

Сравнительная эффективность технологий применения мочевины при возделывании яровой пшеницы в экстремальных погодных условиях

Н. Н. Семененко, доктор с.-х. наук, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, канд. с.-х. наук
РУП «Институт почвоведения и агрохимии»

(Дата поступления статьи в редакцию 26.12.2023)

Наиболее эффективной технологией применения азотных удобрений в форме мочевины при экстремальных погодных условиях вегетации яровой пшеницы является инновационная. Эта технология применения мочевины обеспечила формирование урожайности зерна в среднем 53,3 ц/га за 2 года. Содержание белка и клейковины, седиментация и общая оценка хлеба при этом соответствует требованиям 1-го класса и ценной пшеницы. В сравнении с базовой инновационная технология обеспечивает прибавку урожая зерна 2,5 ц/га при снижении общей дозы азота удобрений на 25 кг/га д. в. и получение дополнительной прибыли в сумме около 200 руб./га.

The innovative technology of using nitrogen fertilizers in the form of urea is the most efficient one under extreme weather conditions of spring wheat vegetation. The technology ensured the formation of 53.3 c/ha of grain yield on average for 2 years. The content of protein and gluten, sedimentation and general assessment of bread meet the requirements of the 1st class and valuable wheat. Compared to the basic one, the innovative technology provides 2.5 c/ha increase in grain yield while reducing the total dose of fertilizer nitrogen by 25 kg/ha of active ingredient and receiving additional profit of about 200 rubles/ha.

Введение

Зерно и продукты его переработки являются основой обеспечения населения продовольствием. Яровая пшеница – главная продовольственная культура, зерно которой отличается от озимой более высоким качеством. Посевная площадь этой культуры в настоящее время в Беларуси составляет более 100 тыс. га. Аграрной наукой производству предложены новые сорта с высоким потенциалом продуктивности и технология возделывания этой культуры [1, 2] и др. В то же время средняя по стране урожайность зерна яровой пшеницы остается достаточно низкой и за последние годы составляет около 29 ц/га. Особенно урожайность этой культуры снижается в экстремальные по погодным условиям годы, достигая уровня 25 ц/га.

Опыт земледелия развитых стран Европы и результаты новых научных исследований показывают, что существенным резервом повышения урожайности яровой пшеницы может быть внедрение в производство усовершенствованных, более наукоемких технологий ее возделывания, основанных на реализации генетического потенциала почв и растений, более эффективном использовании удобрений, прежде всего азотных. Применение этого вида удобрений в оптимальных по фазам развития растений дозах на дерново-подзолистых почвах обеспечивает повышение (в сравнении с фоном РК) урожайности зерновых культур на 40–70 %, качества зерна и устойчивости к неблагоприятным погодным условиям. На более окультуренных почвах до 90 % от общей прибавки урожайности от минеральных удобрений приходится на азотные.

Однако в применении азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры в сравнении с фосфорными и калийными установлен ряд особенностей, которые агрономы должны учитывать. Продуктивность зерновых культур – результат их вегетации в конкретных почвенно-климатических и погодных условиях.

Усвоение азота по фазам развития растений происходит крайне неравномерно. Наиболее интенсивно и в большем количестве растения зерновых культур поглощают азот из почвы в период от фазы начала трубкования до конца колошения – 70–75 % от максимального выноса. Внесенный в почву под сельскохозяйственные культуры азот удобрений в первые 15–20 суток подвергается интенсивной трансформации и иммобилизации. В связи с этим содержание его в минеральных соединениях значительно снижается, через 3–4 недели в органические соединения переходит до 90 % от внесенной дозы, доступность растениям этой фракции азота низкая. Следовательно, срок применения азота удобрений необходимо приближать к периоду его максимального потребления.

Сельскохозяйственные земли Беларуси по полям отличаются по гранулометрическому составу, уровню увлажнения и степени эродированности, существенно различаются по агрохимическим и биологическим свойствам и в целом уровнем плодородия. В течение вегетационного периода сельскохозяйственных растений в почвах формируются различные гидротермические условия, оказывающие разное влияние на трансформацию соединений элементов минерального питания почвы и внесенных удобрений и доступность их растениям. Участвовавшие в последние годы смены избытка или недостатка влаги в течение вегетационного периода, весеннее-летние заморозки или высокие летние температуры приводят к существенному изменению режима минерального питания, жизнедеятельности растений и снижению потенциальной урожайности зерновых и других культур. При низких или выше оптимальных температурах, недостатке или избытке влаги в почве, когда биологическая их активность и жизнедеятельность растений сильно подавлена, внесение удобрений в почву или на ее поверхность не улучшает существенно их питание. При этом значительно возрастают потери азота удобрений. Напри-

