

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

**Т. М. Серая, С. А. Касьянчик, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Т. В. Мачок,
Ю. А. Симанкова, М. М. Торчило**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Зерновые колосовые культуры занимают в Республике Беларусь около 36 % посевных площадей, более половины которых – озимые зерновые [1]. Одним из путей получения стабильно высоких урожаев зерновых культур является дальнейшее совершенствование технологии возделывания, которая должна быть направлена как на формирование высокопродуктивных посевов, устойчивых к стрессовым погодным явлениям, так и на обеспечение экологической безопасности окружающей среды [2–5]. Урожайность, как основной результирующий показатель, характеризует эффективность агроприемов возделывания сельскохозяйственных культур. В интенсивных системах земледелия актуальным остается и создание условий для расширенного воспроизводства плодородия почв.

Важно не только стремиться к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но и к снижению себестоимости, т. е. по возможности наращивать производство конкурентоспособной продукции. Для этого необходимо максимально задействовать малозатратные приемы в технологиях возделывания культур [6]. Снижения себестоимости продукции можно добиться используя излишки соломы на удобрение, при этом при планировании доз удобрений учитывать содержание органического вещества и элементов питания, поступающих с соломой [7]; усовершенствованием системы удобрения с учетом последних агрохимических исследований; снижением затрат на обработку почвы [8].

Успешное внедрение приемов минимизации основной обработки почвы возможно на почвах, устойчивых к уплотнению, при подборе сельскохозяйственных культур, обеспечивающих урожайность при поверхностных обработках не ниже, чем при традиционных приемах, – это, прежде всего, озимые и яровые зерновые культуры [9]. Так же вызывает интерес эффективность применения различных систем удобрения на фоне разных способов обработки почвы.

Цель исследований заключается в изучении эффективности разных систем удобрения озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в полевом опыте, заложенном на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенном в ПРУП «Э/б им. Котовского» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной, разви-

вающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве [10]. Объектом исследования была озимая пшеница сорт Августина, возделываемая в звене севооборота: озимая пшеница – горох посевной – озимая рожь.

Исследования проведены в трех последовательно открывающихся полях, на каждом поле – в двух блоках: в 1-м блоке в качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см, во 2-м блоке – дискование в один след на глубину 10–12 см. Первое поле открыто в 2019 г., второе – в 2020 г., третье – в 2021 г. Повторность вариантов – четырехкратная, общий размер делянки – 31,2 м², учетная площадь – 24,0 м².

Предшественник озимой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зерно. Урожайность соломы в среднем за 3 года составила 3,0 т/га с содержанием (на сухое вещество) N – 0,52 %, P₂O₅ – 0,25 %, K₂O – 1,50 %. После уборки предшественника измельченную солому равномерно распределяли по делянкам, затем, согласно схеме опыта, вносили компенсирующую дозу азота в виде КАС или целлюлозо-разлагающее микробиологическое удобрение Жыцень и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след.

Применяемый в опыте подстилочный навоз (соломистый) имел следующие показатели (в расчете на естественную влажность): 1-е поле – N – 0,72 %, P₂O₅ – 0,30 %, K₂O – 0,56 %, влажность – 74 %; 2-е поле – N – 0,60 %, P₂O₅ – 0,34 %, K₂O – 0,75 %, влажность – 73 %; 3-е поле – N – 0,61 %, P₂O₅ – 0,32 %, K₂O – 0,60 %, влажность – 73 %;

Агрохимическая характеристика пахотного слоя 1-го поля: рН_{KCl} 5,59, гумус – 2,18 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 157 мг/кг, калия (K₂O) – 185 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1046 мг/кг, магния (MgO) – 151 мг/кг; 2-го поля: рН_{KCl} 5,58, гумус – 1,98 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 161 мг/кг, калия (K₂O) – 179 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1002 мг/кг, магния (MgO) – 164 мг/кг; 3-го поля: рН_{KCl} 6,07, гумус – 1,98 %, содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 204 мг/кг, калия (K₂O) – 141 мг/кг, обменных форм кальция (CaO) – 1002 мг/кг, магния (MgO) – 164 мг/кг.

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: органический углерод (ГОСТ 27980–88), общий азот (ГОСТ 26715–85), фосфор (ГОСТ 26717–85), калий (ГОСТ 26718–85), кальций (ГОСТ 26570–95), магний (ГОСТ 30502–97).

