

ВЛИЯНИЕ ЗАПАШКИ СОЛОМЫ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ В СОЧЕТАНИИ С РАЗЛИЧНЫМИ ДОЗАМИ АЗОТА НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. Б. ВОРОБЬЕВ, А. Ф. КАРТАВЕНКО

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

(Поступила в редакцию 04.05.2026)

В звене севооборота озимая пшеница–горох–озимая пшеница, возделываемом на дерново-подзолистой высококультурной легкосуглинистой почве изучено влияние заделки соломы на урожайность зерна и побочной продукции. Установлено, что при полной дозе фосфорно-калийного удобрения наибольший выход зерна озимой пшеницы (75,9 ц/га в среднем за 2 года) обеспечила органоминеральная система удобрения с заделкой соломы и тремя азотными подкормками (70 кг/га в начале ранневесенней вегетации и по 30 кг/га в конце фазы кушения – начале фазы выхода в трубку и в фазу флагового листа). При этой же системе удобрения и дозе азота 50 кг/га в основное внесение отмечена и наиболее высокая урожайность гороха (40,2 ц/га).

Выявлена тесная корреляционная связь между урожайностью зерна и соломы. Коэффициенты корреляции между изучаемыми показателями составили 0,94 ($Y=0,4196X+23,523$) у озимой пшеницы и 0,89 ($Y=1,3444X-3,1533$) у гороха. Анализ полученных уравнений регрессии показал, что в интервале урожайности зерна озимой пшеницы от 35,0 до 85,0 ц/га увеличение урожайности зерна на 1 ц сопровождалось ростом массы соломы на 0,42 ц/га, а в интервале аналогичного показателя гороха от 28,8 до 40,2 ц/га увеличение урожайности зерна на 1 ц сопровождалось увеличением массы побочной продукции на 1,34 ц/га. Это говорит о том, что по мере увеличения урожайности зерна доля соломы в составе надземной биомассы озимой пшеницы уменьшалась, а в составе надземной биомассы гороха возрастала.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, озимая пшеница, горох, солома, зерно, дозы азота, урожайность.

The effect of straw plowing on the yield of grain and by-products was studied in a winter wheat–pea–winter wheat crop rotation system grown on highly cultivated light loamy sod-podzolic soil. It was found that, with a full dose of phosphorus-potassium fertilizer, the highest winter wheat grain yield (7.59 t/ha on average over two years) was achieved with an organo-mineral fertilization system with straw ploughing and three nitrogen applications (70 kg/ha at the beginning of the early spring growing season and 30 kg/ha each at the end of the tillering stage, beginning of the booting stage, and during the flag leaf stage). The same fertilization system and a nitrogen dose of 50 kg/ha as the main application also resulted in the highest pea yield (4.02 t/ha).

A close correlation was found between grain and straw yields. The correlation coefficients between the studied parameters were 0.94 ($Y=0.4196X+23.523$) for winter wheat and 0.89 ($Y=1.3444X-3.1533$) for peas. Analysis of the obtained regression equations showed that in the winter wheat grain yield range from 3.50 to 8.50 t/ha, an increase in grain yield by 0.1 t/ha was accompanied by an increase in straw mass by 0.042 t/ha, and in the similar indicator range for peas from 2.88 to 4.02 t/ha, an increase in grain yield by 0.1 t/ha was accompanied by an increase in by-product mass by 0.134 t/ha. This suggests that as grain yield increased, the proportion of straw in the aboveground biomass of winter wheat decreased, while it increased in the aboveground biomass of peas.

Key words: sod-podzolic soil, winter wheat, peas, straw, grain, nitrogen doses, yield.

Введение

В последние годы все более широкое распространение получает использование соломы в качестве органического удобрения. Это является эффективным агрономическим приёмом, способствующим улучшению агрофизических и агрохимических свойств почвы, усиливающим активность микроорганизмов, уменьшающим потери азота, повышающим доступность растениям фосфатов и содержание гумуса в почве [1–3].

Вместе с тем в литературе можно встретить противоречивую информацию относительно эффективности использования соломы в качестве удобрения. Так, во многих экспериментах заделка соломы приводила к значительному росту урожайности выращиваемых культур. В то же время в некоторых исследованиях такого положительного воздействия не выявлялось, а иногда наблюдалось даже снижение урожайности. Противоречивость полученных результатов связана с тем, что влияние соломы на урожайность сельскохозяйственных культур зависит от множества факторов, обеспечивающих её разложение в почве, временем и способом её внесения, почвенно-климатическими условиями и биологическими особенностями возделываемых культур [4–7].

