

меньше азота. Наши экспериментальные участки были хорошо удобрены азотом, но содержание белка в зерне даже снизилось с 15,3% (2008 г.) и 15,5% (2009 г.) при нормальных условиях до 13,4% (2008 г.) и 13,5% (2009 г.) при повышенном содержании CO<sub>2</sub>. Также наблюдалось снижение содержания минеральных элементов и изменение других показателей качества зерна.

В дальнейшем наши исследования были направлены на выработку стратегий, позволяющих адаптировать пшеницу для производства зерна высокого качества. В 2009 и 2010 гг. в Хоршаме проведены сравнительные исследования роста растений, урожайности и качества зерна различных сортов пшеницы. К настоящему времени даже среди небольшого количества изученных сортов были выделены сорта, которые отличаются от других, и могут быть использованы для создания более адаптированных сортов.

В данной статье представлена только малая часть результатов большого междисциплинарного научного проекта FACE, направленного на поиск и разработку стратегий для адаптации зернового производства к изменениям климата. Другие направления научной работы в проекте посвящены изучению круговорота питательных элементов в почве, отзывчивости бобовых культур, а также влиянию вредителей и сорняков. Результаты этих исследований также используются для калибровки моделей урожайности с целью разработки стратегий для адаптации к более теплomu и сухому климату, а также обогащенному углеродом воздуху, которые, по-видимому, ожидают нас в будущем.

*Д-р Нортон – региональный директор программы IPNI в Австралии и Новой Зеландии (г. Хоршам, штат Виктория, Австралия; e-mail: rnorton@ipni.net).*

*Д-р Фитцджеральд – руководитель проекта FACE от Департамента базовых отраслей промышленности штата Виктория, (г. Хоршам, штат Виктория, Австралия; e-mail: glenn.fitzgerald@dpi.vic.gov.au).*

*Д-р Тауш – доцент кафедры лесоводства и экосистем, Мельбурнский университет, г. Кресвик, штат Виктория 3363, Австралия; e-mail: michael.tausz@unimelb.edu.au.)*

*Работа выполнена при финансовой поддержке фирмы Grains Research & Development Corp., Департамента базовых отраслей промышленности штата Виктория, Департамента сельского хозяйства, рыболовства и лесоводства Австралии, Департамента изменения климата Австралии, Мельбурнского университета и Международного института питания растений.*

*Авторы выражают благодарность сотрудникам Департамента базовых отраслей промышленности штата Виктория: Гарри О'Лири, Махабубур Молла, Рожеру Армстронгу, Николь Мэзерс, Джейсону Брэнду, Джо Люку, Петру Требицки, Ивану Моку, Вэнди Гриффитс, Джо Паноццо, Джеймсу Наттолла, Дебре Партигтон, Грэмму Томсону, Расселу Аргалла и Джастин Эллис, а также сотрудникам Мельбурнского университета: Саману Сеневира, Сабине Пош, Шу Ки Лам, Немеши Фернандо, Лакмини Тилакаратне, Марку Николасу, и Петеру Хови.*

*Подробнее о проекте AGFACE можно узнать по адресу: <http://piccc.org.au/AGFACE>*

## Литература

- CSIRO. 2011. <http://climatechangeinaustralia.com.au>, дата последнего обращения: август 2011.
- Carter, T.R., R.N. Jones, X. Lu, et al. 2007. In M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 133-171.

*Перевод с английского и адаптация: Иванова С.Е.*

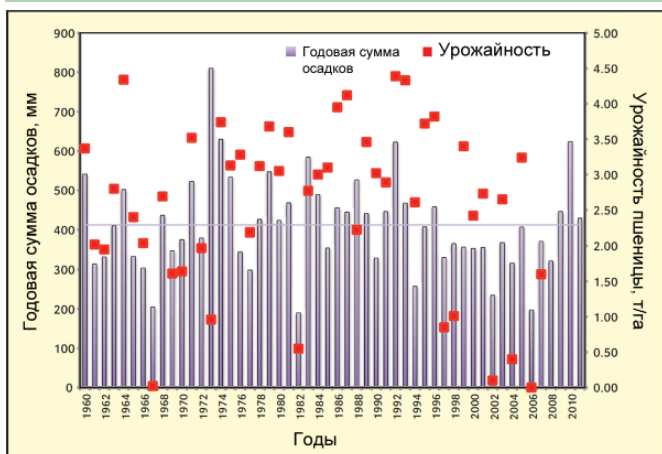
# Система применения удобрений под пшеницу в условиях изменчивого климата

