

## СОДЕРЖАНИЕ

Сортовые различия в эффективности использования азота растениями пшеницы и существующий потенциал улучшения сортов.....2

Оптимальные дозы и сроки проведения листовых подкормок озимой пшеницы калиевой селитрой.....7

Оптимизация азотного питания пшеницы на почвах с неблагоприятными физико-химическими свойствами подпахотного горизонта.....10

Система применения азотных удобрений, направленная на повышение прибыльности и устойчивости возделывания пшеницы....15

Управление азотным питанием кукурузы при высокой густоте стояния растений в широкорядных и узкорядных посевах .....17

Рациональные системы применения азотных удобрений под картофель.....22

## Международный Институт Питания Растений

**Иванова С.Е.**, вице-президент программы по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку  
*e-mail: sivanova@ipni.net*

**Носов В.В.**, директор программы на Юге и Востоке России  
*e-mail: vnosov@ipni.net*

Бесплатная подписка: *ipni-eesa@ipni.net*

125466 Россия, Москва,  
ул. Ландышева, д. 12, вл. 17  
тел./факс: +7 (495) 580 64 14

сайт: <http://www.ipni.net>  
<http://eesa-ru.ipni.net>

*e-mail: ipni-eesa@ipni.net*

Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в Вестнике, возможны только с письменного разрешения Международного института питания растений  
© Международный институт питания растений 2014

Уважаемый Читатель! Данный выпуск «Вестника» мы посвятили вопросам азотного питания зерновых и пропашных культур. Прежде всего, представляем Вашему вниманию результаты исследований, которые проводятся Ротамстедским исследовательским центром (Великобритания) с целью выявления основных признаков, способствующих формированию урожая и повышению эффективности использования азота из удобрений растениями пшеницы. В следующей статье, подготовленной благодаря российско-польскому сотрудничеству, рассматриваются оптимальные дозы и сроки проведения листовых подкормок озимой пшеницы растворами калиевой селитры. Публикуются также разработки австралийских исследователей по дифференцированному применению азотных удобрений, исходя из зон с неблагоприятными свойствами подпахотного горизонта почвы (сильная засоленность, высокая щелочность). Данные зоны выявляются с помощью метода электромагнитного индукционного зондирования. Включены и результаты моделирования выращивания пшеницы в зоне с высоким количеством осадков (Австралия) при различных комбинациях таких факторов, как запасы минерального азота в почве, а также дозы и сроки внесения азотных удобрений. Оптимальные сроки внесения азотных удобрений при узкорядном и широкорядном способе посева кукурузы рассмотрены в статье, подготовленной американскими специалистами. Завершает данный выпуск материал, в котором представлены результаты исследований по разработке рациональных технологий возделывания картофеля с целью повышения эффективности использования азота растениями из удобрений и снижения потерь азота из почвы. Данные исследования проводятся в США.

С уважением,  
Владимир Носов  
Региональный директор МИПР по Югу и Востоку России



# Сортовые различия в эффективности использования азота растениями пшеницы и существующий потенциал улучшения сортов

М.Дж. Хокесфорд

Эффективность использования азота растениями – это комплексный показатель, и ее следует оценивать исходя из совокупности простых показателей, которые легко интерпретируются и определяются. При выведении новых сортов данные показатели могут быть улучшены посредством направленной селекции. Цель текущих исследований, проводимых Ротамстедским исследовательским центром, – выявление основных признаков, способствующих формированию урожая и повышению эффективности использования азота растениями, а также проведение количественной оценки существующего сортового разнообразия. Дальнейшее развитие данных исследований включает проведение генетических и молекулярных анализов, направленных на идентификацию специфических маркеров и генов, отвечающих за усвоение азота растениями.

Для обеспечения глобальной продовольственной безопасности требуется повышение урожайности сельскохозяйственных культур либо расширение площади сельскохозяйственных земель. Кроме того, важно отметить и такое необходимое условие устойчивого развития, как повышение эффективности использования всех имеющихся ресурсов до оптимального уровня. Применение азотных удобрений – основной фактор повышения урожайности, особенно в условиях интенсивного растениеводства. Азот необходим для роста зеленой массы растений, и именно от интенсивности фотосинтеза зависит урожайность сельскохозяйственных культур. В зеленой массе растений накапливаются азот и другие элементы питания, которые затем реутилизуются в зерно. Для данного процесса характерна потенциально высокая эффективность. Неправильное применение азотных удобрений, особенно избыточное или несвоевременное их внесение, может привести к снижению потребления азота растениями и нерациональному использованию всех остальных ресурсов. Кроме того, возможно и причинение ущерба окружающей среде. Высокий уровень образования агрономического персонала крайне важен для того, чтобы оптимизировать применение удобрений и максимально использовать потенциал урожайности современных сортов. Повышение эффективности использования азота растениями требует создания улучшенных сортов с более эффективным потреблением азота и формированием растительной биомассы.

## Определение понятия «эффективность использования элемента питания»

Существуют различные интерпретации понятия «эффективность использования элемента питания» (особенно, азота) растениями. Коэффициент использования элемента питания из удобрений показывает долю его потребления растениями от количества, внесенного с удобрениями. Однако, исходя из процесса формирования биомассы, эффективность использования азота (или другого элемента питания) – это выход биомассы в зависимости от доступного растениям количества азота (или другого элемента питания). Основные аспекты данного подхода отражены на рис.

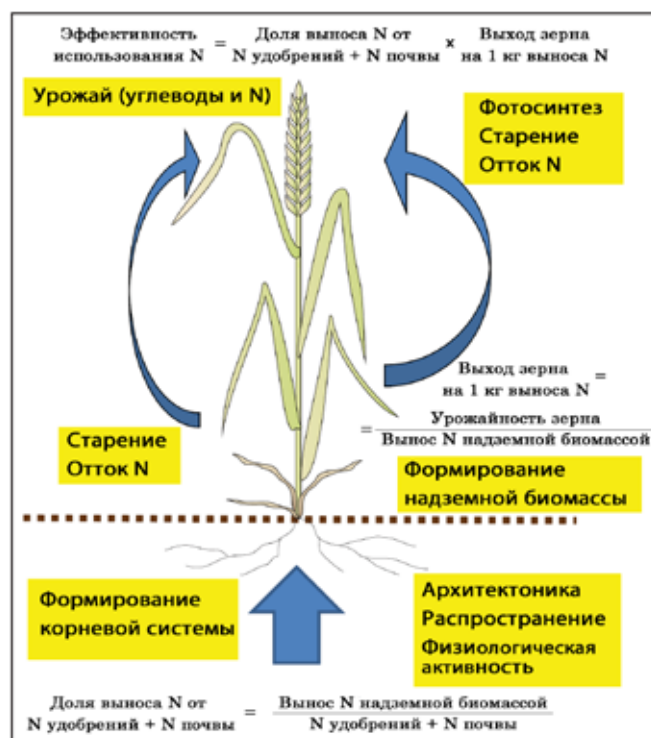


Рис. 1. Схематичное представление основных показателей, используемых для описания эффективности использования азота растениями. Указаны соответствующие физиологические процессы.

1. Эффективность использования азота растениями пшеницы – это отношение урожайности зерна к сумме азота удобрений и минерального азота почвы. Эффективность использования азота растениями может быть рассчитана исходя из двух независимых показателей: 1) доли выноса азота надземной биомассой от суммы азота удобрений и минерального азота почвы и 2) выхода зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой. Доля выноса азота надземной биомассой от суммы азота удобрений и почвы – показатель, который дает количественную оценку способности культуры поглощать доступный азот. Данный показатель главным образом зависит от глубины проникновения корневой системы и характера ее распространения по горизонтам, а также от физиологической активности корневой системы (например, эффективности функционирования ион-транспортных систем). Размер

потребляющих органов, то есть надземной биомассы, может оказывать влияние на поглощение азота растениями, однако формирование биомассы, в свою очередь, непосредственно зависит от поглощения азота растениями. Выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой – показатель, отражающий функциональные свойства надземной биомассы растений. Он рассчитывается как отношение урожайности зерна к выносу элемента питания надземной биомассой (зерно + солома). Архитектура, функционирование растительного организма, включая продолжительность жизненного цикла, имеют большое значение для синтеза углеводов, необходимых для налива зерна, а, следовательно, для формирования урожая. Сложность здесь состоит в том, что азот требуется в период налива зерна. Это достигается главным образом за счет реутилизации азота из стареющих (следовательно, теряющих функциональную активность) частей растения. Таким образом, индекс урожайности<sup>1</sup> и относительный вынос азота с урожаем зерна<sup>2</sup> – важные показатели оценки эффективности продукционного процесса у сельскохозяйственных культур.

### Азот и урожайность

Эффективность использования азота и урожайность пшеницы изучаются в опытах Сети по генетическому улучшению пшеницы (<http://www.wgin.org.uk/>). Цель работы – анализ и оценка варьирования таких показателей, как эффективность использования азота растениями, доля выноса азота надземной биомассой от суммы азота удобрений и почвы и выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой у современных сортов пшеницы. В настоящее время возделывается много хороших коммерческих сортов пшеницы (главным образом, карликовые или короткостебельные сорта), включая сорта, созданные в Великобритании за последние 25 лет в результате отбора из континентальных европейских и старых высокостебельных сортов. Сорта различаются по качеству зерна – у одних оно пригодно для хлебопечения, у других идет на фураж. В качестве азотного удобрения в опытах используется аммиачная селитра в дозах от 0 до 350 кг N/га (5 доз). Предварительные результаты, полученные за первые 4 года вышеуказанного 10-летнего проекта, были опубликованы Барраклаухом с соавт. (Barraclough и др., 2010). Урожайность зерна изменялась в диапазоне от 2.1 до 11.8 т/га (влажность – 15%), содержание общего азота в зерне – от 1.1 до 2.8% (а.с.в.), вынос азота надземной биомассой – от 31 до 264 кг N/га, а выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой – от 27 до 77 кг а.с.в./кг N. Что касается таких показателей, как вынос азота надземной биомассой и выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой, были выявлены значимые различия как между карликовыми и обычными сортами, так и внутри группы карликовых со-

ртов. Лучшие карликовые сорта потребляли на 31-38 кг/га больше азота по сравнению с худшими сортами. При этом у лучших сортов выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой был выше на 24-42% в зависимости от применяемой дозы азота. Фактор урожайности определял до 77% варьирования вышеуказанного показателя. Взаимодействие между изученными факторами, включая сорта, агрометеорологические условия года и дозы азота, было достоверным при высоком уровне значимости.

Выявлена обратная зависимость между урожайностью зерна и содержанием общего азота в зерне, а также между выходом зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой и содержанием общего азота в зерне. Высокая урожайность достигается за счет повышения содержания углеводов в зерне и эффекта «биологического разбавления» азота (белка) и других элементов. У высококачественных сортов пшеницы (с высоким содержанием общего азота в зерне) из-за низкой урожайности (меньшего содержания углеводов в зерне) получается низкий выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой. Для повышения содержания белка в зерне данным сортам зачастую требуется даже больше азотных удобрений. При фиксированных значениях таких показателей, как доля выноса азота надземной биомассой от суммы азота удобрений и почвы и относительный вынос азота с урожаем зерна, повышения выхода зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой можно добиться только за счет изменения содержания общего азота в зерне. Повышение выхода зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой без изменения содержания общего азота в зерне требует одновременного увеличения относительного выноса азота с урожаем зерна и повышения содержания крахмала в зерне, однако этого трудно добиться на практике.

На рис. 2 представлена характеристика 39-ти сортов пшеницы исходя из 4-х основных признаков. Для каждого признака дана квантильная оценка. Сорта, пригодные для хлебопечения (1-я группа согласно классификации НАБИМ), характеризовались в целом низкой урожайностью, но отличались высоким содержанием общего азота в зерне. Сорта, идущие на фуражные цели и используемые в кондитерской промышленности (3-я и 4-я группы), наоборот, обладали высокой урожайностью и имели низкое содержание общего азота в зерне. Такие показатели, как вынос азота надземной биомассой и выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой, отражают данные закономерности. У идеального сорта, пригодного для хлебопечения, хорошо было бы получить 0.75-квантиль по всем признакам, однако при высоком содержании крахмала у сортов, идущих на мукомольные и хлебопекарные цели, высокое потребление азота может быть отрицательным моментом. В каждом опыте проводился детальный анализ биохимического состава белков, и изучались реологические свойства теста, а также хлебопекарные качества пшеницы (данные не представлены). Содержание белка в зерне и биохимический состав белка – фундаментальные факторы, от которых зависят качественные показатели пшеничной муки. По каждому из вышеуказанных признаков

<sup>1</sup> Индекс урожайности - отношение массы зерна к надземной биомассе в пересчете на а.с.в. (здесь и далее – примечания переводчика)

<sup>2</sup> Относительный вынос азота с урожаем зерна - отношение выноса азота зерном к выносу азота надземной биомассой.