Помимо органического углерода, в почву вместе с соломой поступают практически все необходимые для растений элементы питания. При этом высвобождаемый в результате минерализации соломы азот поглощается микроорганизмами, а калий, фосфор и другие элементы могут участвовать в питании последующей культуры [8, 9].

Особое значение имеет соотношение C:N, поскольку от этого показателя зависит интенсивность разложение соломы. Оптимальным соотношением углерода к азоту, при котором процессы гумификации растительных остатков протекают наиболее полно, считается 15–25:1. При превышении ука-

занных значений разложение органического вещества замедляется и происходит иммобилизация почвенного азота. Это связано с тем, что внесение соломы в почву всегда активизирует микрофлору почвы, однако доступного азота соломы недостаточно для покрытия потребности микроорганизмов в этом элементе. Следовательно, недостаток азота микроорганизмы будут компенсировать путём использования запасов азота из почвы, вследствие чего ухудшаются условия азотного питания растений, что в конечном итоге может привести к снижению урожайности культуры, под которую была запахана солома. Для того чтобы уменьшить иммобилизацию минерального азота почвы и обеспечить оптимальное соотношение C:N, вносят компенсирующую дозу азотного удобрения. Дополнительное внесение азота снижает токсическое действие соломы и ускоряет процесс её разложения, предотвращает «азотное голодание» почвенных микроорганизмов и возделываемых культур [8, 10].

Несмотря на большое количества данных о роли соломы в формировании урожайности полевых культур, изучение эффективности различных доз азота на фоне её применения до сих пор остаётся актуальным. Именно поэтому одна из задач наших исследований заключалась в сравнении продуктивности возделываемых культур на фоне органоминеральной (с использованием соломы предшествующих культур) и минеральной систем удобрения.

Основная часть

Исследования проводились в 2021–2024 гг. на территории учебно-опытного хозяйства УО БГСХА. В 2021 г. на опытном участке в качестве уравнительного посева возделывалось просо сорта Жодинское под которое в основную заправку было внесено 90 кг/га хлористого калия (60 % K_2O), 40 кг/га аммофоса (12 % N и 50 % P_2O_5) и 80,4 кг/га карбамида (46 % N).

Согласно схеме опыта, осенью, после уборки уравнительного посева, была посеяна озимая пшеница сорта Аспект. Норма посева озимой пшеницы – 5,0 млн всхожих семян/га. Дозы минеральных удобрений были рассчитаны на получение урожайности зерна на уровне 6,0 т/га. В основную заправку внесены карбамид (46 % N), аммофос (12 % N и 50 % P_2O_5) и хлористый калий (60 % K_2O). В подкормку использовали карбамид (46 % N). Первую подкормку азотными удобрениями (70 кг/га) проводили весной в начале возобновления вегетации растений, когда среднесуточная температура воздуха превысит +5 °C. Вторая азотная подкормка проводилась в конце фазы кушения – в начале фазы выхода в трубку (30 кг/га). Третья – в фазу появления флагового листа (30 кг/га). Протравливание семян озимой пшеницы выполнили препаратом Кинто Дуо (2,5 л/т). Химическая прополка посевов была проведена весной в фазу кушения – выход в трубку гербицидом Балерина (0,5 л/га). В фазу выхода в трубку провели фунгицидную обработку препаратом Колосаль Про (0,3 л/га) и инсектицидную обработку препаратом Борей Нео (0,1 л/га).

В 2023 г. возделывался горох сорта Саламанка. Норма посева – 1,2 млн всхожих семян/га. Дозы минеральных удобрений для основного внесения были рассчитаны на получение урожайности зерна 3,5 т/га. Осенью под зяблевую вспашку вносили аммофос (12 % N и 50 % P_2O_5) и хлористый калий (60 % K_2O). В предпосевную культивацию в дозе 30–50 кг/га использовали карбамид (46 % N). Протравливание зерна гороха проводилось препаратом Вершина (1,0 л/т). Была проведена химпрополка посевов гороха в фазе 3–5 листьев гербицидом Гербитокс (0,7 л/га). В период бутонизации – цветения провели инсектицидную обработку препаратом Борей Нео (0,1 л/га) и фунгицидную обработку препаратом Титул Дуо (0,32 л/га).