Р. Нортон

*Внедрение технологий, позволяющих минимизировать риски, способствует рентабельному применению азотных и фосфорных удобрений и обеспечению потребностей сельскохозяйственных культур в азоте и фосфоре в условиях изменчивого климата, например, при возделывании пшеницы в «зерновом поясе» Юго-Восточной Австралии. Потребность растений в азоте и фосфоре можно изначально оценить, исходя из потенциальной урожайности, но, как показывают исследования, у азотных подкормок в период вегетации нет отрицательных моментов. Пока еще не разработано технологий подкормок фосфорными удобрениями, но подобные исследования ведутся, и уже есть определенность относительно направлений дальнейшей работы.*

**П**оэт 19-го века Доротея Маккеллар описывала Австралию, как страну «засух и затопляющих дождей». Данное описание справедливо и в наши дни. Юго-восточный «зерновой пояс» Австра-

лии пережил обширную засуху в конце 1990-х гг. и наводнения в 2010 и 2011 гг. На **рис. 1** представлена годовая сумма осадков для района Хоршам – «зернового пояса» штата Виктория. Данный показатель сильно



**Рис. 1.** Годовая сумма осадков и урожайность зерна пшеницы на полях фермера в районе Хоршам – «зерновом поле» штата Виктория (Австралия).

варьирует по годам под влиянием Тихого, Южного и Индийского океанов.

Неустойчивое выпадение осадков приводит к сильному варьированию урожайности – в ряде регионов страны при сильных колебаниях запасов продуктивной почвенной влаги при посеве и количества осадков за период вегетации коэффициент варьирования урожайности достигает 61% (Hochman et al. 2009). На **рис. 1** также показано, как урожайность пшеницы на полях фермера в районе Хоршам зависит от количества выпадающих осадков. Колебания урожайности в данном случае связаны с сильными изменениями суммы осадков по годам. Как простые, так и более сложные модели, разработанные с учетом количества осадков, позволяют сельхозпроизводителям оценить потенциальную урожайность к моменту посева или незадолго до него, а, следовательно, и потребность растений в элементах питания. Избыточное применение азотных и фосфорных удобрений – это неоправданный

расход средств и ресурсов, а внесение слишком высоких доз азота, особенно в засушливые сезоны, может привести к уменьшению размера зерна и сильному снижению закупочных цен на продукцию. При недовнесении удобрений потенциальная урожайность не достигается.

### Определение оптимальных доз азота и фосфора

Для расчета доз удобрений необходимо спрогнозировать достижимую (планируемую) урожайность – потенциальную урожайность, лимитированную условиями увлажнения. Ее можно определить, исходя из того, что формирование урожая зерна на единицу израсходованной растением воды составляет 20 кг/га/мм (French and Schultz, 1983). Количество воды, израсходованное растением за вегетационный период, устанавливается с учетом измеренных или рассчитанных запасов продуктивной почвенной влаги и ожидаемого количества осадков. Спрогнозировав урожайность пшеницы (**блок 1**), можно затем установить и потребность растений в элементах питания.