Сорт	Группа согласно НАБИМ	Кол-во лет	Урожайность зерна	Содержание общего азота в зерне	Вынос азота надземной биомассой	Выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой
Авалон	1	5				
Фландерс	1	1				
Хивард	1	5				
Хурлей	1	5				
Малакка	1	5				
Мерсия	1	4				
Марис Видгеон	1	5				
Шамрок	1	4				
Солстис	1	5				
Спарк	1	1				
Хі 19	1	5				
Каденза	2	5				
Кордиале	2	3				
Эйнштейн	2	1				
Линкс	2	5				
Риальто	2	1				
Скорпион	2	1				
Соиссонс	2	5				
Бивер	3	4				
Клаире	3	4				
Рибанд	3	5				
Робигус	3	4				
Истабрак	4	4				
Напиер	4	3				
Саваннах	4	4				
Парагон (яровая)	1	5				
Чаблис (яровая)	2	1				
Арче	Ф	1				
Батис	Г	5				
Кафорн	Ф	1				
Капелле Деспрез	Ф	1				
Энорм	Г	1				
Айсенгрейн	Ф	1				
Монополь	Г	5				
Опус	Г	1				
PVis	Г	1				
Петрус	Г	1				
Сократ	Г	5				
Зита	П	1				

0.75- квантиль

0.5-квантиль

0.5-квантиль

0.25-квантиль

**Рис. 2.** Характеристика 39-ти сортов пшеницы по четырем основным признакам (урожайность зерна, содержание общего азота в зерне, вынос азота надземной биомассой и выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой). Группировка сортов дана согласно классификации Национальной ассоциации британских и ирландских мукомолов (НАБИМ) за исключением сортов из Франции (Ф), Германии (Г) и Польши (П). Приведена квантильная оценка. Данные используются с разрешения Барраклауха с соавт. (2010).

были выявлены генетические вариации. В этой связи стратегия улучшения данных признаков должна четко определить все составляющие, которые следует учитывать в селекционной работе, и обозначить специфические генетические вариации для каждого признака. Взаимодействие между вышеуказанными факторами и почвенно-климатическими условиями также должно приниматься во внимание.

Важно отметить, что проведение широкомасштабных полевых опытов облегчает оценку стабильности признаков, и эта необходимая составная часть работы имеет огромное экономическое значение. Степень проявления признаков сильнее всего зависит от почвенно-климатических условий. Это важный экспериментальный параметр, хотя при этом и существуют трудности, связанные с необходимостью использования повторностей. За 8 лет исследований урожайность зерна сильно варьировала в варианте с внесением 200 кг N/га. Наиболее стабильным по урожайности был сорт Каденза (8.3-10.2 т/га), а наименее стабильным – Соиссонс (5.8-15.5 т/га). Временная изменчивость урожайности была главным образом связана с распределением осадков в течение вегетационного сезона, что, соответственно, сказывалось на продолжительности периода налива зерна.

### Факторы, лимитирующие урожайность

На рис. 3 показана зависимость между выносом азота надземной биомассой и урожайностью зерна, построенная по данным Сети по генетическому улучшению пшеницы (2004-2007 гг.). Внесение азотных удобрений в дозах до 200 кг N/га в целом способствовало повышению потребления азота растениями и росту урожайности. Применение азотных удобрений в дозах от 200 до 350 кг N/га не приводило к дальнейшему росту урожайности, однако способствовало увеличению потребления азота растениями – повышалось содержание общего азота в зерне. Как правило, дозы азотных удобрений оказывали слабое влияние на относительный вынос азота с урожаем зерна (Barraclough и др., 2010). Линия тренда выходит на плато при внесении более 200 кг N/га, что ведет к снижению эффективности использования азота растениями, но способствует повышению содержания белка в зерне, а также качества белка. Очевидно, однако, что поступление азота в растения не лимитирует урожайность. Здесь задействованы другие лимитирующие факторы. Хотя урожайность слабо изменялась при внесении азота в дозах более 200 кг N/га, повышение содержания белка в зерне (содержания общего азота в зерне) оказывало положительное влияние на качество муки и технологические свойства теста (Godfrey и др., 2010). Данное улучшение качества достигается за счет снижения эффективности использования азота растениями при внесении высоких доз азотных удобрений. Кроме того, важно отметить и усиление вымывания азота из растений. Благодаря достижениям земледелия и генетики, урожайность пшеницы в Великобритании в течение последних 20-ти лет росла примерно на 0.1 т/га в год. В то же время применение азотных удобрений по-прежнему остается на уровне 190 кг N/га в основном в результате законодательного

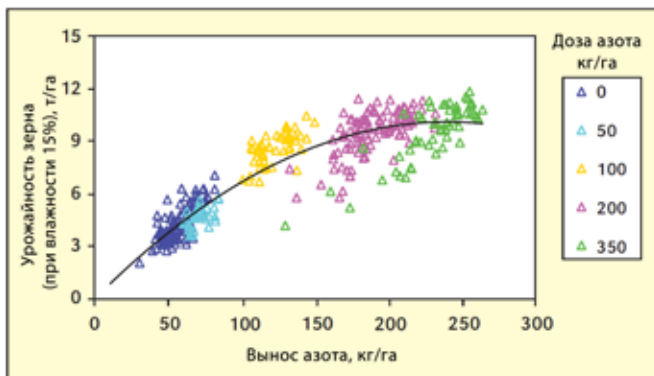


Рис. 3. Влияние азотных удобрений на урожайность зерна и вынос азота надземной биомассой у 39-ти сортов пшеницы, возделываемых в Ротамстеде в 2004-2007 гг. Линия тренда описывается нелинейной функцией. Адаптировано из Барраклауха с соавт. (2010) и используется с разрешения авторов.

регулирования (ограничений по применению азотных удобрений в зонах с высоким риском вымывания нитратов в Великобритании). Эти данные свидетельствуют о том, что прирост урожайности происходил за счет снижения содержания общего азота в зерне. Кроме того, следует отметить, что увеличение доз азотных удобрений не будет оказывать непосредственного влияния на урожайность современных сортов.

### Перспективы

Улучшение основных признаков, рассмотренных выше, с целью повышения эффективности использования азота связано с усилением поступления азота в растения. Это подразумевает увеличение проникновения корневой системы в глубину и ее распространения в горизонтальном направлении, а также, возможно, усиление функционирования корневой системы. Повышение урожайности связано с продолжительностью жизненного цикла – более ранним цветением или более поздним созреванием, что дает определенные преимущества. Однако при этом возникает и высокий риск гибели посевов. Скрининг сортов сфокусирован на анализе сравнительно ограниченного количества сортов и картирующих популяций с ограниченным сортовым разнообразием. Существуют различные подходы, например, в рамках Программы стратегического улучшения пшеницы (<http://www.wheatisp.org>) и других проектов изучаются старые сорта, которые характеризуются большим сортовым разнообразием. Также создаются новые сорта посредством получения синтетических гексаплоидов или интрогрессии сегментов хромосом с использованием родственных видов пшеницы. Объединение скрининговых программ с транскриптомным анализом и генотипированием высокой плотности потенциально перспективно для идентификации специфических генов и аллелей, включая гены, отвечающие за поглощение элементов питания и урожайность. Это ускорит селекцию растений.

### Выводы

Несколько усилия по эффективному использованию минеральных удобрений согласуются с необхо-

димостью повышения производства растениеводческой продукции и обеспечения продовольственной безопасности? В данном случае преследуются две взаимосвязанные цели, поскольку эффективное использование азотных удобрений – важная составляющая производства сельскохозяйственной продукции. Согласно имеющимся в мире оценкам, с урожаем зерна выносятся только 30% от внесенного с удобрениями азота. Это затратно с экономической точки зрения и, кроме того, представляет потенциальную угрозу для окружающей среды. В связи с этим, эффективность использования азота растениями – это основной показатель, который требует улучшения как за счет оптимизации агротехнологий, так и подбора сортов.

Д-р Хокесфорд – ведущий научный сотрудник, зам. главы отдела биологии растений и растениеводства, а также зам. руководителя Программы по пшенице 20:20 (20:20 Wheat®), Ротамстедский исследовательский центр, г. Харпенден, Хартфордшир, AL5 2JQ, Великобритания; e-mail: malcolm.hawkesford@rothamsted.ac.uk.

### Благодарности

Ротамстедский исследовательский центр и Программа стратегического улучшения пшеницы финансируются Научно-исследовательским советом по биотехнологии и биологическим наукам Великобритании. Программа стратегического улучшения пшеницы финансируются также Департаментом окружающей среды, продовольствия и сельского хозяйства Правительства Великобритании.

Частично данный материал была ранее опублико-



**Фото:** Аэроснимок опытов в Ротамстеде, где изучается эффективность использования азота растениями.

Фотография предоставлена М. Хокесфордом.

ван в следующей статье: Barraclough, P.B., J.R. Howarth, J. Jones, R. Lopez-Bellido, S. Parmar, C.E. Shepherd, and M.J. Hawkesford. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement, *Eur J Agron* 33, 1-11. Переиздается с разрешения издательства «Эльзевир» (Elsevier).

### Литература

- Barraclough, P.B., J.R. Howarth, J. Jones, R. Lopez-Bellido, S. Parmar, C.E. Shepherd, and M.J. Hawkesford. 2010. *Eur J Agron* 33, 1-11.
- Godfrey, D., M.J. Hawkesford, S. Powers, S. Millar, and P.R. Shewry. 2010. *J Agric Food Chem* 58, 3012-3021
- Hawkesford, M.J. and P. Barraclough. 2011. *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use efficiency in Crops*. Wiley-Blackwell.

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

### Примечание: показатели, которые применяются для описания эффективности использования элементов питания растениями

Для оценки эффективности использования элементов питания растениями применяется целый ряд показателей в зависимости от целей использования полученных данных. В данной статье эффективность использования азота растениями оценивается при помощи двух показателей. В нижеприведенной таблице обобщены все показатели, которые обычно применяются для оценки эффективности использования элементов питания растениями.

Показатель	Формула
Доля выноса элемента питания надземной биомассой от суммы его внесения с удобрениями и содержания в почве	$= V/(D + П)$
Выход зерна на 1 кг выноса элемента питания надземной биомассой	$= У/V$
Коэффициент использования элемента питания из удобрений (КИУ)	$= (V - V_0)/D$ (надземная биомасса) $= (V_z - V_{0z})/D$ (зерно)
Физиологическая эффективность применения удобрений (ФЭ)	$= (У - У_0)/(V - V_0)$
Агрономическая эффективность применения удобрений (АЭ)	$= (У - У_0)/D = КИУ$ (надземная биомасса) $\times$ ФЭ
Балансовый коэффициент использования элемента питания из удобрений (отношение выноса элемента питания зерном к внесению элемента питания с удобрениями)	$= V_z/D$
Выход зерна на 1 кг д.в. удобрений	$= У/D$

У – урожайность зерна при внесении элемента питания с удобрениями;  $U_0$  – урожайность зерна без внесения элемента питания с удобрениями; D – доза элемента питания; П – содержание доступных форм элемента питания в почве; V – вынос элемента питания надземной биомассой (в фазу созревания) при его внесении с удобрениями;  $V_0$  – вынос элемента питания надземной биомассой без его внесения с удобрениями;  $V_z$  – вынос элемента питания зерном при внесении данного элемента питания с удобрениями;  $V_{0z}$  – вынос элемента питания зерном без внесения данного элемента питания с удобрениями.

# Оптимальные дозы и сроки проведения листовых подкормок озимой пшеницы калиевой селитрой

Полтораднев М.С., Гребенникова Т.В. и Гржебиш В.

Изучено влияние листовых подкормок раствором  $KNO_3$  на структуру урожая, урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Количество листовых подкормок составило от одной до трех, концентрация раствора  $KNO_3$  – от 3 до 7% в зависимости от фазы развития растений. Максимальная урожайность зерна (5.55 т/га) была получена в варианте с проведением трех обработок – при возобновлении весенней вегетации (7% раствор), в фазу выхода в трубку (5% раствор) и в колошение (3% раствор). Прибавка урожайности к контролю при этом составила 30%. Максимальное содержание белка (15.5%) было получено в варианте с проведением одной листовой подкормки при возобновлении весенней вегетации (7% раствор).

Сбалансированное минеральное питание – ключевой фактор формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Оптимизация форм, доз, сроков и способов внесения удобрений повышает экономическую отдачу при возделывании зерновых культур. Большое количество исследований указывает на то, что листовые подкормки азотом и калием повышают урожайность и качество зерна озимой пшеницы (Raun и Johnson, 1999; Emam и Borjian, 2000; Zecevic и др., 2004; El-Abady и др., 2009; Khan и др., 2009; Zheng и др., 2010). Положительные стороны использования листовой подкормки – это повышение потребления элементов питания растениями, а также снижение потерь азота вследствие вымывания и денитрификации (Powlson и др., 1987). Данный способ внесения азота высокоэффективен на зерновых культурах. Листовые подкормки жидкими азотными удобрениями с целью повышения содержания белка в зерне широко практикуются во многих странах мира.