После уборки гороха по вышеизложенной схеме возделывалась озимая пшеница (сорт Аспект).

Общая площадь каждой делянки – 21 м², учётная – 16,5 м². Повторность опыта четырехкратная, размещение вариантов рендомизированное.

Все полевые работы по обработке почвы, посеву и уходу за растениями были выполнены в оптимальные сроки и в соответствии с агротехническими требованиями для условий Могилевской области.

Учёт урожайности осуществлялся сплошным обмолотом каждой учётной делянки. Солому измельчали во время уборки зерна комбайном с измельчителем и равномерно распределяли по площади делянок согласно схеме опыта.

Доза дополнительного азота (N_k^* – корректирующая доза) была рассчитана исходя из вида запахиваемой соломы и была внесена в виде карбамида. На 1 т запаханной соломы проса – 9 кг д.в. азота, гороха – 3 кг д.в. азота, озимой пшеницы – 10 кг д.в. азота.

Почва опытного участка дерново-подзолистая высоко окультуренная легкосуглинистая, развивающаяся на лёссовидном суглинке, подстилаемом мореной с глубины около 1 м. Во время закладки опыта её пахотный горизонт характеризовался слабокислой реакцией среды (pH_{KCl} – 5,16), средним содержанием гумуса ($2,08 \pm 0,09$), высоким содержанием подвижных соединений фосфора (358,18 мг/кг почвы) и калия (310,21 мг/кг почвы).

В наших исследованиях урожайность зерна озимой пшеницы, возделываемой после проса (2022 г.), находилась в пределах от 35,0 до 66,8 ц/га (табл. 1). Как и следовало ожидать, наименьшее значение данного показателя было отмечено в варианте без применения удобрений. Запашка соломы проса в сочетании с корректирующей дозой азотного удобрения обеспечила прибавку урожайности изучаемой культуры на уровне 10,0 ц/га.

В вариантах с полной дозой фосфорно-калийного удобрения и ранневесенней азотной подкормкой на фоне запашки соломы и без её использования урожайность зерна озимой пшеницы составила 57,5 и 58,6 ц/га соответственно. Дополнительное внесение 30 кг/га азота в конце фазы кущения – начале фазы выхода в трубку позволило повысить урожайность зерна на 4,0 и 3,1 ц/га соответственно в вариантах с использованием соломы в качестве органического удобрения и без неё. При этом, как в вариантах с применением одной азотной подкормки, так и в вариантах с двумя азотными подкормками различия между урожайностью зерна озимой пшеницы на фоне использования соломы и без её применения оказались не существенными.

Третья азотная подкормка (30 кг/га) в фазу появления флагового листа на фоне запашки соломы в качестве органического удобрения увеличила урожайность зерна до 66,8 ц/га, а на делянках без применения соломы до 63,9 ц/га. При этом различия в значениях данного показателя между перечисленными вариантами превысили значение наименьшей существенной разницы ($HCP_{05} = 1,74$ ц/га).

Несущественные различия в значениях изучаемого показателя в вариантах с одной и двумя азотными подкормками на фоне применения соломы и без её использования скорее всего говорят о том, что корректирующая доза азотного удобрения в данных конкретных условиях оказалась недостаточной.

Таблица 1. Влияние запашки соломы предшествующих культур и доз азотного удобрения на урожайность зерна сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

2022 (озимая пшеница)			Годы			2024 (озимая пшеница)		
Варианты опыта	ц/га	± прибавка к урожаю	Варианты опыта	ц/га	± прибавка к урожаю	Варианты опыта	ц/га	± прибавка к урожаю
Контроль (без удобрений)	35,0	–	Контроль (без удобрений)	28,8	–	Контроль (без удобрений)	36,4	–
Солома+Nк*	45,0	+10,0	Солома+Nк*	32,9	+4,1	Солома+Nк*	61,9	+25,5
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +со- лома+Nк*+N ₇₀	57,5	+22,5	P ₁₅ K ₄₀ N ₃₀ + со-лома+Nк*	35,1	+6,3	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +со- лома+Nк*+N ₇₀	69,4	+33,0
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ + со-лома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀	61,5	+26,5	P ₁₅ K ₄₀ N ₄₀ + со-лома+Nк*	37,5	+8,7	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +со- лома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀	82,4	+46,0
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ + со-лома+Nк*+ N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	66,8	+31,8	P ₁₅ K ₄₀ N ₅₀ + со-лома+Nк*	40,2	+11,4	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +со- лома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	85,0	+48,6
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀	58,6	+23,6	P ₁₅ K ₄₀ N ₃₀	34,5	+5,7	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀	57,9	+21,5
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀	61,7	+26,7	P ₁₅ K ₄₀ N ₄₀	35,1	+6,3	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀	61,5	+25,1
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	63,9	+28,9	P ₁₅ K ₄₀ N ₅₀	37,3	+8,5	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	64,2	+27,8
HCP ₀₅	1,74		HCP ₀₅	2,03		HCP ₀₅	1,38	

Примечание. Nк* – корректирующая доза азота.

