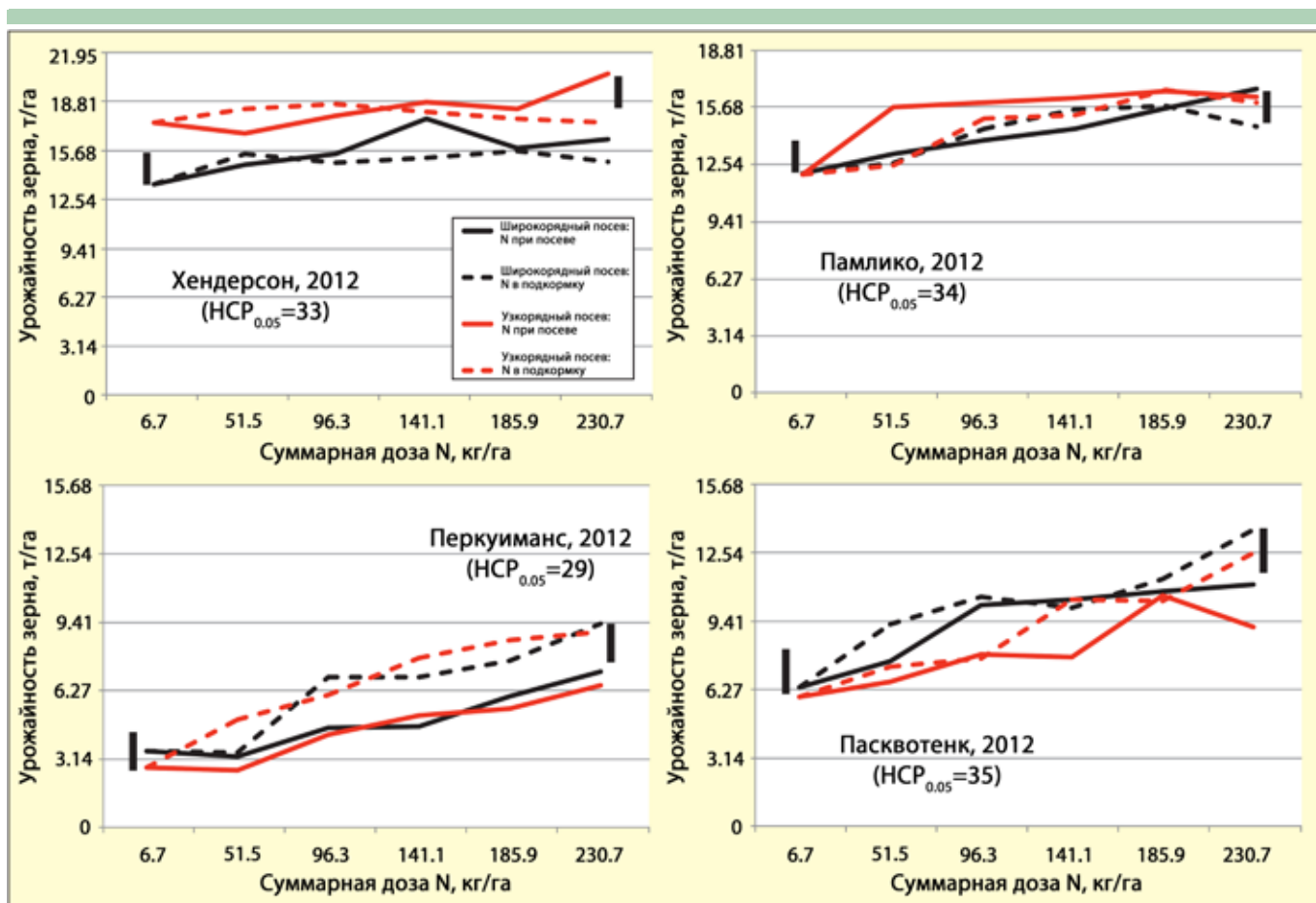


Рис. 3. Отзывчивость кукурузы на применение азотных удобрений в опытах, проведенных в 2012 г. Вертикальные столбцы показывают наименьшую существенную разность ($p < 0.05$) для сравнения средних значений по вариантам.