Калиевая селитра ( $KNO_3$ ) служит одновременно источником азота и калия для растений. Она представляет собой кристаллический порошок белого цвета и полностью растворима в воде. Удобрение вносится в растворенном виде с помощью опрыскивателей. В полевых опытах, проведенных Барраклаухом и Хейнесом (Barraclough и Haunes, 1996), озимая пшеница обрабатывалась 2.6% раствором  $KNO_3$  на трех этапах развития: развернутый первый лист, конец колошения и молочная спелость зерна. По ВВСН-шкале (Meier, 2001) это стадии 11, 59 и 71 соответственно. Исследователи не выявили значительного влияния листовых подкормок на урожайность зерна и содержание азота в зерне даже при тройной обработке раствором  $KNO_3$ . Они объяснили этот факт высоким плодородием почвы – хорошей обеспеченностью доступными растениям формами азота и калия. Женг с соавт. (Zheng и др., 2010) в вегетационном опыте получили увеличение массы 1000 зерен и урожайности зерна озимой пшеницы при обработке 0.01 М раствором  $KNO_3$  в фазу колошения. Однако при этом наблюдалось снижение содержания белка в зерне. Авторы предположили, что это могло быть вызвано солевым стрессом у растений, поскольку они выращивались в условиях засоления

(в качестве субстрата исследователи использовали вермикулит с добавлением NaCl). Дас и Саркар (Das и Sarkar, 1981) в полевых опытах установили, что листовая подкормка 0.5% раствором  $KNO_3$  после фазы цветения дает прибавку урожайности зерна и соломы пшеницы.

В странах Восточной Европы подобных работ по изучению эффективности листовых подкормок озимой пшеницы растворами  $KNO_3$  не проводилось. Цель данного исследования – изучение влияния периодичности проведения листовых подкормок и концентрации раствора  $KNO_3$  на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, возделываемой на почвах с низким содержанием органического вещества в условиях умеренного климата с высоким количеством осадков и значительным вымыванием элементов питания из почвы. Полевой опыт был проведен в 2009-2010 гг. на Опытной станции «Броды» Познаньского университета естественных наук в 50 км к западу от г. Познань (Польша). Данный регион характеризуется влажным континентальным климатом с холодной зимой и теплым летом. Средние температуры января и июля – 3.1°C и 18.3°C соответственно. Среднегодовое количество осадков – 500 мм с максимумом в июле. Зима 2010 г. была в целом благоприятна для перезимовки растений, однако в феврале и в течение первой недели марта растения пострадали от сильных морозов (ниже -20°C). Температуры в апреле были несколько выше, чем обычно. Наблюдалась также небольшая задержка осадков, однако количество осадков в мае компенсировало их недостаток в апреле (рис. 1).

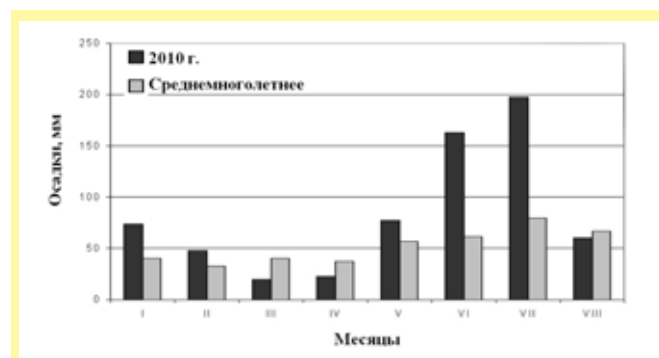


Рис. 1. Динамика осадков в 2010 г. относительно среднегодовых данных.

**Таблица 1.** Исходная агрохимическая характеристика почвы опытного участка (слой 0-30 см).

pH <sub>KCl</sub>	Гумус, %	Подвижный P	Подвижный K	Обменный Mg	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
		мг/кг почвы (в расчете на элемент)				
5.4	2.6	92	168	82	11	45

Примечание: подвижные формы фосфора и калия определялись в вытяжке 0.2 М CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> + 0.2 М CH<sub>3</sub>COOH + 0.1 М 2(C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca (лактат Ca) + 0.1 М HCl, обменный Mg – в вытяжке 1.0 М KCl.

**Таблица 2.** Схема полевого опыта.

№	Вариант опыта	Концентрация раствора KNO <sub>3</sub> (%) в зависимости от фазы развития растений		
		ВВВВ (ВВСН 25)	Выход в трубку (ВВСН 31)	Колошение (ВВСН 50)
1	N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> – фон (контроль)	-	-	-
2	+ 1 обработка (3%)	3	-	-
3	+ 2 обработки (3%+3%)	3	3	-
4	+ 3 обработки (3%+3%+3%)	3	3	3
5	+ 1 обработка (5%)	5	-	-
6	+ 2 обработки (5%+3%)	5	3	-
7	+ 3 обработки (5%+3%+3%)	5	3	3
8	+ 1 обработка (7%)	7	-	-
9	+ 2 обработки (7%+5%)	7	5	-
10	+ 3 обработки (7%+5%+3%)	7	5	3

**Таблица 3.** Влияние листовой подкормки KNO<sub>3</sub> на содержание азота и калия в листьях и стеблях озимой пшеницы (%) при уборке.

Вариант опыта	Листья			Стебли		
	N	K*	K:N	N	K*	K:N
1	1.54	1.18	0.77	0.70	0.82	1.17
2	1.24	1.08	0.87	0.54	0.82	1.52
3	1.21	1.38	1.14	0.77	1.00	1.30
4	1.89	1.26	0.67	0.61	0.91	1.49
5	1.47	1.06	0.72	0.69	0.66	0.96
6	1.46	1.17	0.80	0.59	0.89	1.51
7	1.66	1.10	0.66	0.50	0.89	1.78
8	1.72	1.58	0.92	0.70	1.21	1.73
9	1.61	1.25	0.78	0.66	0.93	1.41
10	1.83	1.13	0.62	0.55	0.73	1.33

\*В расчете на элемент.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая, гранулометрический состав – опесчаненный суглинок. Исходная агрохимическая характеристика почвы представлена в **табл. 1**. Удобрения – аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий вносили осенью перед посевом в дозах 70 кг N/га, 40 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га и 80 кг K<sub>2</sub>O/га соответственно (фон – контроль). Схема опыта включала 9 вариантов с листовыми подкормками растворами KNO<sub>3</sub> (**табл. 2**). Обработка проводилась в следующие фазы развития растений: возобновление весенней вегетации, выход в трубку и колошение – стадии 25, 31 и 50 по ВВСН-шкале. В эксперименте использовались концентрации раствора KNO<sub>3</sub> в пределах от 3 до 7%. Расход рабочего раствора составил 350 л/га. В контрольном варианте опыта проводили обработку

растений водой соответственно трехкратно-му внесению растворов. Выращивалась озимая пшеница сорта Торас (*Triticum aestivum* L.). Общая площадь делянок – 25 м<sup>2</sup>, повторность – 4-х кратная.

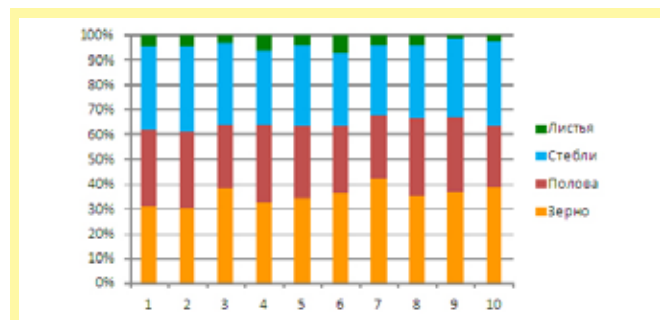
Образцы надземной биомассы растений отбирались при уборке (стадия 91 по ВВСН-шкале) и высушивались в сушильном шкафу при температуре 65°C. Содержание общего азота определяли по методу Кьельдаля (АОАС, 1990). Содержание белка в зерне рассчитывалось путем умножения содержания общего азота на 5.74.

Содержание фосфора определялось спектрофотометрическим методом (Richards, 1954); калия – пламенно-фотометрическим методом (Jackson, 1973); кальция и магния – методом атомной спектроскопии; Fe, Mn, Zn, Cu – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) на приборе JY 238.

Содержание общего азота и калия было значительно ниже в стеблях по сравнению с листьями растений (**табл. 3**). Максимальное содержание азота в листьях – 1.83-1.89% наблюдалось при проведении трех обработок раствором KNO<sub>3</sub> (3%+3%+3% и 7%+5%+3% соответственно). Листовые подкормки KNO<sub>3</sub> существенно повышали содержание калия как в листьях, так и в стеблях только в одном варианте опыта – с проведением одной обработки 7% раствором.

Максимальное содержание общего азота в зерне было получено в варианте с проведением одной обработки 7% раствором KNO<sub>3</sub> при возобновлении весенней вегетации растений (**табл. 4**). Следует отметить тенденцию к увеличению накопления фосфора в зерне при проведении листовых подкормок KNO<sub>3</sub>. Заметных изменений в содержании в зерне таких макро- и микроэлементов, как K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn и Cu выявлено не было.

Влияние листовой подкормки KNO<sub>3</sub> на некоторые элементы структуры урожая озимой пшеницы показано в **табл. 5**. Достоверное увеличение числа зерен в колосе по сравнению с контролем было получено во всех вариантах опыта, где проводилось три обработки, а также в вариантах с двумя обработками (5%+3% и 7%+5%). Статистически значимое увеличение массы 1000 зерен при проведении листовых подкормок KNO<sub>3</sub> наблюдалось только в одном вари-



**Рис. 2.** Влияние листовой подкормки KNO<sub>3</sub> на структуру биомассы озимой пшеницы.

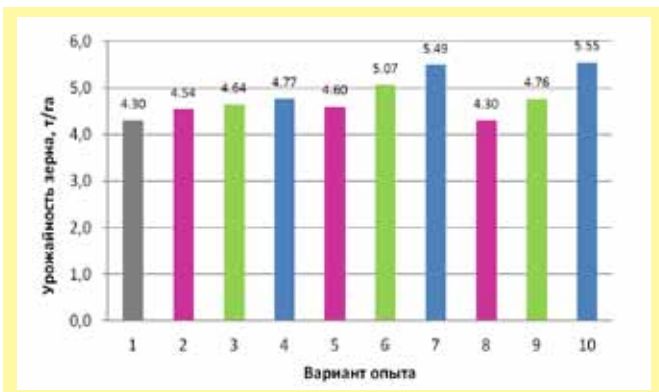


**Таблица 4.** Влияние листовой подкормки  $KNO_3$  на содержание макро- и микроэлементов в зерне озимой пшеницы (в расчете на элемент).

Вариант опыта	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					мг/кг			
1	2.42	0.05	0.44	0.05	0.04	28.5	38.9	30.9	2.05
2	2.13	0.09	0.46	0.05	0.03	27.9	37.1	32.1	1.95
3	2.40	0.13	0.50	0.06	0.04	33.0	46.0	33.0	2.25
4	2.37	0.11	0.44	0.05	0.04	29.9	41.5	30.8	2.15
5	2.37	0.15	0.42	0.05	0.04	25.6	32.8	27.8	2.00
6	2.40	0.12	0.48	0.06	0.04	28.5	41.5	31.5	2.00
7	2.55	0.10	0.52	0.05	0.04	31.2	41.9	31.2	2.20
8	2.69	0.12	0.40	0.05	0.05	28.6	40.1	29.0	2.45
9	2.23	0.13	0.52	0.06	0.04	29.2	40.9	34.2	2.60
10	2.16	0.12	0.48	0.06	0.04	27.9	37.5	30.0	2.05

**Таблица 5.** Влияние листовой подкормки  $KNO_3$  на некоторые элементы структуры урожая и качество зерна озимой пшеницы.

Вариант опыта	Число колосьев, шт./м <sup>2</sup>	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Белок, %
1	422	22.8	44.3	13.9
2	457	20.4	48.5	12.5
3	405	24.8	45.8	13.8
4	387	27.0	45.3	13.6
5	424	23.1	46.5	13.6
6	403	25.8	49.4	13.8
7	436	28.2	44.2	14.7
8	418	22.8	45.1	15.5
9	396	25.4	47.4	12.8
10	462	25.7	46.3	12.4
НСР <sub>0.05</sub>	42	2.5	4.6	1.4



**Рис. 3.** Влияние листовой подкормки  $KNO_3$  на урожайность зерна озимой пшеницы. (НСР<sub>0.05</sub> = 0.48).

анте опыта, в котором проводилось две обработки растений (5%+3%).

Доля зерна в надземной биомассе растений была максимальной при проведении трех подкормок растворами  $KNO_3$  (5%+3%+3% и 7%+5%+3%). Данный показатель составил 43 и 39% соответственно (рис. 2). В обоих случаях более высокая доля зерна в надземной биомассе была получена за счет снижения доли половы (до 25%). Таким образом, листовые подкормки растворами  $KNO_3$  в оптимальных дозах и в оптимальные сроки оказывают положительное влияние на соотношение вегетативных и репродуктивных органов у озимой пшеницы.

Урожайность зерна в контрольном варианте опыта (N70P40K80 – фон) составила 4.30 т/га (рис. 3). Следует отметить, что доза азота, равная 70 кг N/га, соответствует средней практике хозяйств. Достоверная прибавка урожайности зерна по сравнению с контролем наблюдалась в трех вариантах опыта с листовыми подкормками раствором  $KNO_3$ . Так, урожайность зерна повысилась на 0.77 т/га (на 18%) при проведении двух подкормок (5%+3%). Наибольшие прибавки урожайности – 1.19 и 1.25 т/га (на 28 и 29%) наблюдались при проведении трех подкормок (5%+3%+3% и 7%+5%+3% соответственно).