Схожая тенденция в формировании урожайности наблюдалась и при возделывании гороха на зерно. В варианте без применения удобрений урожайность зерна данной культуры составила 28,8 ц/га. В вариантах с внесением P₁₅K₄₀N₃₀+со-лома+Nк и P₁₅K₄₀N₃₀ урожайность зерна гороха составила соответственно 35,1 и 34,5 ц/га. В вариантах с использованием соломы и внесением азота в предпосевную культивацию в дозе 40 и 50 кг/га обеспечило прибавку урожайности зерна на 8,7 и 11,4 ц/га. При этом на делянках с использованием одних минеральных удобрений прибавка составила 6,3 и 8,5 ц/га.

В 2024 г. урожайность зерна озимой пшеницы после запашки соломы гороха колебалась от 36,4 до 85,0 ц/га. В варианте без применения удобрений также наблюдалось минимальное значение урожайности зерна, и оно составило 36,4 ц/га. Варианты с запашкой соломы в качестве органического удобрения обеспечили прибавку урожайности зерна на 25,5–48,6 ц/га. В вариантах без использования соломы прибавка урожайности зерна составила 21,5–27,8 ц/га.

Как и урожайность зерна, наименьшая урожайность соломы изучаемых культур наблюдалась в варианте без применения удобрений (табл. 2). При возделывании озимой пшеницы в 2022 г. она составила 37,4 ц/га, в 2024 г. – 39,3 ц/га. В посевах гороха (2023 г.) – 33,9 ц/га. В вариантах без использования соломы в качестве удобрения на учётных делянках урожайность соломы колебалась в 2022 г. от 46,9 до 52,0 ц/га, в 2023 г. – от 42,2 до 47,2 ц/га, в 2024 г. – от 47,7 до 54,4 ц/га. Урожайность соломы в вариантах с запашкой соломы находилась в пределах в 2022 г. от 42,5 до 52,7 ц/га, в 2023 году – от 42,2 до 52,7 ц/га, в 2024 г. – от 47,8 до 58,5 ц/га.

Таблица 2. Влияние заправки соломы предшествующих культур и доз азотного удобрения на урожайность соломой сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

2022 (озимая пшеница)			Годы 2023 (горох)			2024 (озимая пшеница)		
Варианты опыта	ц/га	± прибавка к урожаю	Варианты опыта	ц/га	± прибавка к урожаю	Варианты опыта	ц/га	± прибавка к урожаю
Контроль (без удобрений)	37,4	—	Контроль (без удобрений)	33,9	—	Контроль (без удобрений)	39,3	—
Солома+Nк*	42,5	+5,1	Солома+Nк*	42,2	+8,3	Солома+Nк*	47,8	+8,5
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +солома+Nк*+N ₇₀	44,3	+6,9	P ₁₅ K ₄₀ N ₃₀ +солома+Nк*	43,4	+9,5	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +солома+Nк*+N ₇₀	52,6	+13,3
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +солома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀	49,1	+11,7	P ₁₅ K ₄₀ N ₄₀ +солома+Nк*	46,7	+12,8	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +солома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀	57,0	+17,7
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +солома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	52,7	+15,3	P ₁₅ K ₄₀ N ₅₀ +солома+Nк*	52,7	+18,8	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +солома+Nк*+N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	58,5	+19,2
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀	46,9	+9,5	P ₁₅ K ₄₀ N ₃₀	42,2	+8,3	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀	47,7	+8,4
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀	49,3	+11,9	P ₁₅ K ₄₀ N ₄₀	44,7	+10,8	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀	51,4	+12,1
N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	52,0	+14,6	P ₁₅ K ₄₀ N ₅₀	47,2	+13,3	N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀ +N ₇₀ +N ₃₀ +N ₃₀	54,4	+15,1
HCP ₀₅	1,98		HCP ₀₅	2,05		HCP ₀₅	2,04	

Nк* – корректирующая доза азота.