мер, газообразные потери азота мочевины при таких гидротермических условиях при поверхностном внесении достигают 60 % от внесенной дозы. Для этого более целесообразно применение внекорневых подкормок удобрениями по надземной части растений. Лучшей формой азотных удобрений для баковых смесей является мочевина, азот которой в амидной форме поглощается растениями целой молекулой, при этом коэффициент использования ее азота достигает 96 %. В последние годы научными исследованиями и передовой практикой доказано, что существенно снизить негативное влияние погодных условий на рост, развитие растений и формирование урожайности можно за счет своевременного применения в баковых смесях соответствующих макро- и микроудобрений, физиологически активных веществ, регуляторов роста и пестицидов.

Важнейшим резервом повышения устойчивости яровой пшеницы и других зерновых культур к неблагоприятным погодным условиям, урожайности и рентабельности производства зерна является определение оптимальных применяемых доз азотных удобрений с учетом содержания доступных растениям соединений азота почвы. По нашим данным [3], площади пахотных земель Беларуси с низким и очень низким (менее 120 кг/га) содержанием $N_{\text{усв}}$ составляют около 25 %, повышенным (200–300 кг/га) – 30 %, а с высоким и очень высоким (более 300 кг/га) – 11 %. В результате проведенных исследований с применением изотопа азота N^{15} нами установлено, что доля участия азота удобрений в общем его выносе и формировании урожайности в зависимости от содержания в почве усвояемой растениями фракции азота ($N_{\text{усв}}$), определяемой по методу Н. Н. Семененко и др. [4–6], различается в несколько раз (от 55 % при очень низком, до 10 % – очень высоком содержании). По этой причине при определении доз азота удобрений на планируемую урожайность в ранневесеннюю подкормку озимых и основное внесение под яровые зерновые культуры по отдельным полям необходимо также учитывать и его содержание в почвах.

В связи с изложенным считаем, что основой современных технологий выращивания яровой пшеницы и других зерновых культур может быть система более эффективного комплексного использования удобрений, прежде всего азотных, регуляторов роста, физиологически активных веществ и пестицидов, обеспечивающих оптимизацию минерального питания по этапам органогенеза растений, повышение их устойчивости к неблагоприятным погодным условиям, урожайности и рентабельности производства. С учетом новых результатов исследований ранее предложенные и используемые в сельхозпредприятиях в 1986–1990 гг. на площади более 1 млн га методические указания по применению азотных удобрений под зерновые культуры в Беларуси [7] переработаны, дополнены и изданы [8].

Цель исследований – установить сравнительную эффективность рекомендуемых технологий применения азотных удобрений в форме мочевины в комплексе с другими средствами интенсификации на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, возделываемой в экстремальных погодных условиях на окультуренной суглинистой почве.

Объекты и методы проведения исследований

Экспериментальные полевые исследования проводили в 2018–2019 гг. на опытном поле Института почвоведения и агрохимии в ОАО «Гастелловское» Минского района. Почва ($A_{\text{пах}}$) характеризуется следующим уровнем агрохимических показателей: рН 6,1, содержание гумуса – 2,6 %, подвижные соединения фосфатов – 675 и калия – 245 мг/кг почвы, $N_{\text{усв}}$ (слой 0–40 см) – 110 кг/га. Это значит, что почва опытного поля характеризуется как окультуренная с низким содержанием доступных растениям соединений азота.

Инновационная технология предусматривает комплексное применение макро- и микроудобрений, регуляторов роста и пестицидов, оптимизацию минерального питания по этапам органогенеза растений на основе результатов почвенной и растительной диагностики.

Опытная культура – яровая пшеница, сорт *Сударыня*. Предшественник – горохо-овсяная смесь на зеленую массу, поукосно – редька масличная на зеленую массу, заделка ПКО под вспашку.

Формы удобрений: основное внесение – наиболее распространенная форма азотных удобрений: мочевина, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. В подкормку азотные удобрения вносили при базовой технологии в форме мочевины в твердом виде (вариант 6), а по инновационной (вариант 7) – в виде водных растворов мочевины совместно с комплексным водорастворимым удобрением $N_{16}P_{16}K_{16}S_6$, микроэлементами и препаратом Экосил. Общая доза азота при базовой технологии составила 150, а при инновационной – 125 кг/га д. в. В целом, агротехника возделывания яровой пшеницы – общепринятая в Центральной зоне для дерново-подзолистых суглинистых почв. Опыт заложен в 4-кратном повторении, общая площадь делянки – 24 м². Планируемая урожайность яровой пшеницы в опыте – 60 ц/га.