В последнем варианте опыта была получена максимальная урожайность зерна – 5.55 т/га. В вышеуказанных вариантах, как отмечено выше, наблюдалось достоверное увеличение числа зерен в колосе, а также доли зерна в надземной биомассе растений по сравнению с контролем. В нашем исследовании почва была менее обеспечена минеральным азотом и подвижным калием, чем в опытах, проведенных Барраклаухом и Хейнесом (Barraclough и Haynes, 1996), поэтому при проведении листовой подкормки раствором  $KNO_3$  и был получен значительный эффект. К аналогичным выводам пришли и другие исследователи (Zheng и др. 2010).

Результаты проведенного полевого опыта свидетельствуют о том, что максимальное содержание белка в зерне, как и содержание общего азота, отмечается в варианте с проведением одной обработки 7% раствором  $KNO_3$  при возобновлении весенней вегетации растений (табл. 5). Содержание белка в зерне в данном варианте достоверно повысилось до 15.5% по сравнению с 13.9% в контроле. Урожайность зерна при этом не изменилась.

## Выводы

Согласно полученным результатам, максимальная прибавка урожайности зерна при проведении листовых подкормок растворами  $KNO_3$  наблюдалась при проведении трех обработок: при возобновлении весенней вегетации, в фазу выхода в трубку и в колошение. Концентрации раствора  $KNO_3$  при этом составили 5%+3%+3% и 7%+5%+3%. В последнем случае была получена максимальная урожайность зерна – 5.55 т/га. Прирост урожайности зерна был достигнут за счет увеличения числа зерен в колосе и повышения доли зерна в надземной биомассе растений.

Полтораднев М.С. – агроном-консультант; e-mail: maksim.poltoradnev@uralchem.com.

Гребенникова Т.В. – руководитель департамента маркетинга и продвижения продукции; e-mail: tatiana.grebennikova@uralchem.com.

Гржебиш В. – профессор-менеджер, Познаньский университет естественных наук (г. Познань, Польша).

Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений по Югу и Востоку России В.В. Носову за помощь в подготовке статьи.

## Литература

Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. *Agron. J.* 91: 357-363.

Emam, Y. and A.R. Borjian. 2000. *J. Agr. Sci. Tech.* 2: 263-270.

Zecevic, V., Dokic, D., Knezevic, D. and D. Micanovic. 2004. *Kragujevac J. Sci.* 26: 85-90.

El-Abady, M.I., Seadh, S.E., El-Ward, A., Ibrahim, A. and A.M. El-

Amam. 2009. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 4 (4): 33-39.

Khan, P., Memon, M.Y., Imtiaz, M. and M. Aslam. 2009. *Pak. J. Bot.* 41 (3): 1197-1204.

Zheng, Y., Xu, X., Simmons, M., Zhang, C., Gao, F. and Z. Li. 2010. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 444-452.

Powlson, D.S., Poulton, P.R., Penny, A., and M.V. Hewitt. 1987. *J. Sci. Food Agric.* 41: 195-203.

Barraclough, P.B., and J. Haynes. 1996. *Fert. Res.* 44: 217-223.

Meier, U. 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.*

Das, S. and A.K. Sarkar. 1981. *Indian Agriculturist* 25: 267-273.

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis.* Washington, DC: AOAC.

Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils.* USDA Handbook No. 60. Washington, DC: USDA.

Jackson, M.L. 1973. *Soil Chemical Analysis.* New Delhi: Prentice Hall of India Pvt. Ltd.

# Оптимизация азотного питания пшеницы на почвах с неблагоприятными физико-химическими свойствами подпахотного горизонта

Дж.Ф. Ангус, Ч.Н. Уолкер, Ю.Ф. Педлер и Р.Н. Нортон

При внесении азотных удобрений под пшеницу на почвах с сильной засоленностью, высокой щелочностью и/или токсичным для растений содержанием водорастворимого бора в подпахотном горизонте часто наблюдается низкая эффективность использования азота растениями и низкая экономическая отдача от применения азотных удобрений. При значительной пестроте почвенного покрова данные почвенные зоны могут быть выявлены с помощью электромагнитного индукционного зондирования. Азотные удобрения можно применять дифференцированно с учетом выявленных зон с разной выраженностью неблагоприятных свойств подпахотного горизонта.

В «зерновом поясе» Австралии, расположенном на Юго-Востоке страны, широко распространены почвы, подпахотный горизонт которых характеризуется сильной засоленностью, а также высокой солонцеватостью и, соответственно, щелочностью. Протекающие в данных почвах химические процессы ведут к переуплотнению подпахотного горизонта, накоплению токсичных количеств водорастворимого бора, а также снижению доступности почвенной влаги из-за накопления солей. Обследование ряда полей показало, что зачастую может проявляться сразу несколько из вышеуказанных лимитирующих факторов (табл. 1). В результате этого ограничивается рост корневой системы, что не позволяет растениям поглощать влагу и элементы питания из подпахотного горизонта почвы. При этом отзывчивость растений на применение азотных удобрений на таких почвах недостоверна даже в годы с достаточным количеством осадков, что ведет к низкой эффективности использования азота и низкой экономической отдаче от применения азотных удобрений.

На рис. 1 показан регион в северо-западной части штата Виктория, где в 2000-2004 гг. была проведена серия полевых опытов. В данном районе количество осадков за вегетационный сезон варьирует от 104

до 596 мм, составляя в среднем 392 мм. В каждом опыте мы оценивали систему применения азотных удобрений под пшеницу. Согласно рабочей гипотезе, отзывчивость растений на азотные удобрения можно улучшить, если доступный растениям азот будет сосредоточен в пахотном горизонте, откуда корневая система сможет его поглощать. Однако

**Таблица 1.** Результаты обследования 36-ти полей в южной части района Малли и в районе Виммера: содержание водорастворимого бора, степень солонцеватости (доля обменного Na от ЕКО) и степень засоления (удельная электропроводность – ЕС при соотношении почва:H<sub>2</sub>O = 1:5) для слоя почвы 0-60 см.

Лимитирующие факторы (в скобках даны критические значения показателей)	Площадь, %
Бор (> 8 мг/кг почвы)	67
Солонцеватость (доля обменного Na > 15%)	67
Засоление (ЕС > 2 мСм/см)	67
Бор (> 8 мг/кг почвы) и солонцеватость (доля обменного Na > 15%)	56
Бор (> 8 мг/кг почвы) и засоление (ЕС > 2 мСм/см)	47
Солонцеватость (доля обменного Na > 15%) и засоление (ЕС > 2 мСм/см)	36



**Рис. 1.** Регион в северо-западной части штата Виктория (Австралия), где проводились полевые опыты с азотными удобрениями, описываемые в статье.

Карта адаптирована из: Совет по прогнозированию развития мирового сельского хозяйства и Зарубежная сельскохозяйственная служба Министерства сельского хозяйства США.

содержание доступных форм азота не должно быть слишком высоким, чтобы не допустить чрезмерного роста вегетативной массы и быстрого истощения ограниченных запасов продуктивной влаги в почве. В опытах изучались сроки и способы внесения азотных удобрений, включая дробное внесение, глубокое ленточное внесение при посеве (ниже семян), ленточное внесение в середину междурядий при посеве, допосевное ленточное внесение и внесение вразброс перед посевом. В течение 5-ти лет ежегодно проводилось 14 полевых опытов. Внесение азота в дозе 40 кг N/га до посева не оказывало статистически значимого влияния на урожайность зерна в опытах, проводившихся на почвах с неблагоприятными физико-химическими свойствами подпахотного горизонта. Однако дробное внесение азота и припосевное ленточное внесение способствовали получению достоверной прибавки урожайности (табл. 2). В тех же случаях, когда физико-химические свойства подпахотного горизонта не лимитировали урожайность, достоверных различий между способами внесения азотных удобрений не наблюдалось.

Таким образом, полученные данные подтверждают гипотезу о том, что снижение потерь азота из пахотного горизонта за счет дробного или припосевного ленточного внесения азотных удобрений повышает урожайность зерна и эффективность использования азота растениями. При возделывании пшеницы на почвах с неблагоприятными физико-химическими свойствами подпахотного горизонта фермеры могут использовать два вышеуказанных способа внесения азотных удобрений. Однако при этом возникает проблема, связанная с сильным пространственным варьированием физико-химических свойств подпахотного горизонта почв. При внесении единой дозы азотных удобрений для всего поля в зонах с неблагоприятными свойствами подпахотного горизонта может быть внесен избыток азота, а в зонах, где физико-химические свойства подпахотного горизонта не лимитируют урожайность, – недостаточное количество азота. Поэтому для дифференцированного применения азотных удобрений важно разработать простой и недорогой метод, позволяющий выявлять вышеуказанные зоны на полях.

В 2001 г. к северу от г. Бирчип было картировано поле по величине удельной электропроводности (ЕС) с использованием прибора ЕМ38. Картирование проводилось в начале марта для получения наиболее сильного сигнала в тех случаях, когда предшествующей культурой было использовано наименьшее количество влаги из подпахотного го-



**Общий вид поля в районе г. Варракнабеала:** делянки с разными сроками и способами внесения азотных удобрений.

**Таблица 2.** Отзывчивость пшеницы на применение азотных удобрений (40 кг N/га) при наличии неблагоприятных физико-химических свойств у подпахотного горизонта (10 районов) и при их отсутствии (4 района) в полевых опытах, проведенных в 1999-2004 гг. в северо-западной части штата Виктория.

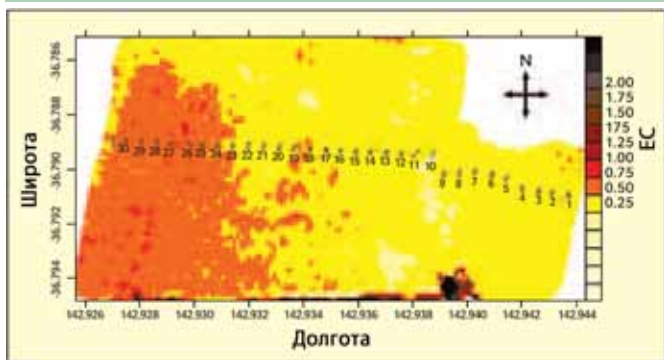
Опыты	----- Урожайность зерна, т/га -----			
	Без азота	Допосевное ленточное внесение <sup>1</sup>	Припосевное ленточное внесение в середину междурядий <sup>2</sup>	Дробное внесение <sup>3</sup>
Все	2.94 a	3.11 ab	3.52 c	3.30 b
При наличии неблагоприятных свойств у подпахотного горизонта	2.80 a	2.92 a	3.45 b	3.17 ab
При отсутствии неблагоприятных свойств у подпахотного горизонта	3.27 a	3.58 b	3.64 b	3.62 b

<sup>1</sup> Допосевное ленточное внесение проводилось примерно за 2 недели до посева (ширина междурядий – 22 см).

<sup>2</sup> Припосевное ленточное внесение в середину каждого 2-го междурядья (ширина междурядий – 44 см).

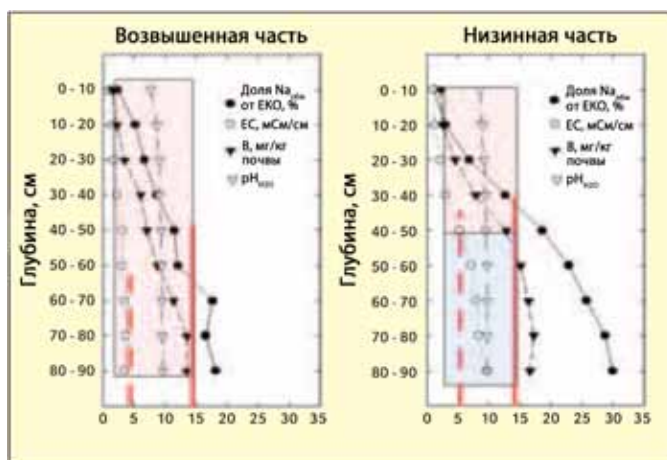
<sup>3</sup> Дробное внесение: припосевное ленточное внесение в середину каждого 2-го междурядья (50%) + подкормка вразброс в фазу выхода в трубку (50%).

При сопоставлении урожайности по вариантам опытов разные буквы указывают на достоверные различия ( $p < 0.05$ ).



**Рис. 2.** Картограмма удельной электропроводности (мСм/см), измеренной с помощью прибора EM38 в режиме горизонтального диполя в марте. Показано 30 парных участков – внутри и вне полосы с внесением карбамида (ширина полосы – 10 м, ленточный способ внесения, срок внесения – май).