Исходя из рассмотренного в **блоке 1** примера, для получения указанной запланированной урожайности пшеницы, согласно расчетам, необходимо внести 116 кг N/га. При подобных расчетах предполагается ряд допущений, например, что глубина проникновения корней ничем не ограничена, коэффициент использования азота из почвы и удобрений составляет 50%, а скорость минерализация почвенного азота соответствует модели, представленной в **блоке 2**. Еще более важно предположение о количестве осадков за вегетационный период (250 мм в приведенном примере), а также о равномерном распределении осадков в течение вегетации, что, как предполагается, позволит достичь запланированной

#### Блок 1: Определение потенциальной урожайности

Запасы продуктивной влаги (в метровом слое почвы) – 100 мм

Ожидаемое количество осадков за вегетационный период – 250 мм

Суммарное количество влаги = 350 мм

Формирование урожая зерна на единицу израсходованной растением воды (Уеив) – 20 кг/га/мм

Непроизводительный расход почвенной влаги – 110 мм

Потенциальная урожайность = Уеив × (суммарное количество влаги – непроизводительный расход влаги) = 20 × (350 – 110) = 4800 кг/га (**4.8 т/га**)

#### Блок 2: Определение потребности в азотных удобрениях

Потенциальная урожайность = 4.8 т/га

Потребность в азоте = 45 кг N/т зерна = 216 кг N/га

Запасы минерального азота в почве при посеве = 50 кг N/га (измерено)

Содержание органического углерода в почве (Сорг.) = 1.2%

Минерализация почвенного азота за вегетационный период = Сорг. × (количество осадков за вегетационный период)/6 = 1.2 × (250)/6 = 50 кг N/га

Поступление азота из почвы = запасы минерального азота при посеве + минерализация за вегетацию = 50 кг N/га + 50 кг N/га = 100 кг N/га

**Потребность в азотных удобрениях для достижения потенциальной урожайности = (216 – 100) = 116 кг N/га**

урожайности.

Аналогичный подход можно использовать и для определения потребности растений в фосфоре. При этом также определяются потенциальная урожайность, лимитированная условиями увлажнения, и, соответственно, ожидаемый вынос фосфора из почвы с урожаем. Содержание фосфора в зерне обычно составляет порядка 3 кг P/т зерна, и при планируемой урожайности в 4.8 т/га вынос фосфора с урожаем зерна равен примерно 15 кг P/га. Дозу фосфорных удобрений необходимо скорректировать с учетом потенциальной буферной способности почвы в отношении фосфора, затрат удобрений на повышение содержания подвижного фосфора в почве (если это необходимо), а также потерь фосфора из почвы в результате эрозии. Сельхозпроизводители могут определить содержание фосфора в получаемом зерне и скорректировать, таким образом, вынос фосфора с урожаем для конкретных условий, поскольку содержание фосфора в зерне варьирует в диапазоне от 2.0 до 4.0 кг P/т (Jensen and Norton, 2012).

### Минимизация рисков при определении оптимальной дозы азота

При отсутствии надежного прогноза погоды для предстоящего сезона, то есть в условиях неопределенности относительно количества осадков за вегетацию, при посеве вносится полная доза азота. В полевых исследованиях, проведенных в «зерновом поясе» штата Виктория, Нортон с соавт. (Norton et al., 2009) изучали разные сроки и способы применения азотных удобрений – основное внесение и подкормки при завершении фазы кущения и позже (табл. 1). Внесение всей дозы азота в подкормку при завершении кущения способствовало достоверному росту урожайности в трех опытах и не приводило к снижению урожайности в остальных опытах относительно варианта с внесением полной дозы азота при посеве. Вариант внесения азота 50:50 (50% при посеве и 50% в подкормку) был предпочтительнее в трех опытах, и снижения урожайности в данном ва-

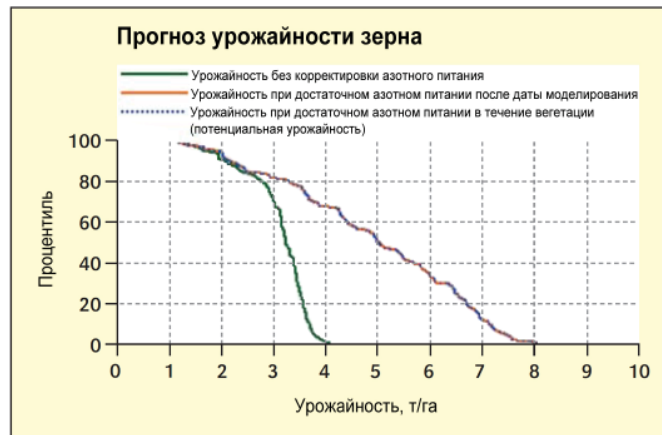


Рис. 2. Прогноз урожайности зерна для конкретного участка посевов в регионе Виммера (штат Виктория, Австралия), выполненный с учетом погодных условий сезона (до даты моделирования – 22-го июня), запасов нитратного азота в почве и агротехники возделывания пшеницы.