факторов – ширины междурядий и сроков внесения азотных удобрений. Было выявлено взаимодействие между различными факторами – по большей части между почвенно-климатическими условиями и другими изученными факторами. Это свидетельствует о том, что влияние элементов технологии на урожайность кукурузы зависело от места и года проведения опыта.

Усредненные опытные данные по отзывчивости кукурузы на возрастающие дозы азота для изученных способов посева и сроков внесения азотных удобрений свидетельствуют о том, что за счет оптимизации азотного питания растений относительная урожайность зерна повысилась на 19% по сравнению с вариантом с внесением минимальной дозы азота (табл. 3). Анализ структуры урожая показал, что данная прибавка урожайности не связана с изменением таких показателей, как густота стояния растений и количество початков на растении. Однако число рядов зерен в початке повышалось на 3%, число зерен в ряду – на 17%, а масса зерновки – на 8%. Таким образом, при внесении азотных удобрений элементы структуры урожая, которые формируются в более поздние фазы развития растений (число зерен в ряду и масса зерновки) изменялись в значительной большей степени, чем элементы структуры урожая, которые закладываются раньше (густота стояния растений, число початков на единицу площади, число рядов зерен в початке).

Анализ взаимодействия двух факторов – ширины междурядий и сроков внесения азотных удобрений свидетельствует о том, что азотная подкормка важна,

главным образом, при узкорядном способе возделывания кукурузы (табл. 4). Внесение азота в подкормку при этом повышало как число зерен в ряду, так и урожайность зерна по сравнению с припосевным внесением азота. В тоже время, при широкорядном способе возделывания кукурузы сроки внесения азота не имели принципиального значения. Усредненные опытные данные для всех изученных доз азота свидетельствуют о том, что относительная урожайность зерна была значимо выше при проведении азотной подкормки в узкорядных посевах. Это важный вывод, поскольку при узкорядном способе возделывания кукурузы затруднено проведение междурядных подкормок. Таким образом, они оправданы только при соответствующем приросте урожайности.

В тех случаях, когда было выявлено значимое влияние такого фактора, как сроки внесения азота (табл. 2), число зерен в ряду, масса зерновки и относительная урожайность зерна были выше при проведении междурядной подкормки по сравнению с припосевным внесением азотных удобрений. В штате Северная Каролина, согласно действующим рекомендациям, 25-30% азота необходимо внести при посеве кукурузы, а остальное количество – в междурядную подкормку. Данное идеальное соотношение не было использовано в наших опытах, поскольку это потребовало бы большего количества экспериментальных делянок. Кроме того, влияние сроков внесения удобрений легче всего оценивать именно при наиболее резких различиях в системе применения удобрений между вариантами опыта.

Таблица 2. Влияние изученных факторов на структуру урожая и урожайность зерна кукурузы: результаты дисперсионного анализа (ANOVA).

Фактор	Густота стояния растений	Число початков на единицу площади	Число рядов зерен в початке	Число зерен в ряду	Масса зерновки	Относительная урожайность зерна
Ширина междурядий (ШМ)			+			
Сроки внесения азота (Т)				*	*	*
Дозы азота (N)			**	***	***	***
ШМ x Т				*		*
ШМ x N						
Т x N		*				
ШМ x Т x N						
Почвенно-климатические условия (ПКУ)			***	***	***	**
ПКУ x ШМ		***		***	**	**
ПКУ x Т		*		+		**
ПКУ x N						*
ПКУ x ШМ x Т			**		*	
ПКУ x ШМ x N						
ПКУ x Т x N			**	+		*
ПКУ x ШМ x Т x N	*					

Достоверность различий: + (p<0.1); * (p<0.05); ** (p<0.01); *** (p<0.001). Пустые графы свидетельствуют об отсутствии достоверных различий (p>0.1).

Таблица 3. Влияние доз азотных удобрений на структуру урожая и урожайность зерна кукурузы (среднее для изученных способов посева и сроков внесения азота в опытах¹).