ризонта. Плохое использование влаги из подпахотного горизонта растениями – хороший индикатор неблагоприятных физико-химических свойств данного горизонта. Это обычно связано с засолением и осолонцеванием, что дает высокие показания ЕС во влажной почве. Токсичное для растений содержание водорастворимого бора или переуплотнение почвы – это также возможные неблагоприятные свойства подпахотного горизонта, однако они не выявляются при измерении величины ЕС. Следовательно, наличие неиспользованной растениями влаги в подпахотном горизонте почвы после уборки может служить индикатором его неблагоприятных свойств, но не позволяет установить возможные причины. Согласно картограмме, созданной с помощью прибора EM38, высокие значения ЕС были получены примерно для одной трети поля. Это простирающаяся на запад низинная часть с гильгайными комплексами, для которой характерно сильное пространственное варьирование физико-химических свойств почвы (рис. 2). Гильгаи – бугорково-западинный микрорельеф, характерный для глинистых почв, в которых протекают процессы набухания и усадки при сменяющихся циклах увлаж-

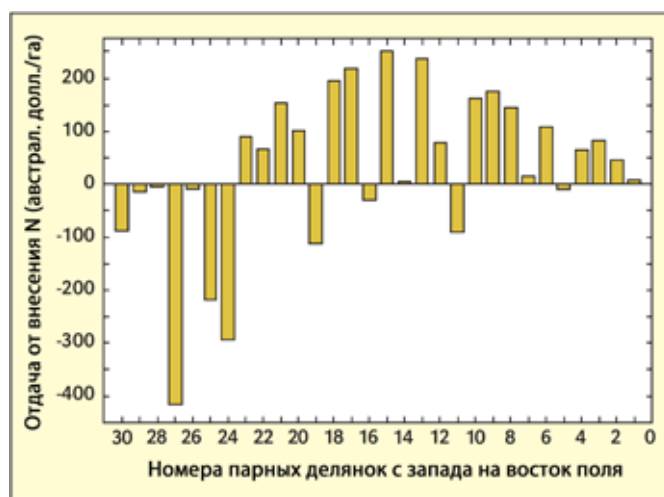


**Рис. 3.** Физико-химические свойства двух почвенных профилей: глубина проникновения корневой системы на почвах возвышенных элементов рельефа – почти 1 м, а на почвах в низинной части рельефа – около 0.5 м (район г. Бирчип, 2001 г.).

*Дается ЕС фильтратов из насыщенных водой почвенных паст и содержание водорастворимого бора.*

нения-высыхания. Почвы возвышенных элементов рельефа имеют более высокое содержание песчаной фракции. Для данных почв характерны более низкие значения ЕС, и, предположительно, они имеют меньше ограничений для развития корневой системы в подпахотном горизонте (рис. 3).

В мае 2001 г. полосой вдоль поля ленточным способом был внесен карбамид (30 кг N/га). Ширина полосы составила 10 м. Пшеница (сорт Н45) была посеяна в середине июня. В начале августа в 30-ти точках, расположенных вдоль удобренной азотом полосы (с интервалом 50 м), был проведен отбор почвенных образцов с помощью бура. Почвенные образцы отбирались также и с примыкающих участков поля, где карбамид не вносился. Уборка проводилась в ноябре, и учет урожайности был проведен с делянок (10 м × 2 м) как в пределах удобренной азотом полосы, так и вне ее. Это позволило сопоставить данные по урожайности зерна и содержанию белка в зерне с физико-химическими свойствами почвы, включая величину ЕС, картированную с помощью прибора EM38 (рис. 2), в вариантах с внесением и без внесения карбамида. Влияние азотного удобрения на урожайность и содержание белка в зерне определялось рельефом поля и физико-химическими свойствами почвы, включая величину ЕС. Для каждой делянки была определена стоимость зерна с учетом содержания белка в зерне, а также содержания сорной примеси, и, исходя из полученной урожайности зерна, рассчитана прибыль (австрал. долл./га). Разница между прибылью для делянок с внесением и без внесения карбамида (полоса с внесением карбамида и парно расположенные делянки, где карбамид не вносился), показана на рис. 4. Данный показатель хорошо согласуется со значениями ЕС для соответствующих частей поля, как следует из картограммы, составленной с помощью прибора EM38.



**Рис. 4.** Экономическая отдача от применения карбамида (австрал. долл./га): разница между прибылью для делянок с внесением 30 и 0 кг N/га (30 делянок внутри полосы с внесением карбамида и 30 парно расположенных делянок, где карбамид не вносился). Прибыль рассчитывалась исходя из урожайности зерна и его качества – содержания белка и содержания сорной примеси с использованием «Золотой таблицы премий за качество» Австралийского совета по зерну (AWB 'Golden Returns' matrix).



Развитие **корневой системы** пшеницы при наличии неблагоприятных физико-химических свойств у подпахотного горизонта (почвенный разрез в районе г. Варракнабеаль).

ответственно, прибыли в результате образования большой вегетативной массы в ущерб формированию зерна, а также уменьшения размера зерен.

Средняя урожайность на данном поле при внесении карбамида составила 3.1 т/га, а среднее содержание белка в зерне – 10.5%. На картограмме, показанной на **рис. 2**, можно провести линию между 23-й и 24-й парами делянок и выделить 2 зоны. Если бы в зоне с неблагоприятными физико-химическими почвенными свойствами не вносился карбамид, средняя урожайность на данном поле составила бы 3.3 т/га, а среднее содержание белка в зерне – 11.0%. При таком дифференцированном внесении азота прибыль была бы выше на 50 австрал. долл./га частично за счет снижения затрат на азотные удобрения, а также за счет повышения качества зерна в зонах с неблагоприятными свойствами подпахотного горизонта. Таким образом, среднюю урожайность зерна на данном поле, а также содержание белка в зерне можно повысить при практически тех же или даже более низких затратах на азотные удобрения.

Картирование величины ЕС, а также изучение отзывчивости на азотные удобрения по вышеуказанной схеме (полоса с внесением карбамида), было дополнительно проведено для 7-ми полей в течение двух сезонов. Согласно классификации почв Австралии ([http://www.clw.csiro.au/aclep/asc\\_re\\_on\\_line/soilhome.htm](http://www.clw.csiro.au/aclep/asc_re_on_line/soilhome.htm)), типичный почвенный покров исследованных полей – это комплексы вертосолей (Vertosols) [«эпикарбонатная» «эндогипернатриевая» самомульчирующаяся серая вертосолея], калькарасолей (Calcarasols) [«эпигипернатриевая» структурированная «гиперкальциковая» калькарасоля] и содосолей (Sodosols) [«вертикальные» и кальциковые красные содосоли]. Учет урожайности проводился близко к точкам отбора почвенных образцов. Сопоставление урожайности внутри и вне полосы с внесением кар-

Допосевное ленточное внесение карбамида было прибыльным или же безубыточным примерно для двух третей поля. Согласно картограмме, составленной в марте, здесь были получены значения  $ЕС \leq 0.25$  мСм/см. Для одной трети поля были характерны значения  $ЕС > 0.25$  мСм/см, что соответствует сильносолонцеватым и сильнозасоленным почвам гильгаев. Внесение карбамида приводило здесь к сильному снижению урожайности и, со-

бамида позволило оценить отзывчивость пшеницы на азотные удобрения.

Согласно полученным результатам, в 2001 г. наблюдалась относительно высокая урожайность и высокая отзывчивость пшеницы на азотное удобрение, а в засушливом 2002 г. – низкая урожайность и низкая отзывчивость на азотное удобрение. Снижение урожайности при внесении азота в зонах с сильнозасоленными почвами было вызвано образованием большой вегетативной массы в ущерб формированию зерна, поскольку запасы продуктивной влаги в почве были недостаточными для налива зерна у наиболее раскустившихся растений. Внесение азотных удобрений в зонах со слабозасоленными почвами способствовало получению высокой прибавки урожайности на пяти из восьми полей. При этом наблюдалось снижение отзывчивости растений на азот с ростом степени засоления почв. Полученные результаты были обобщены в виде уравнения, которое позволяет рассчитать минимально возможную прибавку урожайности при внесении азота в зависимости от показаний прибора ЕМ38.

Данное уравнение было использовано для прогнозирования зон в пределах обследованных полей, где внесение азота может быть экономически выгодным. При этом подразумевается 100-процентная доходность от вложенных в азотные удобрения средств, то есть стоимость прибавки урожая должна в два раза превышать стоимость внесенного удобрения. На одном из полей вероятность такой прибыльности при внесении единой для всего поля дозы азота составила 21%. Однако в случае внесения азотных удобрений только в зонах, где величина ЕС составляет менее 0.75 мСм/см, вероятность получения вышеуказанной прибыли возрастала до 65% (**табл. 2**). Дополнительное использование такого показателя, как содержание белка в зерне может помочь в решении вопроса о необходимости внесения азота в зонах, где низкие прибавки урожайности зерна от азотных удобрений указывают на экономическую нецелесообразность их применения.

Кроме того, отказ от использования азотных удобрений в зонах с благоприятными физико-химическими свойствами почвы может быть оправдан в тех случаях, когда в результате высокой урожайности предшествующей культуры запасы продуктивной влаги в почве сильно истощаются, и в дальнейшем выпадает



**Подпахотный горизонт** с неблагоприятными физико-химическими свойствами (почвенный разрез в районе г. Варракнабеаль).



**Соавтор статьи – Чарли Уолкер**, обсуждающий систему земледелия на почвах с неблагоприятными физико-химическими свойствами подпахотного горизонта.

недостаточное количество осадков для их восполнения.

Стоимость однократного обследования с помощью прибора EM38 составляет порядка 5 австрал. долл./га. Исходя из данных, полученных для 8-ми изученных полей, ежегодная прибыль от дифференцированного внесения азотных удобрений могла бы составить около 5 австрал. долл./га. Подразумевается, что азотные удобрения не используются в зонах с неблагоприятными почвенными свойствами, что составляет 30% от общей площади полей. Для остальной площади полей в данный расчет в качестве примера заложена доза азота, равная 20 кг N/га.

Несмотря на то, что инвестиции, а также временные затраты, связанные с использованием данных технологий точного земледелия, не оправдывают себя из-за низкой прибыльности, получены достаточно обнадеживающие результаты. Они обосновывают внесение азотных удобрений в тех зонах полей, где растения отзываются на азот. При этом оправдано проведение дальнейших исследований по улучшению систем дифференцированного применения азотных удобрений в районах с сильным пространственным варьированием физико-химических свойств подпахотного горизонта.

*Д-р Ангус – почетный исследователь отдела по растениеводству Организации стран Британского содружества по научным и промышленным исследованиям (CSIRO Plant Industry), г. Канберра (Австралия); e-mail: john.angus@csiro.au.*

*Г-н Уолкер – менеджер по техническим вопросам и развитию «Инситек Пивот Фертилайзерс» (Incitec Pivot Fertilizers).*

*Д-р Педлер – бывший научный сотрудник Мельбурнского университета, г. Хоршам (Австралия).*

*Д-р Нортон – Региональный директор Международ-*

*ного института питания растений по Австралии и Новой Зеландии, г. Хоршам; e-mail: rnorton@ipni.net.*

## Благодарности

Данные исследования финансировались Корпорацией по исследованиям и разработкам в области зерновых культур (CSP340) при поддержке со стороны Организации стран Британского содружества по научным и промышленным исследованиям, Мельбурнского университета, «Инситек Пивот Фертилайзерс» (Incitec Pivot Fertilizers) и Группы по земледелию района Бирчип.

## Литература

- Angus, J.F., R.M. Norton, J.F. Pedler, C.N. Walker. 2004. Cereal response to N fertiliser in relation to subsoil limitations, *Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia. Australian Society of Agronomy. [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/5/1/1170\\_angusjf.htm](http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/5/1/1170_angusjf.htm)*
- Armstrong, R.D. (Ed). 2009. *Identifying, understanding and managing hostile subsoils for cropping. The Profitable Soils Group, 92 p.*
- Kaur, S., M. Nicolas, R. Ford, R. Norton, and P. Taylor. 2006. Selection of Brassica rapa genotypes for tolerance to boron toxicity. *Plant Soil*, 285, 115-123.
- Kirkegaard, J.A., J.M. Lilley, G.N. Howe, and J.M. Graham. 2007. Impact of subsoil water use on wheat yield. *Aust. J. Agric. Res.* 58, 303-315.
- Norton, R.M., J. Pedler, C.N. Walker, and J.F. Angus. 2003. Optimum management of N fertiliser for wheat growing on alkaline soils. *Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, 2-6 Feb. 2003, Geelong, Victoria, Australia. <http://www.regional.org.au/au/asa/2003/p/5/norton.htm#TopOfPage>*
- Nuttall, J.G., R.D. Armstrong, D.J. Connor. 2005. Early growth of wheat (*Triticum aestivum* cv. Frame, BT Schomburgk, and Schomburgk) is more sensitive to salinity than boron at levels encountered in alkaline soils of south-eastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 46, 1507-1514.
- O'Leary, G., J. Peters, and D. Roget. 2006. A new standard for electromagnetic induction mapping of soils for the grains industry. *Proceedings of the 13th Australian Agronomy Conference, 10-14 September 2006, Perth, Western Australia. Australian Society of Agronomy. [http://www.regional.org.au/au/asa/2006/poster/soil/4586\\_oleary.htm](http://www.regional.org.au/au/asa/2006/poster/soil/4586_oleary.htm)*
- Pedler, J., M. Kentish, C. Walker, R. Norton, J. Ferrier, and J. Angus. 2003. Determining zones for yield response to N fertilizer in a paddock with subsoil limitations, using electromagnetic induction techniques. *Proceeding of the 11th Australian Agronomy Conference, 2-6 Feb 2003, Geelong, Victoria. Australian Society of Agronomy. <http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/15/pedler.htm#TopOfPage>*

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

# Система применения азотных удобрений, направленная на повышение прибыльности и устойчивости возделывания пшеницы

Д. Нэш, П. Риффкин, Р. Харрис, А. Блэкберн, К. Ничолсон и М. Макдональд

*Установлено, что гибкие агротехнологии возделывания пшеницы, включающие припосевное внесение минимальных доз азота, способствуют максимальному использованию потенциала урожайности, улучшают экономическую отдачу и повышают экологическую устойчивость агроценозов пшеницы в юго-восточной части Австралии. Проведен анализ различных комбинаций таких факторов, как исходные запасы минерального азота в почве, а также дозы и сроки внесения азотных удобрений при моделировании выращивания пшеницы в зоне с высоким количеством осадков (район г. Дункелд, штат Виктория).*

**П**отери азота из почвы за счет вымывания, а также поверхностного стока негативно влияют на состояние поверхностных и грунтовых вод. В связи с этим были разработаны такие системы земледелия, которые не только повышают доходность фермеров, но и уменьшают неблагоприятные последствия для окружающей среды. В юго-восточной части Австралии в зонах с высоким количеством осадков (>550 мм в год) пастбища для выпаса овец и крупного рогатого скота переводятся в категорию земель для крупномасштабного возделывания сельскохозяйственных культур. С большой долей вероятности можно утверждать, что подобные изменения в структуре использования земель увеличивают поступление азота в поверхностные воды. Это справедливо как применительно к традиционным системам возделывания сельскохозяйственных культур, так и к системам земледелия с использованием приподнятых гряд. Однако пока еще не разработан действенный способ снижения потерь азота при возделывании сельскохозяйственных культур в зонах с высоким количеством осадков.