В зерне и соломе озимой пшеницы определяли следующие показатели: влага и сухой остаток – ГОСТ 13586.5-93 (зерно), ГОСТ 13496.3-92 (солома); общий азот – ГОСТ 13496.4-93; общий фосфор – ГОСТ 26657-97; общий калий – ГОСТ 230504-97. Белок и клейковину в зерне определяли на спектрофотометре «Инфронео».

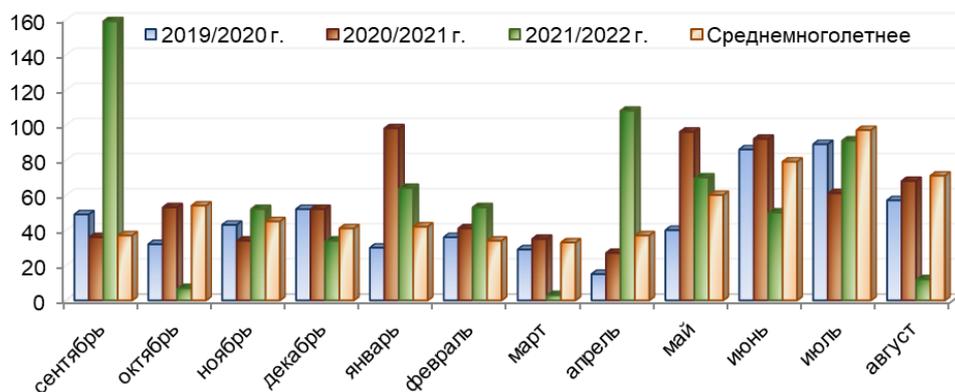
Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: 70 кг/га – в начале ранневесенней вегетации, 40 кг/га – в фазу первый узел и 40 кг/га – в фазу флаг лист; в варианте с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС (ПН КРС) дозы внесения в первые две подкормки были на 10 кг/га ниже; при внесении 30 т/га ПН КРС – дозу первой подкормки снижали на 10 кг/га.

Расчет экономической эффективности применения удобрений проведен по методике [11]. Для определения прибыли рассчитывали стоимость урожая с учетом повышения качества зерна, полученного за счет внесения удобрений, и затраты на получение прибавки урожая от удобрений. Используются нормативы затрат на

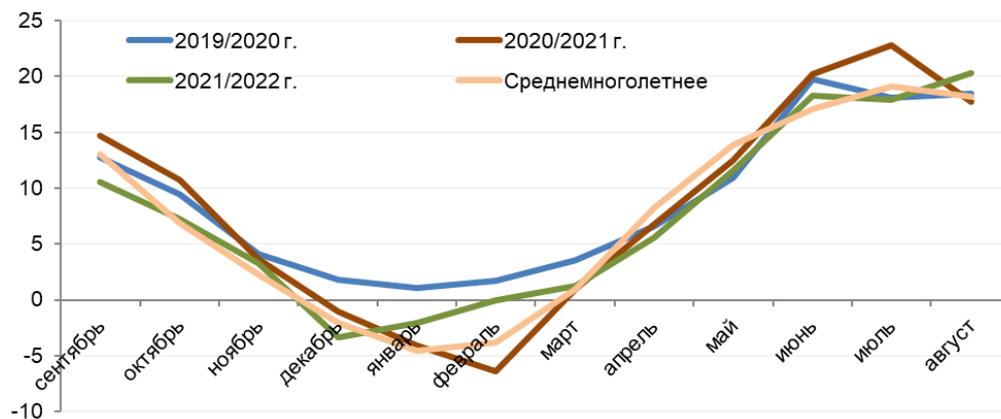
удобрения и их внесение, доработку прибавки урожая, цены на сельскохозяйственную продукцию в Республике Беларусь на 2022 г. в долларовом эквиваленте (долл. США).

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием MS Excel 2010.