Между урожайностью зерна и соломы озимой пшеницы была выявлена тесная корреляционная связь. В 2022 и 2024 гг. она характеризовалась коэффициентом корреляции 0,93 и 0,94 и подчинялась уравнениям регрессии соответственно $Y = 0,4568X + 21,078$ и $Y = 0,3858X + 26,066$. При корреляционно-регрессионном анализе массива данных за два года коэффициент корреляции между изучаемыми показателями составил 0,94 при уравнении регрессии $Y = 0,4196X + 23,523$. Анализ данного уравнения показывает, что в интервале урожайности зерна озимой пшеницы от 35,0 до 85,0 ц/га увеличение урожайности зерна на 1 ц сопровождалось ростом урожайности соломы на 0,42 ц/га. И если при урожайности зерна 35,0 ц/га доля соломы в составе надземной биомассы изучаемой культуры составляла 52,2 %, то при урожайности зерна 85,0 ц/га значение данного показателя снизилось до 41,0 %.

Корреляционная связь между урожайностью зерна и соломы гороха характеризовалась коэффициентом корреляции 0,89. Она подчинялась уравнению регрессии $Y = 1,3444X - 3,1533$. При этом в интервале урожайности зерна гороха от 28,8 до 40,2 ц/га увеличение урожайности зерна на 1 ц сопровождалось увеличением урожайности соломы на 1,34 ц/га. Иными словами, по мере увеличения урожайности зерна гороха доля побочной продукции в составе надземной биомассы данной культуры возрастала.

Заключение

1. В звене севооборота озимая пшеница – горох – озимая пшеница при полной дозе фосфорно-калийного удобрения наибольшую урожайность зерна озимой пшеницы (75,9 ц/га в среднем за 2 года) обеспечила органиминеральная система удобрения с заправкой соломы предшествующих культур и тремя азотными подкормками (в начале ранневесенней вегетации, в конце фазы кущения – начале фазы выхода в трубку и в фазу флагового листа). При этой же системе удобрения и дозе азота 50 кг/га в основное внесение отмечена и наиболее высокая урожайность гороха (40,2 ц/га).

2. Аналогично урожайности зерна изучаемых культур изменялась и урожайность соломы. При этом по мере увеличения урожайности зерна её доля в составе надземной биомассы озимой пшеницы уменьшалась, в составе надземной биомассы гороха – возрастала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимия: учебник для вузов / И. Р. Вильдфлуш, С. П. Кукреш, В. А. Ионас [и др.]. – Минск: Урожай, 2001. – 488 с.
2. Рациональное применение удобрений: пособие / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа [и др.]. – Горки: Белорусская государственная академия, 2002. – 324 с.
3. Барейша, В. И. Влияние удобрения соломой на свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур в звеньях севооборотов / В. И. Барейша, Р. Т. Вильдфлуш // Использование соломы как органического удобрения: [сборник статей] / отв. ред. М. И. Сидоров. – М.: Наука, 1980. – С. 115–170.
4. Влияние удобрений на урожайность гибридной озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия: научный журнал. – 2024. – № 1(72). – С. 43–51.
5. Влияние заправки соломы предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность овса голозерного на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Кирдун, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева [и др.] // Почвоведение и агрохимия: научный журнал. – 2017. – № 2(59). – С. 130–139.
6. Вальдгауз, Э. Г. Использование соломы как органического удобрения на дерново-подзолистых почвах / Э. Г. Вальдгауз // Использование соломы как органического удобрения. – М.: Наука, 1980. – С. 171–178.
7. Апресян, О. Г. Влияние соломы предшественника, обработки почвы и азотных удобрений на урожайность ярового рапса / О. Г. Априсян, Л. А. Булавин // Земледелие и селекция в Беларуси: сборник научных трудов. – Минск, 2012. – Вып. 48. – С. 48–54.
8. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под редакцией И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – 600 с.
9. Пехота, А. П. Поступление элементов питания с соломой зерновых и зернобобовых культур в дерново-подзолистую супесчаную почву в зависимости от системы удобрения / А. П. Пехота // Почвоведение и агрохимия: научный журнал. – 2014. – № 2(53). – С. 179–185.
10. Жуков, А. И. Регулирование баланса гумуса в почве / А. И. Жуков, П. Д. Попов. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 40 с.