В ранее опубликованной статье мы описали модель на основе Байесовской сети доверия, разработанную для оценки потерь азота в растворенной форме при возделывании сельскохозяйственных культур в зонах с высоким количеством осадков (Nash и др., 2010). Сеть сводит воедино субъективную и объективную информацию в виде концептуально обоснованной модели с логической и понятной взаимосвязью между потерями азота и основными элементами агротехнологий. При этом проводится и анализ неопределенностей. В настоящей работе для оценки рисков, связанных с потерями азота при возделывании пшеницы в районе г. Дункелд в юго-восточной части Австралии, мы использовали несколько модифицированную Байесовскую сеть. Урожайность была проанализирована с помощью модели продукционного процесса растений APSIM (Keating и др., 2003). Проведен также и анализ чистой прибыли. Продукционный процесс растений и водный баланс моделировались с использованием климатических данных за период 1889-2008 гг. исходя из одинаковых погодных условий и состояния почвы при посеве в течение 120-ти лет. Полученные результаты

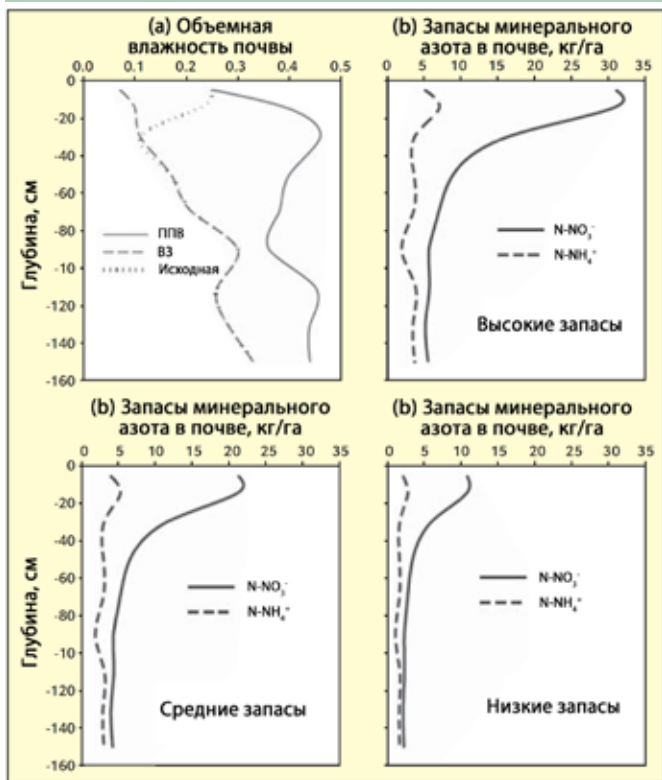
были использованы для: (а) изучения взаимосвязей между экологическими и экономическими показателями, связанными с применением азотных удобрений; (б) разработки рекомендаций по применению азотных удобрений для сортов пшеницы, различающихся по продолжительности вегетационного периода, при разных запасах минерального азота в почве до посева. Изученные сценарии включали различные комбинации основного внесения азотных удобрений при посеве и подкормок в период вегетации (табл. 1).

Влияние различных систем применения азотных удобрений на состояние окружающей среды оценивалось исходя из потерь азота в растворенной форме. «Фактор потерь растворенного N» – это потери азота, взвешенные с учетом вероятности их возникновения с использованием вышеуказанной Байесовской сети. При этом учитывались сортовые особенности, почвенно-климатические условия, а также дозы и сроки внесения азотных удобрений (Nash и др. 2010). «Фактор потерь растворенного N» не является количественной мерой потерь азота. Низкие и высокие значения данного показателя свидетельствуют соответственно о

**Таблица 1.** Системы применения азотных удобрений, использованные для сравнения экологических и экономических показателей возделывания пшеницы в районе г. Дункелд.

Система применения азотных удобрений <sup>a</sup>	Сроки и дозы внесения азотных удобрений			
	При посеве	CP31 <sup>a</sup>	CP39 <sup>a</sup>	Сумма
----- кг N/га -----				
Д0 0N	10	0	0	10
Д0 25N	35	0	0	35
Д0 50N	60	0	0	60
Д0 100N	110	0	0	110
CP31 25N	10	25	0	35
CP31 50N	10	50	0	60
CP31 100N	10	100	0	110
CP39 25N	10	0	25	35
CP39 50N	10	0	50	60
CP39 100N	10	0	100	110
Д0 25N CP31 25N	35	25	0	60
Д0 50N CP31 50N	60	50	0	110
CP31 25N CP39 25N	10	25	25	60
CP31 50N CP39 50N	10	50	50	110

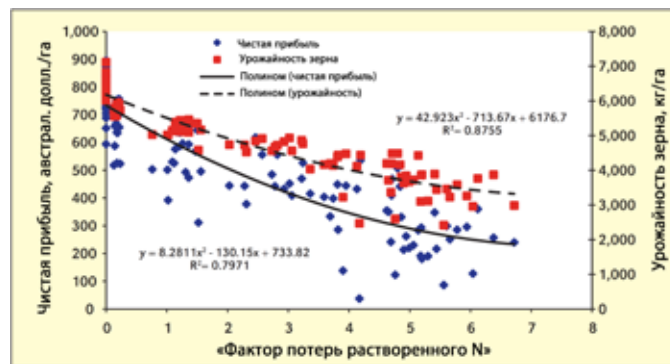
<sup>a</sup>Д0 – посев, CP31 и CP39 – стадии роста 31 и 39 по Цадоксу соответственно (Zadoks и др., 1974).



**Рис. 1.** Исходная влажность почвы (а) и запасы минерального азота в почве (b-d), использованные для моделирования. Рисунки (b), (c) и (d) соответствуют высоким, средним и низким запасам минерального азота соответственно. ППВ – предельная полевая влагоемкость, ВЗ – влажность завядания.

низкой и высокой вероятности потерь азота. Оценку «фактора потерь растворенного N» в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений проводили для низких, средних и высоких запасов минерального азота в почве до посева (рис. 1). В данное исследование были включены три сорта пшеницы: Сильверстар® (скороспелый); Чара® (среднеспелый) и Маккеллар® (позднеспелый).

Маккеллар – сорт краснозерной пшеницы, который, соответственно, используется на фураж, в то время как Сильверстар и Чара потенциально пригодны для мукомольных целей. Из-за разницы цен на фуражное и продовольственное зерно прибыль



**Рис. 2.** Урожайность зерна пшеницы и чистая прибыль в зависимости от степени воздействия системы земледелия на окружающую среду («фактор потерь растворенного N») в юго-восточной части Австралии (район г. Дункелд). Данная оценка проведена для низких исходных запасов минерального азота в почве и внесения 10 кг N/га при посеве.

для указанных сортов различалась. Как показало моделирование, влияние системы применения азотных удобрений на прибыльность возделывания пшеницы, а также на потери азота в растворенной форме было одинаковым для среднеспелого и позднеспелого сортов, однако «фактор потерь растворенного N» был выше для скороспелого сорта Сильверстар.

В целом, при более высоких исходных запасах минерального азота в почве пшеница характеризовалась более высокой урожайностью независимо от применяемых доз азотных удобрений. Чистая прибыль зависела от дозы азота, исходных запасов минерального азота в почве, а также от сорта ( $p = 0.001$ ). Чистая прибыль повышалась с ростом дозы азота, составив 264, 444, 539 и 602 австрал. долл./га при внесении 10, 35, 60 и 110 кг N/га соответственно. На полученной кривой выделялось два участка, которые описывались линейной ( $p = 0.001$ ) и квадратичной функцией ( $p = 0.001$ ). С ростом плодородия почвы – запасов минерального азота «фактор потерь растворенного N» снижался (составив 4.0, 2.0 и 0.4 единиц при низких, средних и высоких запасах минерального азота соответственно). Данный показатель уменьшался и с ростом доз азота (составив 4.4, 3.2, 2.2 и 1.0 при внесении 10, 35, 60 и 110 кг N/га соответственно).

Полученные результаты предполагают, что при

**Таблица 2.** Анализ прибыльности и экологической устойчивости возделывания пшеницы сорта Чара при разных дозах и сроках внесения азотных удобрений, выполненный с использованием модели продукционного процесса растений APSIM и Байесовской сети доверия.

Запасы минерального азота в почве	Суммарная доза азота, кг/га	Чистая прибыль, австрал. долл./га	«Фактор потерь растворенного N», ед.	Уровень устойчивости агроценоза, ед.	Рекомендации
Низкие	110	576	1.1	505	60 кг N/га при посеве и подкормка в CP31 <sup>a</sup> (50 кг N/га). <sup>1</sup>
	50	750	0.2	>3000	2 подкормки (по 25 кг N/га). <sup>2</sup>
Средние	110	780	0.0	>3000	или 2 подкормки (по 50 кг N/га).
Высокие	50	873	0.0	>3000	2 подкормки (по 25 кг N/га). <sup>3</sup>

<sup>a</sup>CP31 – стадия роста 31 по Цадоксу – различается первый узел (Zadoks и др., 1974).

<sup>1</sup>Данные рекомендации отражают снижение объемов внутрипочвенного стока при высокой продуктивности пшеницы (в результате использования воды растениями).

<sup>2</sup>Наиболее подходящая агротехнология.

<sup>3</sup>Наиболее подходящая агротехнология: верхний диапазон чистой прибыли (максимальное значение минус 30 австрал. долл./га) и низкий риск негативного влияния на состояние окружающей среды.



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 Нэйш<sup>1</sup> (e-mail: david.nash@depi.vic.gov.au), Р. Харрис<sup>2</sup> и П. Риффкин<sup>2</sup> – исследователи Департамента базовых отраслей промышленности и окружающей сре-

ды штата Виктория (<sup>1</sup>г. Эллингтон, <sup>2</sup>г. 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. Квинслифф, 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):

Тайдвотер, 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
----- см -----						
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