Доза N, кг/га	Относительная урожайность, % от максимальной	Число рядов зерен в початке, шт.	Число зерен в ряду, шт.	Масса одной зерновки, г
6.7	68	15.46	27.6	0.236
51.5	72 c	15.59 c	29.6 c	0.236 c
96.3	79 b	15.72 bc	31.2 b	0.243 b
141.1	83 ab	15.91 ab	32.0 ab	0.246 b
185.9	86 a	15.93 a	32.4 a	0.254 a
230.7	87 a	15.89 ab	32.1 ab	0.255 a
Прибавка ² , %	+19%	+3%	+17%	+8%

¹Разные буквы указывают на достоверные различия (p<0.05) между средними значениями относительной урожайности и показателей структуры урожая. Минимальная доза азота была исключена из статистического анализа (как и при анализе совместного влияния доз и сроков внесения азота).
²Максимальная прибавка относительно варианта с внесением минимальной дозы азота (6.7 кг N/га).

Таблица 4. Влияние ширины междурядий и сроков внесения азотных удобрений на число зерен в ряду и урожайность зерна кукурузы (среднее для изученных доз азота в опытах¹).

Способ посева	Сроки внесения азота	Относительная урожайность, % от максимальной	Число зерен в ряду, шт.
Узкорядный	При посеве	79 b ²	30.3 b
	В подкормку	86 a	31.9 a
Широкорядный	При посеве	78 b	31.6 a
	В подкормку	81 b	32.1 a

¹Минимальная доза азота была исключена при оценке влияния указанных факторов.
²Разные буквы указывают на достоверные различия (p<0.05).

Заключение

Узкорядный способ посева с проведением междурядной подкормки азотом позволяет получить максимальную урожайность зерна кукурузы. При использовании технологий возделывания кукурузы с высокой

густотой стояния растений крайне важно обеспечить достаточное поступление азота из почвы в поздние фазы развития растений, когда идет формирование таких элементов структуры урожая, как число зерен в ряду и масса зерновки. Проведение дополнительных полевых опытов по изучению форм и сроков внесения азотных удобрений должно способствовать разработке таких систем применения азотных удобрений, которые позволяли бы уменьшить стрессовое состояние растений, вызванное недостатком азота, во все фазы развития кукурузы.

Благодарности

Благодарим за поддержку Международный институт питания растений и Ассоциацию производителей кукурузы штата Северная Каролина.

Д-р Крозиер (e-mail: carl_crozier@ncsu.edu) – профессор (г. Плимут), д-р Гехль – ассистент-профессор (г. Миллз-Ривер) кафедры почвоведения Университета штата Северная Каролина (Северная Каролина, США).

Д-р Хейнигер – профессор кафедры растениеводства Университета штата Северная Каролина (г. Плимут).

Д-р Харди – руководитель Секции анализа почв, Отдел агрономического сервиса Департамента сельского хозяйства и потребительского рынка штата Северная Каролина (г. Роли).

Литература

Heiniger, R.W. 2004. NCSU. [http://www.ces.ncsu.edu/plymouth/cropsci/cornguide/\(verified Mar 4, 2013\)](http://www.ces.ncsu.edu/plymouth/cropsci/cornguide/(verified%20Mar%204,%202013)).

Novacek, M.J., S.C. Mason, T.D. Galusha, and M. Yaseen. 2013. *Agron. J.* 105:268-276.

Olson, R.A., and D.H. Sander. 1988. In, Sprague, G.F. and J.W. Dudley (eds.), *Corn and Corn Improvement*. 3rd Ed. Agronomy No. 18, ASA, Madison, WI. pp. 639-686.

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

Рациональные системы применения азотных удобрений под картофель

Л.Р. Ренс, Л. Зотарелли и Д. Кантлиффе

При снижении прибыльности растениеводства возрастает значение таких элементов агротехнологий, как дозы и сроки внесения азотных удобрений. Их проработка необходима и для уменьшения неблагоприятных последствий для окружающей среды. Оптимизация доз и сроков внесения азотных удобрений позволяет повысить эффективность использования азота растениями из удобрений и снизить потери азота от вымывания. Научно-исследовательским коллективом Университета штата Флорида (США) разрабатываются рациональные технологии возделывания картофеля с целью повышения эффективности использования азота растениями из удобрений и снижения потерь азота из почвы.