рианте в остальных случаях не отмечено.

Согласно полученным результатам, перенесение части азота или всей дозы азота в подкормку не приводило к достоверному снижению урожайности пшеницы, включая опыты, где была получена сравнительно высокая урожайность. Следует принять во внимание, что как раз в этих опытах запасы минерального азота в почве при посеве составили как минимум 40 кг N/га. Предположительно, поступление азота из почвы могло быть достаточным для обеспечения потребности пшеницы в данном элементе питания вплоть до фазы кущения, исключая тем самым появление существенного недостатка азота у растений.

Потенциальная урожайность пшеницы корректируется в сторону уменьшения, если в конце зимы или весной выпадает недостаточное количество осадков. Соответствующее уменьшение дозы азота позволяет избежать снижения урожайности в результате чрезмерного кущения и образования большой вегетативной массы в ущерб формированию зерна, а также предотвратить убытки, связанные с низкой эффективностью использования азо-

Таблица 1. Влияние сроков и способов внесения азотного удобрения (карбамида) на урожайность зерна пшеницы (т/га): 8 опытолет в «зерновом поясе» штата Виктория (Австралия).

Варианты внесения азота	2005	2006	2007	2005	2007	2005	2006	2007
	Си Лейк	Хоуптаун	Валпеап	Марноо	Калкии	Инверлейг	Инверлейг	Инверлейг
Глубокое ленточное при посеве (100%)	4.35	0.95	1.44	3.95	2.35	3.48	2.20	5.20
Глубокое ленточное при посеве (50%) + подкормка в стадию 31 по Цадоксу (50%)	4.11	0.98	1.40	3.98	2.83	3.40	2.54	5.69
Глубокое ленточное при посеве (33%) + подкормка в стадию 31 по Цадоксу (33%) + подкормка в стадию 41 по Цадоксу (33%)	4.29	-	1.39	4.17	2.77	3.91	-	5.59
Подкормка в стадию 31 по Цадоксу (100%)	4.44	0.93	1.61	4.27	2.72	3.43	2.25	5.24
НСР (p=0.05)	0.27	0.22	0.23	0.30	0.28	0.54	0.23	0.40



та из удобрений. Сельхозпроизводители стараются внести примерно 20-30% азота при посеве, а затем в зависимости от погодных условий они принимают решение относительно необходимости азотных подкормок.

Большинство производителей пшеницы используют различные модели для определения потенциальной урожайности и, соответственно, потребности в азоте для ее достижения. Интегрирование эмпирических методов, рассмотренных в **блоках 1 и 2**, с такими сложно устроенными моделями продукционного процесса растений, как, например, модель Yield Prophet® (<http://www.yieldprophet.com.au/yp/wfLogin.aspx>), позволяет в режиме реального времени спрогнозировать потенциальную урожайность, а также отзывчивость растений на внесение азота (Hunt et al. 2010).

На **рис. 2** частично воспроизведен скриншот с веб-сайта модели Yield Prophet®, показывающий прогноз урожайности зерна для конкретного участка посевов в регионе Виммера (штат Виктория). Прогноз основан на урожайности и количестве осадков за 100 лет наблюдений для периода от даты моделирования до созревания. Как видно из графика, без подкормок азотом медианное значение урожайности (50-й перцентиль) составляет примерно 3.3 т/га, и при данных условиях урожайность не превышает 4 т/га. Представленный прогноз для конкретного участка посевов выполнен с учетом текущих запасов азота в почве (101 кг N/га).