Погодные условия периодов вегетации растений яровой пшеницы в годы проведения исследований отличались сильной контрастностью по фазам развития и были крайне неблагоприятными для формирования урожайности. В среднем за период вегетации яровой пшеницы сумма эффективных температур воздуха в 2018 г. превышала среднюю многолетнюю на 26, а в 2019 – на 15 %. Особенно значительный недостаток влаги в почве и высокие температуры как воздуха, так и почвы отмечались в период от начала кущения и до молочной спелости зерна. Сумма осадков за этот период в 2018 г. и 2019 г. была ниже по сравнению с многолетними данными соответственно на 49 и 44 %.

По нашему мнению, для более объективной оценки условий роста и развития растений целесообразнее использовать данные комплексного показателя их влагообеспеченности (P), включающего суммарное потребление продуктивной влаги почвы и атмосферных осадков и сумму эффективных $t > 10$ °C за исследуемый период. Комплексный показатель влагообеспеченности растений (P) рассчитывается по формуле

$$P = \frac{\sum E}{\sum t > 10^{\circ}\text{C}} \cdot 10,$$

где P – коэффициент, отражающий влагообеспеченность растений; $\sum E$ – суммарный объем водопотребления за исследуемый период, мм; $\sum t > 10$ °C – сумма $t > 10$ °C за период.

Градации коэффициента: $P < 1$ – влагообеспеченность растений низкая (неудовлетворительная); 1–2 – средняя (удовлетворительная), 2,1–3 – хорошая (оптимальная), >3 – избыточная (выше оптимальной).

В опыте в фазу кущения яровой пшеницы влагообеспеченность растений была в 2018 г. неудовлетворительной ($P = 0,82$) и средней ($P = 1,95$) в 2019 г. Особенно сильный дефицит влагообеспеченности растений отмечался в оба года в фазу колошения ($P = 0,40$ и $-2,1$). Выпавшие обильные осадки в период молочной спелости способствовали улучшению водного режима почвы ($P = 2,49$ и $2,52$) и создали благоприятные условия для налива зерна. К сожалению, во время фазы созревания зерна также отмечалось неудовлетворительное состояние влагообеспеченности растений как в 2018 г. ($P = 0,08$), так и в 2019 г. ($P = 0,45$) годах. В этот период запасы продуктивной влаги в почве не удовлетворяли даже минимальный запрос растений. В среднем за период вегетации яровой пшеницы влагообеспеченность растений как в 2018 г. ($P = 1,03$), так и в 2019 г. ($P = 0,74$) годах характеризуется как неудовлетворительная.

Результаты исследований и их обсуждение

Урожайность зерна яровой пшеницы. Результаты исследований, приведенные в таблице 1, показывают, что относительно более благоприятные погодные условия 2019 г. способствовали формированию урожайности яровой пшеницы на 8–10 ц/га и более

выше, чем в 2018 г. В сложившихся погодных условиях вегетации за счет почвенного плодородия урожайность зерна яровой пшеницы составила в среднем за два года 38,6 ц/га. Применение фосфорных и калийных удобрений повысило урожайность на 1,3 ц/га, т. е. незначительно. Основное внесение в почву перед севом яровой пшеницы азотных удобрений в дозе 90 кг/га д. в. в форме мочевины на фоне $P_{30}K_{90}$ в среднем за 2 года повысило урожайность этой культуры на 12,4 ц/га, достигая 51,0 ц/га. При этом прибавка от азотных удобрений составила 11,1 ц/га, или 90 % общей прибавки от $N_{90}P_{30}K_{90}$. Окупаемость азота удобрений прибавкой урожая составила 12,2 кг зерна на 1 кг азота. Дополнительное внесение мочевины в твердой форме в подкормку яровой пшеницы в фазы начало трубкования (стадия 1-го узла) и флагового листа (варианты 4, 5), а также и в рекомендуемой базовой технологии комплексного применения мочевины + микроэлементы и физиологически активные вещества (вариант 6) не способствовало достоверному повышению уровня урожайности. По этим вариантам опыта она в среднем за два года составила 50,5–51,8 ц/га и не превысила уровня урожайности, сформированной только за счет основного внесения мочевины. При этом окупаемость азотных удобрений снизилась до 7,3 кг зерна/кг азота. Таким образом, поверхностное применение мочевины в твердой форме в подкормку яровой пшеницы при экстремальных погодных условиях с точки зрения повышения урожайности оказалась неэффективным приемом.