В штате Флорида (США) площади под картофелем, который возделывается в зимне-весенний сезон, составляют примерно 10.1 тыс. га. Данный штат – один из основных поставщиков картофеля в США в указанный сезон, поскольку обеспечивает более одной трети весеннего сбора картофеля в стране. Затраты на удобрения составляют более 15% от суммарных затрат при возделывании картофеля. При этом стоимость азотных удобрений с 2000 г. выросла на 350% (USDA-NASS, 2013). Азот характеризуется высокой подвижностью в почве. Во Флориде распространены песчаные почвы, и азот подвержен вымыванию, особенно при выпадении большого количества осадков. Следовательно, для повышения эффективности применения азотных удобрений сроки их внесения должны совпадать с периодом максимального поглощения азота растениями.

Эффективность использования азота из удобрений растениями хорошо изучена при выращивании картофеля в условиях прохладного климата Тихоокеанского Северо-Запада. Климат в северо-восточной части Флориды значительно теплее, поэтому вегетационный период здесь короче – посадка картофеля происходит в конце зимы, а уборка идет до начала июня. Традиционно используется подпочвенное орошение, и практикуется дробное внесение азотных удобрений в почву в три приема: примерно за 30 дней до посадки картофеля при проведении фумигации почвы, при появлении всходов и в фазу вегетативного роста растений (при высоте растений 15-20 см).

В 2011 и 2012 годах во Флориде были проведены исследования по определению оптимальной дозы азота при выращивании картофеля. Годовое количество осадков в указанные годы было ниже среднегогодовой величины. Полевые опыты проводились на полях фермеров в трех районах, расположенных на северо-востоке Флориды. Возделывался сорт картофеля Атлантик. Применялась система подпочвенного орошения, при которой вода подается в поливные борозды (неглубокие открытые канавки), расположенные через каждые 16 рядов растений (18.3 м). Вода

просачивается вниз по почвенному профилю и вызывает подъем уровня грунтовых вод, залегающих на водоупорном горизонте. В корнеобитаемый слой влага поступает по почвенным капиллярам.

В двухфакторном полевом опыте изучалось действие азотных подкормок, проведенных при появлении всходов и при высоте растений 15-20 см. В соответствии с общепринятой практикой картофелеводов в период проведения фумигации почвы

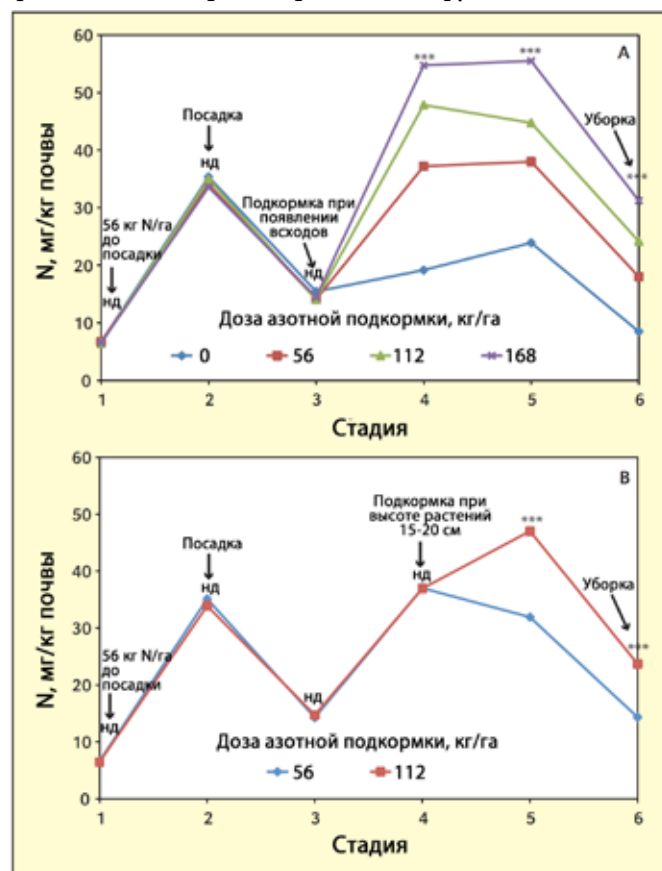


Рис. 1. Влияние междурядных подкормок азотом при появлении всходов (А) и при высоте растений 15-20 см (В) на содержания минерального азота в слое почвы 0-20 см. Примечания: нд – статистически недостоверные различия, *** – статистически достоверные различия ($p = 0.0001$).