В период вегетации озимой пшеницы в 2019–2020 г. температуры воздуха в осенне-зимний период были значительно выше среднееголетних данных, в то время как среднесуточная температура в апреле была на 1,7 °С ниже среднееголетней (рис. 1). С сентября 2019 г. по апрель 2020 г. выпало 269 мм осадков при среднееголетнем количестве за этот период – 326 мм, особенно засушливыми были март и апрель: при среднееголетнем количестве осадков 72 мм в период вегетации озимой пшеницы выпало всего 29 мм. Май был холоднее и суше (ГТК 1,18) по сравнению со среднееголетними показателями (ГТК 1,39). Июнь (ГТК 1,45) и июль (ГТК 1,59), основной период формирования и налива зерна был в целом благоприятным для озимой пшеницы, что обеспечило высокую урожайность зерна в опытах.



а) Количество выпавших осадков, мм



б) Среднемесячная температура воздуха, °С

Рис. 1. Погодные условия в период вегетации озимой пшеницы

В период вегетации озимой пшеницы в 2020–2021 гг. температуры воздуха в осенний период были выше среднемноголетних данных, в то время как среднесуточная температура в феврале была на 3,2 °С ниже среднемноголетней. В осенний период (сентябрь–ноябрь) 2020 г. выпало 124 мм осадков при среднемноголетнем количестве за этот период – 160 мм. Особенно сухим (ГТК 0,7) выдался сентябрь 2020 г., что отрицательно сказалось на всходах озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Погодные условия в осенний период вегетации озимых зерновых культур в 2021 г. были достаточно неблагоприятными для их роста и развития. Сроки сева были затянуты в связи с тем, что до 16 сентября почва была очень сухой, а с 17 сентября ежедневные дожди и ливни не давали возможность сеять. Октябрь был сухим: при норме осадков 54 мм выпало всего 7 мм. Озимая пшеница ушла в зиму в фазе 2–3 листа. В ноябре и декабре погодные условия были близки к среднемноголетним значениям, январь и февраль – теплее обычного с большим количеством осадков. Март был холодным и сухим: при среднемесячной температуре 1,3 °С выпало всего 3 мм осадков. Холоднее обычного и дождливыми были апрель и май: при среднесуточной температуре в апреле 5,6 °С выпало 108 мм осадков; в мае выпало 70 мм осадков при температуре 11 °С. В результате озимая пшеница и рожь хорошо раскустились. Июнь был суше и теплее обычного, в результате ГТК составил 0,9 при среднемноголетнем 1,5. Погода в июле была близка к норме. В целом погодные условия были достаточно благоприятными для получения высокого урожая озимых зерновых культур.

В результате в первом поле озимая пшеница посеяна 16 сентября 2019 г. с нормой высева 248 кг/га (5,3 млн семян). Полевая всхожесть составила 87%. Теплая бесснежная зима способствовала 98 % перезимовке растений. При этом основной период формирования и налива зерна был в целом благоприятным для озимой пшеницы, что обеспечило высокую урожайность зерна в 2020 г.

Во втором поле озимая пшеница посеяна 14 сентября 2020 г. с нормой высева 250 кг/га (5,4 млн семян). В период осенней вегетации особенно сухим (ГТК 0,7) выдался сентябрь, что отрицательно сказалось на всходах озимой пшеницы. Полевая всхожесть составила 78%. Выпадение снега на слабозамерзшую почву (среднесуточная температура в декабре –1,2 °С, обильные осадки в виде снега в январе 109 мм (в 2,3 раза выше нормы) и длительное сохранение снежного покрова (до середины марта) способствовали сильному развитию снежной плесени на озимой пшенице. В результате перезимовка растений составила 66 %.

В третьем поле озимая пшеница посеяна 27 сентября 2021 г. с нормой высева 181 кг/га (4,5 млн семян). Полевая всхожесть составила 85 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За счет эффективного плодородия среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за 3 года на фоне вспашки составила 40,9 ц/га, изменяясь по годам исследования от 33,2 ц/га в 2021 г., когда растения пострадали от снежной плесени, до 45,6 ц/га в 2022 г. (табл. 1). Содержание белка в зерне в неудобренном варианте в среднем за 3 года составило 8,77 % (табл. 2), клейковины – 17,43 % (табл. 3). Внесение $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ обеспечило рост урожайности зерна на 25,9 ц/га, или 68 %. Кроме

ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

роста урожайности внесение удобрений способствовало увеличению содержания в зерне сырого белка с 8,77 % до 13,23 % и клейковины – с 17,43 до 26,21 %. В результате зерно по содержанию клейковины соответствовало требованиям, предъявляемым к продовольственному зерну 3 класса качества, в то время как зерно пшеницы, выращенной без удобрений, пригодно только на фураж. Наиболее благоприятными для накопления белка и клейковины были погодные условия в 2021 г., наименее благоприятными – в 2022 г.