Таблица 1 – Влияние систем применения удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы

Вариант	Урожайность, ц/га			Средняя прибавка, ц/га		Окупаемость азотных удобрений, кг зерна/кг азота
	2018 г.	2019 г.	средняя за 2 года	от NPK	$N_{уд}$	
1. Без удобрений	33,8	43,3	38,6	–	–	–
2. $P_{30}K_{90}$ – фон	36,0	43,7	39,9	1,3	–	–
3. Фон + N_{90} *	44,2	57,7	51,0	12,4	11,1	12,2
4. $N_{90}P_{30}K_{90} + N'_{30}$	45,1	55,9	50,5	11,9	10,6	8,8
5. $N_{90}P_{30}K_{90} + N''_{30}$	45,0	58,6	51,8	13,2	11,9	9,9
6. Фон + $N_{90} + N''$	44,4	57,2	50,8	12,2	10,9	7,3
7. Фон + $N_{90} + N'''$	46,5	60,0	53,3	14,7	13,4	10,8
НСР ₀₅	1,6	1,7	1,6	–	–	–

Примечание – $P_{30}K_{90}N_{90}$ – основное внесение; N'_{30} – подкормка в стадии 1-го узла; N''_{30} – в фазу флагового листа.

* Водный раствор¹ – фаза 1-го узла: (мочевина – 30 и АФК – 4 кг/га + МикроСтим–Медь, Марганец – 1,0 л/га + Экосил – 0,1 л/га) / 200 л воды.

** Водный раствор² – фаза флагового листа: (мочевина – 25 и АФК – 3 кг/га + МикроСтим–Медь, Марганец – 1,0 л/га + Экосил – 0,1 л/га + фунгицид) / 200 л воды.

*** Водный раствор³ – фаза колошения: (мочевина – 20 и АФК – 2 кг/га + МикроСил–Бор – 1,5 л/га) / 200 л воды.

В то же время при инновационной технологии применения азотных удобрений в виде водного раствора мочевины (вариант 7) получена более высокая урожайность зерна яровой пшеницы – 53,3 ц/га, что на 2,5 ц/га больше, чем в варианте базовой технологии. В данном варианте проведения подкормок отмечается снижение общей дозы азота удобрений на 25 кг/га д. в. и повышение их окупаемости до 10,8 кг зерна/кг азота. При относительно более благоприятных погодных условиях 2019 г. урожайность яровой пшеницы по этой технологии применения азотных удобрений достигла уровня 60,0 ц/га и превысила среднюю урожайность этого сорта по данным ГУ «Госу-

дарственная система по испытанию и охране сортов растений» (56,8 ц/га).

Качество зерна яровой пшеницы. Основными показателями качества продовольственного зерна пшеницы является содержание белка, клейковины, седиментация, состав химических элементов. По данным ГУ «Государственная система по испытанию и охране сортов растений» сорт яровой пшеницы Сударыня, который использовался в опытах, характеризуется следующими средними показателями: масса 1000 зерен – 38,9 г, содержание в зерне белка – 14,4 % и клейковины – 25,7 %, общая оценка хлеба – 4,2 балла.

В сложившихся при проведении исследований экстремальных погодных условиях вегетации яровой пшеницы в вариантах опыта с применением азотных удобрений в форме мочевины как по базовой, так и по инновационной технологии сформировалось зерно высокого качества: масса 1000 зерен – 44,5–45,0 г, содержание белка – 14,6–15,4 и клейковины – 33,1–35,2 %. Зерно с такими показателями белка и клейковины соответствует требованиям 1-го класса (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние систем удобрения на показатели качества зерна яровой пшеницы (среднее за 2018–2019 годы)

Вариант	Белок, %	Клейковина, %	Седиментация, см ³	Оценка хлеба, баллов	P ₂ O ₅	K ₂ O
					%	
1. Без удобрений	10,8	21,6	25	4,2	1,13	0,44
2. P ₃₀ K ₉₀ – фон	10,8	21,8	26	4,2	1,10	0,42
3. Фон + N ₉₀ [*]	13,9	29,9	37	4,4	1,22	0,51
4. N ₉₀ P ₃₀ K ₉₀ + N ₃₀ ¹	15,0	33,5	45	4,4	1,24	0,51
5. N ₉₀ P ₃₀ K ₉₀ + N ₃₀ ²	14,9	33,3	44	4,4	1,23	0,52
6. Фон + N ₉₀ + N ^{**}	15,4	35,2	45	4,4	1,32	0,53
7. Фон + N ₉₀ + N ^{***}	14,6	33,1	42	4,4	1,61	0,62
HCP ₀₅	0,59	1,72	1,7	–	0,04	0,02

Примечание – См. таблицу 1.