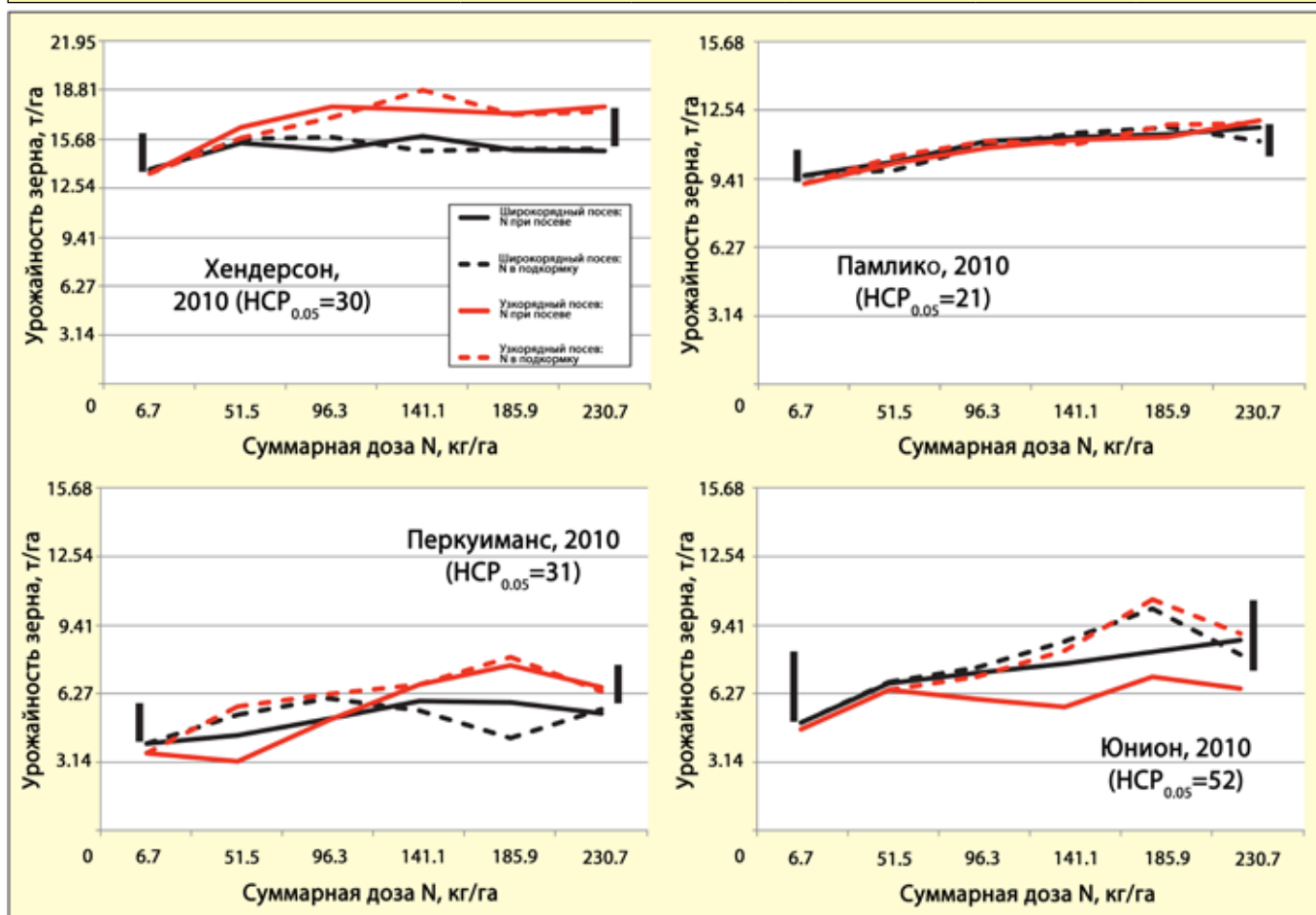
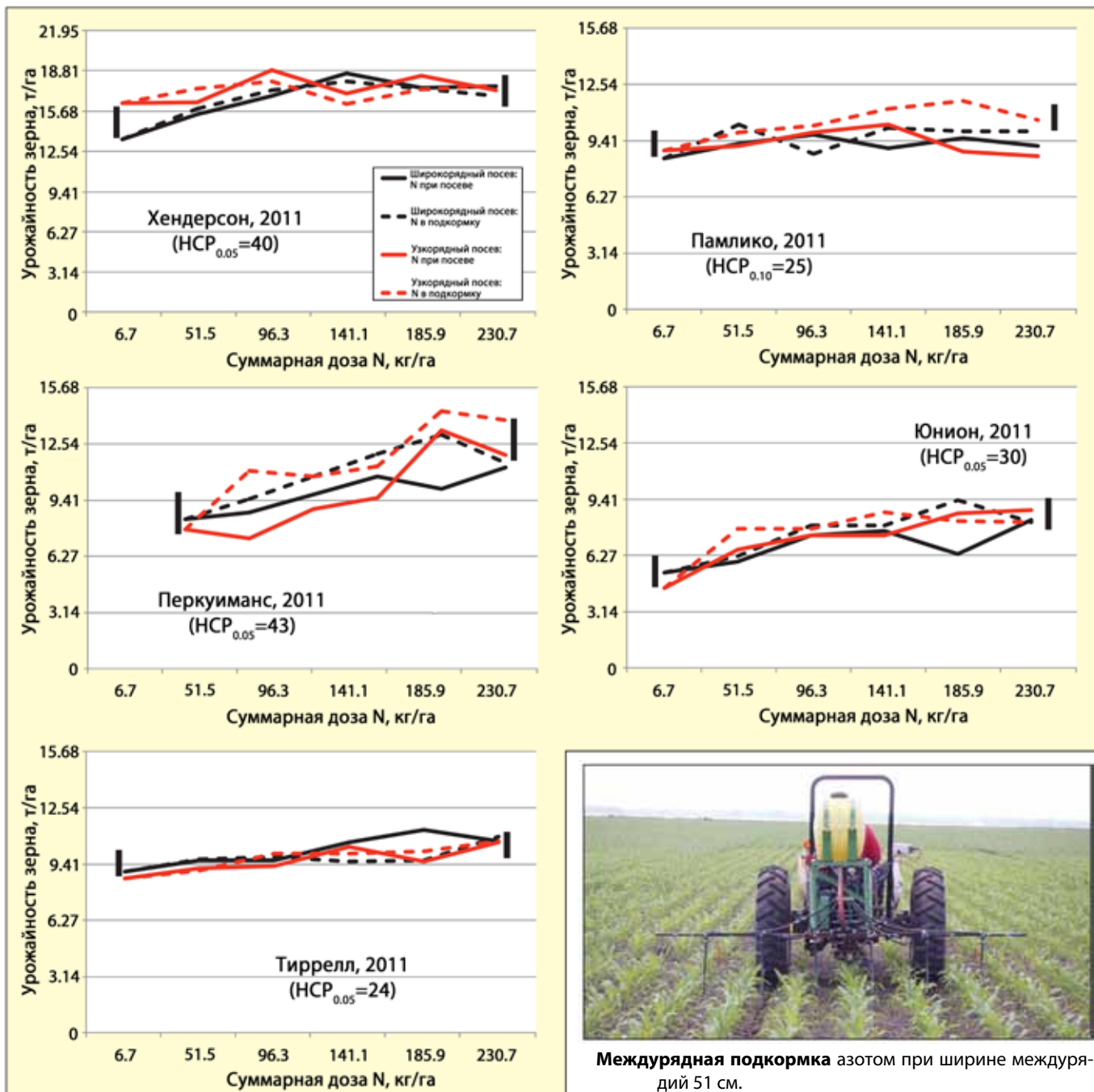


Рис. 1. Отзвчивость кукурузы на применение азотных удобрений в опытах, проведенных в 2010 г. Вертикальные столбцы показывают наименьшую существенную разность ( $p < 0.05$ ) для сравнения средних значений по вариантам.



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



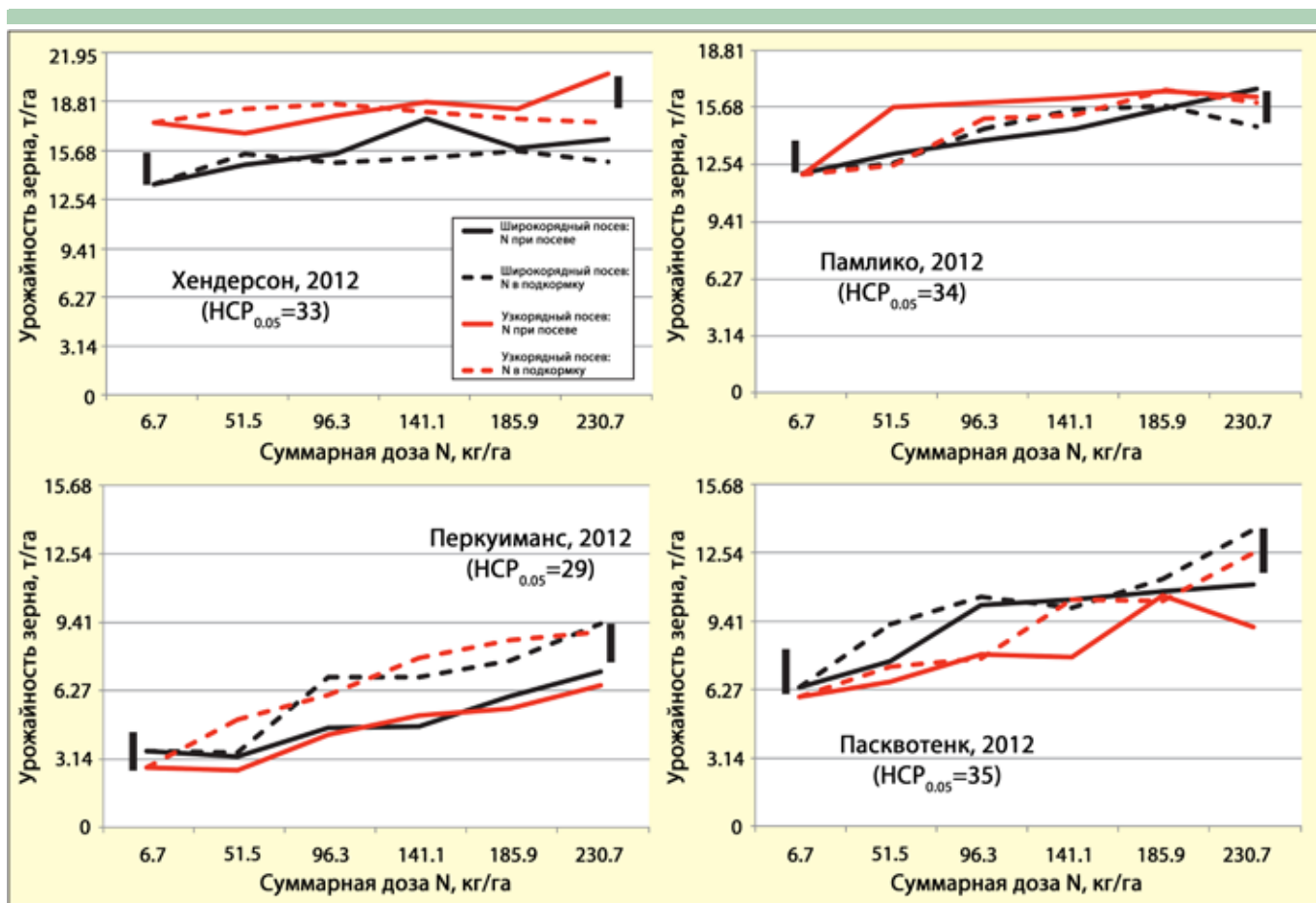
**Рис. 2.** Отзывчивость кукурузы на применение азотных удобрений в опытах, проведенных в 2011 г. Вертикальные столбцы показывают наименьшую существенную разность ( $p < 0.05$ ) для сравнения средних значений по вариантам.

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 GLM<sup>1</sup> 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 отзывчивости 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 отзывчивость кукурузы на внесение возрастающих доз азота. В табл. 4 показано взаимодействие двух других

<sup>1</sup> Обобщенный линейный анализ



**Рис. 3.** Отзвчивость 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 отзвчивости 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 подборок. 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 опытах<sup>1</sup>).

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 <sup>2</sup> , %	+19%	+3%	+17%	+8%

<sup>1</sup>Разные 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).  
<sup>2</sup>Максимальная 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 опытах<sup>1</sup>).

Способ посева	Сроки внесения азота	Относительная урожайность, % от максимальной	Число зерен в ряду, шт.
Узкорядный	При посеве	79 b <sup>2</sup>	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

<sup>1</sup>Минимальная доза азота была исключена при оценке влияния указанных факторов.  
<sup>2</sup>Разные 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

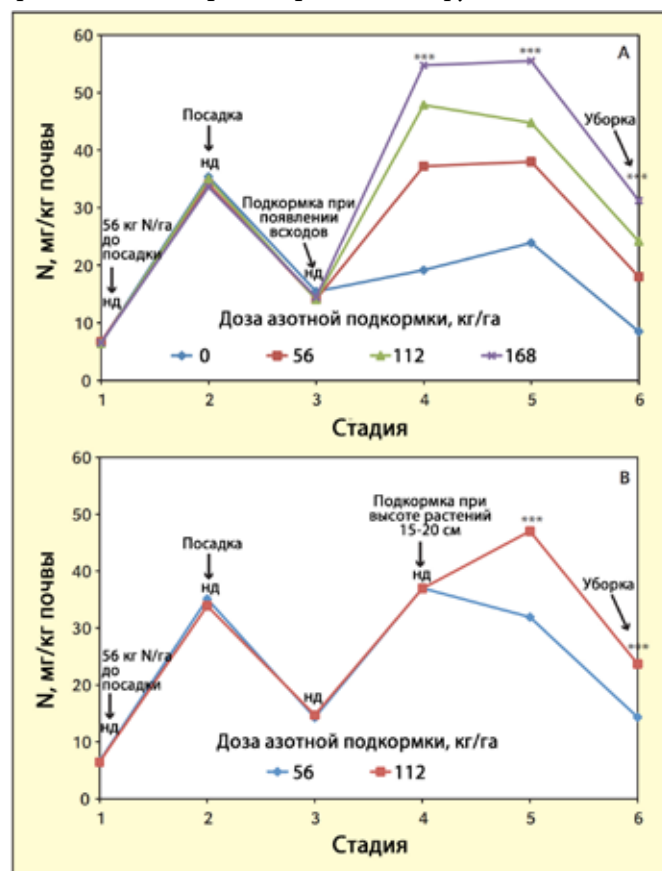


Рис. 1. Влияние междурядных подкормок азотом при появлении всходов (А) и при высоте растений 15-20 см (В) на содержания минерального азота в слое почвы 0-20 см. Примечания: нд – статистически незначительные различия, \*\*\* – статистически достоверные различия (p = 0.0001).