Таблица 1

Влияние удобрений и способа обработки почвы на урожайность озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, 2020–2022 г.

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка, ц/га
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	43,9	33,2	45,6	40,9	–
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	64,5	56,5	79,5	66,8	25,9
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	64,4	60,4	80,8	68,5	27,6
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	68,3	58,9	82,0	69,7	28,8
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	70,9	58,3	82,9	70,7	29,8
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	65,1	54,4	79,7	66,4	25,5
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀₊₁₀	68,2	53,7	78,6	66,8	25,9
Солома + Жыцень, 3 л/га +P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	69,9	54,4	83,0	69,1	28,2
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	74,9	53,3	79,5	69,2	28,3
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N _{70до опт +40+40}	69,8	52,0	81,5	67,8	26,9
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ (по вспашке) + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	66,5	54,0	82,4	67,6	26,7
Солома + N _{20(КАС)} + P ₅₅ *K ₄₅ * + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	72,2	52,9	80,6	68,6	27,7
Дискование					
Без удобрений	46,3	37,4	31,2	38,3	–
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	72,7	56,6	73,9	67,7	29,4
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	68,7	59,3	82,1	70,0	31,7
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	72,1	56,0	76,0	68,0	29,7
Солома +ПН КРС, 30 т/га+P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	71,7	57,8	77,3	68,9	30,6
Солома + Жыцень, 3 л/га+P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	77,7	65,4	76,9	73,3	35,0
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	75,7	60,8	74,1	70,2	31,9
НСР ₀₅ (удобрения)	5,3	4,3	5,2	4,9	
НСР ₀₅ (обработка почвы)	2,3	2,3	3,1	2,6	

**Влияние систем удобрения на содержание сырого белка
в зерне озимой пшеницы**

Вариант	Содержание сырого белка, %				Прибавка, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	8,54	9,54	8,22	8,77	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,56	14,49	11,62	13,22	4,45
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	12,90	14,02	11,77	12,90	4,13
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	13,05	14,67	11,83	13,18	4,41
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	13,02	14,96	11,35	13,11	4,34
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,48	14,98	10,08	12,85	4,08
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+10}$	13,61	14,79	11,39	13,26	4,49
Солома + Жыцень, 3 л/га+ $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,34	15,45	10,92	13,24	4,47
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,34	15,13	11,18	13,22	4,45
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70до опт +40+40}$	13,55	15,21	11,30	13,35	4,58
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115}$ (по вспашке) + $N_{70+40+40}$	13,37	14,58	11,21	13,05	4,28
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{55}^*K_{45}^* + N_{70+40+40}$	13,34	14,89	10,71	12,98	4,21
Дискование					
Без удобрений	8,23	9,93	8,57	8,91	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	12,39	15,67	10,25	12,77	3,86
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	12,30	15,39	10,86	12,85	3,94
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,12	15,78	9,80	12,90	3,99
Солома +ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	13,17	15,72	10,25	13,05	4,14
Солома + Жыцень, 3 л/га+ $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	12,79	14,92	10,07	12,59	3,68
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	13,11	15,32	9,92	12,78	3,87
<i>НСР₀₅ (удобрения)</i>	<i>0,72</i>	<i>0,49</i>	<i>0,62</i>	<i>0,61</i>	
<i>НСР₀₅ (обработка почвы)</i>	<i>0,38</i>	<i>0,26</i>	<i>0,56</i>	<i>0,40</i>	