Вторая кривая на графике показывает урожайность при проведении азотных подкормок, смоделированную с учетом более чем 100 лет наблюдений. Согласно прогнозу, при достаточном азотном питании медианное значение урожайности с учетом соответствующего количества влаги составляет 5 т/га, а прибавка урожайности от азотной подкормки варьирует от 0 до 4 т/га. Данный прогноз позволяет сельхозпроизводителям оценить величину прибавки урожайности от подкормок азотом, а также ее возможный диапазон в условиях изменчивого климата.

## Минимизация рисков при определении оптимальной дозы фосфора

Фосфорные удобрения обычно вносятся в рядки при посеве, поскольку уже в течение достаточно длительного времени данный способ их применения считается наиболее эффективным. Дозы фосфора обычно устанавливаются, исходя из среднего выноса данного элемента питания с урожаем, однако в неблагоприятные годы это приводит к избыточному внесению фосфорных удобрений, а в благоприятные – их недовнесению. Подкормки вразброс не обеспечивают размещения фосфора удобрений рядом с корнями растений, поскольку фосфор относительно малоподвижен в почве и не поступает в зону корней. По аналогии с подкормками азотом подкормки фосфором могут стать общепринятыми при условии, что потребность растений в фосфоре в начале вегетации будет удовлетво-

ряться за счет припосевного внесения стандартных форм фосфорных удобрений, а для внесения вразброс будут разработаны новые формы удобрений, не причиняющие вреда растениям при применении в рекомендованных дозах (Noack et al. 2010). Исследования относительно оптимальных форм, доз, сроков и способов внесения фосфорных удобрений в подкормку при выращивании пшеницы в настоящее время находятся в стадии разработки (Noack et al. 2010).

## Выводы

В условиях изменчивого климата удовлетворение потребности растений в элементах питания за счет применения удобрений зависит от того, насколько хорошо проведена оценка потенциальной урожайности. При неустойчивой урожайности дозы азота рассчитываются таким образом, чтобы количество вносимого азота было достаточным для предотвращения недостатка данного элемента питания в начале вегетации и исключало его избыток, который может отрицательно сказываться на урожайности. Как только появляется больше ясности относительно погодных условий сезона, в соответствии с повышающейся или понижающейся потенциальной урожайностью и аналогично изменяющейся потребностью растений в азоте, можно принимать решение о необходимости азотной подкормки. Данный подход считается перспективным и в отношении подкормок фосфором – в настоящее время ведутся исследования по изучению наиболее подходящих форм удобрений, включая их дальнейшее производство, чтобы данная технология стала применяться на практике.

*Д-р Нортон – Директор Международного института питания растений по Австралии и Новой Зеландии; e-mail: rnorton@ipni.net.*

## Литература

- Hunt J.R., H. van Rees, Z. Hochman, et al. 2006. In N.C. Turner, T. Acuna, R.C. Johnson (Eds.). *Ground-breaking stuff. Proceedings of the 13th Australian Agronomy Conference*. 10-14 Sept. 2006, Perth, W. Aust. (Australian Society of Agronomy). [http://www.regional.org.au/au/asa/2006/concurrent/adoption/4645\\_huntj.htm](http://www.regional.org.au/au/asa/2006/concurrent/adoption/4645_huntj.htm).
- French R.J. and J.E. Schultz. 1984. *Australian Journal of Agricultural Research* 35, 743-764.
- Hochman Z., D. Holzworth, and J.R. Hunt. 2009. *Crop and Pasture Science*, 60, 708-716.
- Jensen, T. and R.M. Norton. 2012. *Wheat Grain Nutrient Concentrations: Widescale Average Values May Not Be Adequate for Field Nutrient Budgets. Better Crops with Plant Food*. Vol. 96:3, 24-25.
- Norton R.M., R. Christie, P. Howie, and C. Walker. 2009. *GRDC Project Report*. <http://anz.ipni.net/articles/ANZ0056-EN>
- Noack, S., T.M. McBeath, and M.J. McLaughlin. 2010. *Crop Past. Sci.* 61:659-669.

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