Важнейшим универсальным показателем качества зерна и муки из него является седиментация (набухаемость муки). Это показатель физических свойств теста используемой муки. По величине показателя седиментации мягкую пшеницу разделяют на классы: сильная – 50 см³ и более, ценная – 30–40 и слабая – менее 30 см³. В наших исследованиях по показателю седиментации зерно, полученное в опытах с применением мочевины по базовой и инновационной технологиям, превышает требования класса ценной пшеницы (42–45 см³) и может служить улучшителем муки. Также по общей оценке хлеба (4,4 балла) качество зерна, полученного в опыте, приближается к требованиям, предъявляемым к классу ценной пшеницы.

Из данных, приведенных в таблице 2, также следует, что внесение в подкормку яровой пшеницы азотных удобрений с учетом требований инновационной технологии повышает по сравнению с базовым вариантом технологий содержание в зерне фосфатов на 22 и окиси калия на 17 %, что существенно улучшает качество зерна.

За счет более высокой урожайности зерна, снижения дозы азота мочевины и количества проходов техники при инновационной технологии получена дополнительная по сравнению с базовой прибыль в сумме около 200 руб./га. На почвах с более высоким содержанием N_{усл} ожидаемая прибыль от инновационной технологии внесения азотных удобрений была бы существенно выше.

Выводы

1. В сложившихся экстремальных погодных условиях вегетации яровой пшеницы внесение в почву перед посевом мочевины в дозе 90 кг/га д. в. на фоне

фосфорных и калийных удобрений P₃₀K₉₀ в среднем за 2 года обеспечило формирование урожайности зерна этой культуры 51,0 ц/га. Использование на посевах яровой пшеницы базовой технологии применения мочевины в твердой форме в основное внесение и подкормки (общая доза азота – 150 кг/га д. в.) совместно с микроэлементами, физиологически активными веществами и регуляторами роста не обеспечило повышения урожайности, которая составила 50,8 ц/га. При этом окупаемость азотных удобрений снизилась до 7,3 кг зерна на 1 кг азота, т. е. применение мочевины в твердом виде на поверхность почвы для подкормки растений яровой пшеницы в базовой технологии с точки зрения повышения урожайности оказалось не эффективным приемом.

2. При инновационной технологии применения азотных удобрений, включающей основное внесение в виде твердой формы мочевины и проведение внекорневых подкормок баковой смесью водных растворов мочевины с макро- и микроэлементами и физиологически активными веществами, обеспечило формирование урожайности зерна 53,3 ц/га, что на 2,5 ц/га больше, чем по базовой технологии. При этом отмечается снижение общей дозы азота на 25 кг/га д. в. и повышение его окупаемости до 10,8 кг зерна/кг азота, получение дополнительной по сравнению с базовой технологией прибыли в сумме около 200 руб./га.

3. При применении мочевины как по базовой, так и по инновационной технологии сформировалось зерно высокого качества, которое соответствует требованиям 1-го класса и ценной пшеницы.

Литература

1. Отраслевой регламент. Применение удобрений при возделывании зерновых культур. Типовые технологические процессы / В. В. Лапа [и др.] – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 16 с.
2. Отраслевой регламент. Возделывание яровой пшеницы. Типовые технологические процессы. – Жодино: Научно-производственный центр НАН Беларуси по земледелию. – 2018. – 36 с.
3. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск: Бел. изд. тов-во «Хата», 1997. – 195 с.
4. Семененко, Н. Н. Метод определения усвояемого азота в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко // Агрохимия. – 1981. – № 11. – С. 129–134.
5. Метод определения потенциально усвояемого азота. РСТ Беларуси 908 – 91 / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск: МСХП РБ, 1991. – 13 с.
6. Семененко, Н. Н. Диагностика обеспеченности почв усвояемой растениями формой азота – важнейший резерв повышения эффективности использования азотных удобрений / Н. Н. Семененко // Земледелие и растениеводство. – 2024. – № 6 (139). – С. 23–27.
7. Методические указания по проведению комплексной почвенно-растительной диагностики азотного питания зерновых культур в БССР / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск: Ураджай, 1988. – 32 с.
8. Семененко, Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семененко. – Минск: ООО «Альфа – книга», 2020. – 320 с.