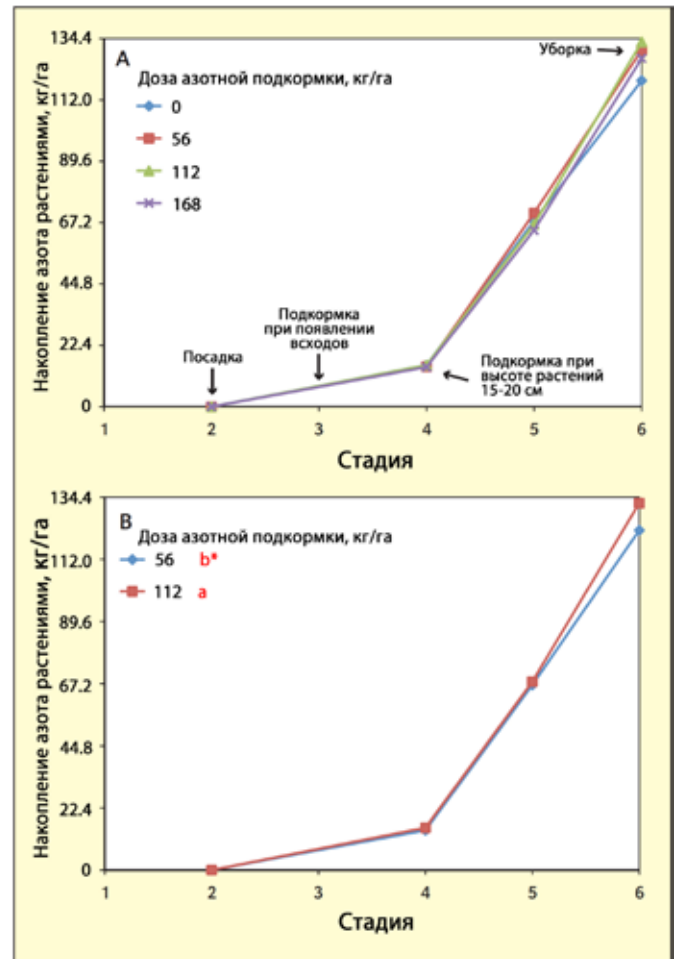


**Рис. 2.** Динамика накопления абсолютно сухой биомассы растений (листья, стебли и клубни). Влияние азотных подкормок при появлении всходов и при высоте растений 15-20 см на накопление биомассы, а также взаимодействие двух факторов (1-я и 2-я азотные подкормки) статистически недостоверно ( $p = 0.05$ ).

(примерно за 30 дней до посадки) было внесено 56 кг/га азота в виде аммиачной селитры (34% N). При появлении всходов – через 20-30 дней после посадки была проведена 1-я междурядная подкормка азотом в дозах 0, 56, 112 и 168 кг/га в виде раствора КАС (32% N). Через 40-50 дней после посадки (при высоте растений 15-20 см) была проведена 2-я междурядная подкормка азотом в дозах 56 и 112 кг/га также в виде раствора КАС. Общее количество внесенного в почву азота составило 112-336 кг/га. Отбор почвенных и растительных образцов проводился в следующие стадии: 1) фумигация почвы и допосадочное внесение азота; 2) посадка картофеля; 3) 1-я подкормка азотом при появлении всходов; 4) 2-я подкормка азотом при высоте растений 15-20 см; 5) полное цветение; 6) уборка. Определялось содержание минерального азота в почве и общего азота в растениях. Полученные данные, включая урожайность клубней, были усреднены за два года исследований.

### Содержание минерального азота в почве

На **рис. 1** показана динамика содержания минерального азота в почве. Исходное значение составило 7 мг/кг почвы (сумма нитратного и аммонийного азота). Допосадочное внесение азота в дозе 56 кг N/га повысило содержание минерального азота в почве к моменту посадки картофеля до 34 мг/кг почвы. Перед появлением всходов данный показатель снизился более чем на 50%. Снижение содержания минерального азота в почве совпало с периодом выпадения сильных осадков. Как показали предыдущие исследования, до появления всходов растения картофеля не поглощают азот из почвы и используют запасы азота из семенного клубня (Ewing, 1978). Однако содержание минерального азота в почве, как показано на **рис. 1**, снизилось между стадиями 2 и 3, несмотря на то, что растения не поглощали азот из почвы в течение данного периода. В связи с тем, что всходы появлялись примерно через 60-70 дней после основного внесения азота в почву, по-видимому, азот вымывался из почвенного профиля в результате выпадения большого



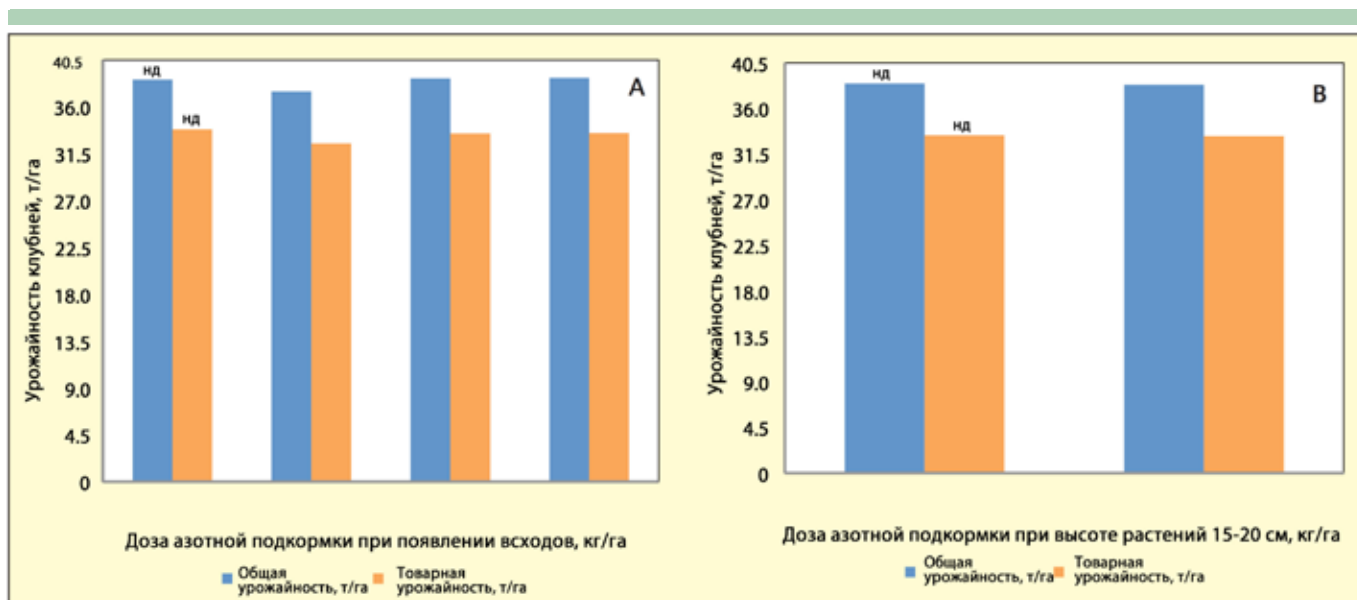
**Рис. 3.** Влияние азотных подкормок при появлении всходов (А) и при высоте растений 15-20 см (В) на накопление азота растениями картофеля (надземная биомасса и клубни). Влияние азотных подкормок при появлении всходов на накопление азота растениями статистически недостоверно. \*Разные буквы указывают на статистически достоверные различия ( $p = 0.05$ ).

количества осадков. Возможно, происходили также и газообразные потери азота из почвы в атмосферу.

После проведения азотных подкормок в период появления всходов и при высоте растений 15-20 см содержание минерального азота в почве повышалось в соответствии с дозами азотной подкормки. При внесении азота в дозах более 224 кг N/га содержание минерального азота в почве после уборки составляло 22-39 мг/кг почвы.

### Динамика накопления биомассы и азота растениями

Подкормки азотом в период появления всходов и при высоте растений 15-20 см не оказали влияния на накопление абсолютно сухой биомассы растений. К моменту уборки растения картофеля формировали в среднем 7.2 т/га абсолютно сухой биомассы (**рис. 2**). Растения (листья, стебли и клубни) накапливали 110-124 кг N/га за вегетационный период (**рис. 3**). Подкормка азотом в период появления всходов не оказала влияния на накопление азота растениями. Вторая подкормка азотом (при высоте растений 15-20 см) в дозе 112 кг/га немного увеличивала содержание общего азота в растениях по сравнению с дозой



**Рис. 4.** Влияние азотных подкормок при появлении всходов (А) и при высоте растений 15-20 см (В) на общую и товарную урожайность картофеля (статистически недостоверное влияние,  $p = 0.05$ ).

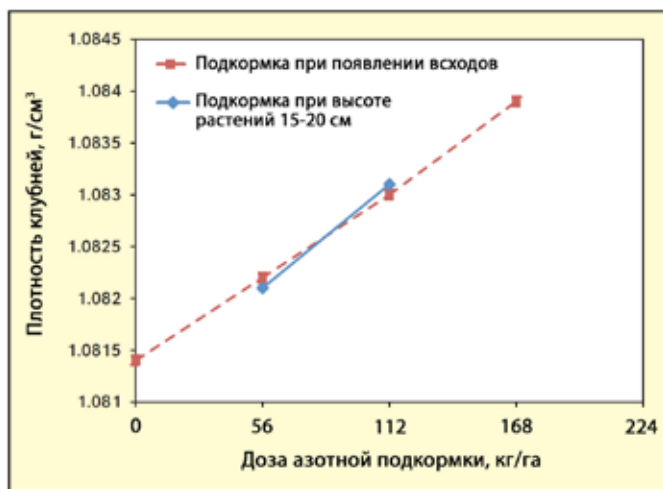
56 кг/га, но роста урожайности клубней при этом не наблюдалось (рис. 4).

### Урожайность

Дозы и сроки проведения азотных подкормок не оказали влияния на урожайность клубней картофеля, которая была в диапазоне 37.0-38.1 т/га. Отмечено изменение плотности клубней при проведении азотных подкормок в изученные сроки. Возрастающие дозы азотной подкормки, проведенной как в период появления всходов, так и при высоте растений 15-20 см способствовали росту вышеуказанного показателя [ $p = 0.0001$ ] (рис. 5). Более высокая плотность клубней свидетельствует о большем содержании в них сухого вещества, и такой картофель лучше всего подходит для жарки.

### Выводы

В данном исследовании изучались дозы и сроки проведения азотных подкормок при возделывании



**Рис. 5.** Влияние азотных подкормок при появлении всходов и при высоте растений 15-20 см на плотность клубней картофеля (г/см³).

картофеля. Суммарные дозы азота составили 112-336 кг/га. Подкормки проводились при появлении всходов и при росте растений 15-20 см. В полевых опытах определялось также и содержание минерального азота в почве.

Подкормка азотом в дозе 112 кг/га при росте растений 15-20 см оказала слабое влияние на содержание общего азота в растениях по сравнению с более низкой дозой (56 кг/га), однако это не отразилось на урожайности клубней. По-видимому, наиболее важный результат данных опытов с экономической точки зрения – это выявленное слабое влияние азотных подкормок на урожайность картофеля сорта Атлантик в засушливые годы, какими были 2011 и 2012 годы. Таким образом, в засушливые годы фермеры могут уменьшить затраты на азотные удобрения, проводя междурядные подкормки меньшими дозами азота, и это не приведет к снижению урожайности.

Полевые опыты, рассмотренные в данной статье, входят в научно-исследовательскую программу по изучению рациональных систем применения удобрений и орошения при выращивании картофеля в северо-восточной части штата Флорида. Проводятся также дополнительные исследования по изучению влияния допосадочного внесения азотных удобрений и систем орошения на продуктивность данной культуры.

Авторы – сотрудники кафедры плодовоовощеводства Университета штата Флорида, г. Гейнсвилл, штат Флорида (США); e-mail: lzota@ufl.edu.

### Литература


Ewing, E.E. 1978. *Plant Physiol.* 61:348-353.  
 USDA-NASS. 2013. *Fertilizer Use and Price.*

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



# Компании - члены IPNI


	Agrium Inc.		Compass Minerals Speciality Fertilizers
	Arab Fertilizer Association (AFA)		Intrepid Potash, Inc.
	Arab Potash Company		K+S KALI GmbH
	Белорусская калийная компания		The Mosaic Company
	CF Industries Holdings, Inc.		OCP S.A.
	Canadian Fertilizer Institute (CFI)		PotashCorp
	Fertiliser Association of India (FAI)		Simplot
	International Fertilizer Association (IFA)		Sinofert Holdings Limited
	International Potash Institute (IPI)		SQM
	Qatar Fertilizer Company		The Fertilizer Institute (TFI)
	Toros Tarim		Uralkali
	Toros Agri		Uralchem
	International Raw Materials LTD		Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ  
ИНСТИТУТ

Восточная Европа и Центральная Азия

125466 Российская Федерация, Москва, ул. Ландышева, д.12, вл. 17а  
Тел./Факс: 8 (495) 580 64 14  
<http://eeca-ru.ipni.net>  
<http://www.ipni.net>  
[ipni-eeca@ipni.net](mailto:ipni-eeca@ipni.net)



*Выше урожай и качество, сохраняя окружающую среду...  
С помощью науки*