Таблица 3

Влияние систем удобрения на содержание клейковины в зерне озимой пшеницы

Вариант	Содержание клейковины, %				При- бавка, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
Вспашка					
Без удобрений (контроль)	17,68	17,60	17,01	17,43	–
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,92	29,26	23,45	26,21	8,78
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + $N_{70+40+40}$	25,63	28,04	23,85	25,84	8,41
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	25,27	30,16	24,29	26,57	9,14
Солома+ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	25,18	31,39	22,55	26,37	8,94
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	26,61	31,76	20,23	26,20	8,77
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40+10}$	26,64	30,93	22,31	26,63	9,20
Солома + Жыцень, 3 л/га + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	26,28	32,99	20,65	26,64	9,21
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,73	32,14	22,01	26,63	9,20
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70до опт +40+40}$	27,11	32,21	22,42	27,25	9,82
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115}$ (по вспашке) + $N_{70+40+40}$	26,94	29,58	22,19	26,24	8,81
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{55}^*K_{45}^* + N_{70+40+40}$	25,51	30,72	20,97	25,73	8,30
Дискование					
Без удобрений	17,82	17,89	17,00	17,57	
$P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	23,53	33,17	19,18	25,29	7,72
ПН КРС, 40 т/га + $P_{40}K_{35} + N_{60+30+40}$	24,26	32,42	21,30	25,99	8,42
Солома + $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,74	34,10	18,10	25,98	8,41
Солома +ПН КРС, 30 т/га+ $P_{50}K_{50} + N_{60+40+40}$	26,70	33,55	19,49	26,58	9,01
Солома + Жыцень, 3 л/га+ $P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	25,29	31,15	18,90	25,11	7,54
Солома + $N_{20(КАС)} + P_{65}K_{115} + N_{70+40+40}$	26,18	31,96	19,36	25,83	8,26
<i>НСР₀₅ (удобрения)</i>	<i>1,37</i>	<i>1,47</i>	<i>1,75</i>	<i>1,53</i>	
<i>НСР₀₅ (обработка почвы)</i>	<i>0,68</i>	<i>0,78</i>	<i>1,54</i>	<i>1,00</i>	

В варианте, где озимая пшеница посеяна без фосфорных и калийных удобрений, двукратная некорневая обработка комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га: 1-я в фазу кущения осенью, 2-я – в период начала активной вегетации весной, по действию на урожайность (68,5 ц/га) была аналогичной внесению $P_{65}K_{115}$. Снижение доз фосфорных и калийных удобрений на 25 и 80 кг д. в. соответственно и азотных удобрений на 20 кг/га на фоне внесения 40 т/га подстилочного навоза КРС не оказало существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с минеральной системой удобрения, отмечена только тенденция к увеличению (+2,9 ц/га).

Запашка 3 т/га соломы, что в переводе в условный навоз составило 10,5 т/га, снижение дозы подстилочного навоза КРС с 40 до 30 т/га и внесение на этом фоне $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$ не повлияло существенно на урожайность зерна по сравнению с внесением ПН КРС, 40 т/га + $N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$.

Запашка соломы без компенсирующей дозы азота в варианте Солома + $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ в среднем за 3 года не оказала существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с аналогичным вариантом без соломы. Дополнительная некорневая подкормка N_{10} в период колошение – налив зерна из трех лет была эффективной только в погодных условиях 2022 г. и способствовала увеличению содержания белка на 1,31 %, клейковины – на 2,08 %.

Обработка соломы микробным удобрением Жыцень в дозе 3 л/га обеспечила выраженную тенденцию роста урожайности зерна в 2020 г. (+4,8 ц/га) и 2022 г. (+3,1 ц/га) и не оказала влияния в 2021 г. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе (N_{20}) в виде КАС увеличило урожайность зерна на 9,8 ц/га в 2020 г. и не оказало существенного влияния в погодных условиях вегетации озимой пшеницы в 2021 и 2022 гг.

В опыте ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы проводили в два срока: в одном из вариантов, как только можно было выйти в поле, в остальных – при установлении среднесуточных температур выше 5 °С. Погодные условия в марте–апреле 2020–2022 гг. были схожими: кратковременное потепление в марте сменялось продолжительным периодом (2–3 недели) со среднесуточными температурами ниже 5 °С. Существенной разницы в урожайности и показателях качества зерна между подкормками до оптимальных сроков и в оптимальные сроки не установлено. На основании полученных экспериментальных данных целесообразно начинать ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы сразу же, как только можно выйти в поле, начиная с более слабых посевов.

Внесение фосфорных и калийных удобрений по вспашке не оказало существенного влияния на урожайность и качество зерна пшеницы по сравнению с внесением их под вспашку.

Снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом поступления данных элементов питания с соломой предшественника обеспечило получение урожайности зерна озимой пшеницы на уровне внесения полных доз этих удобрений с близким содержанием белка и клейковины.

Урожайность озимой пшеницы в блоке с поверхностной обработкой в качестве основной обработки почвы в среднем за 3 года была на 0,5 ц/га выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке с традиционной обработкой почвы при достоверной разнице в урожае в варианте, где солому обработали микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га и составила 4,2 ц/га (табл. 1, рис. 2).

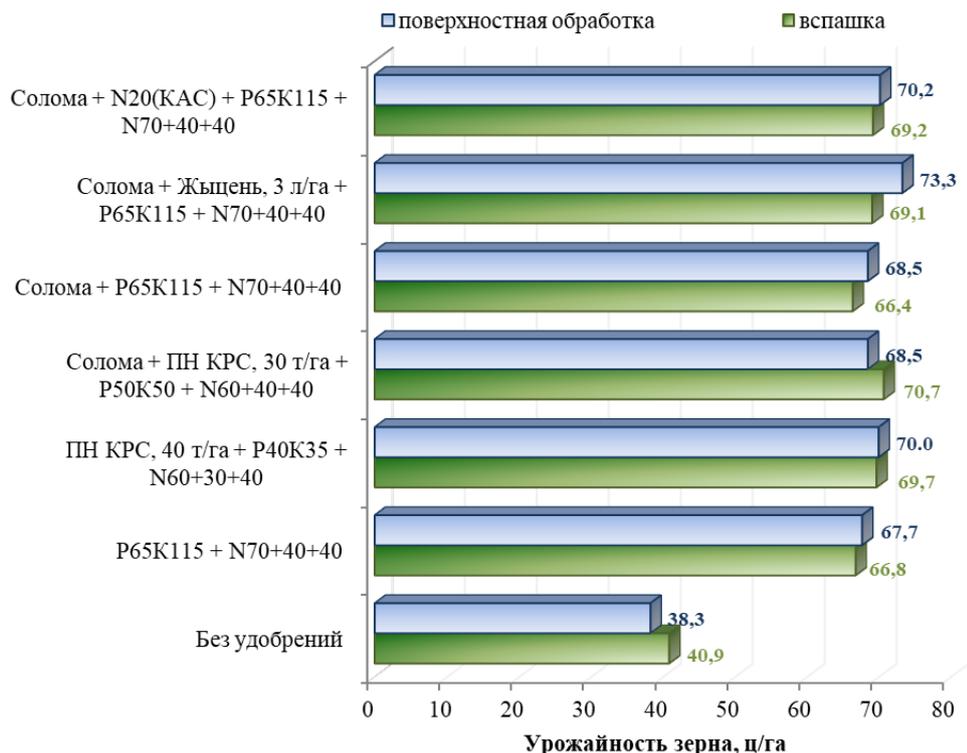


Рис. 2. Влияние удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы, среднее за 3 года

Таким образом, заделка соломы без компенсирующей дозы азота не оказала негативного влияния на растения озимой пшеницы. Следует отметить, что заделка соломы, обработанной микробным удобрением Жыцень, дисками гораздо эффективнее по влиянию на урожайность, чем ее запашка, т. к. микробное целлюлозоразлагающее удобрение Жыцень гораздо эффективнее работает в аэробных условиях.

В интенсивном земледелии наряду с получением высоких урожаев с хорошими показателями качества важно создавать условия для расширенного воспроизводства плодородия почвы. Для оценки более эффективных систем применения удобрений выполнен химический анализ образцов зерна и соломы озимой пшеницы, рассчитаны хозяйственный и удельный вынос элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения по вариантам опыта (табл. 4).

На среднекультуренной супесчаной почве хозяйственный вынос минимальным был в неудобренных вариантах: азота – 57 кг/га в блоке вспашки и 60 кг/га в блоке дискования, фосфора – 38 и 36 кг/га, калия – 37 и 34 кг/га; в удобренных вариантах изменялся в пределах: азота – 131–152 кг/га, фосфора – 57–69 кг/га, калия – 64–82 кг/га в блоке вспашки и в блоке дискования: азота – 140–150 кг/га, фосфора – 62–69 кг/га, калия – 77–85 кг/га.

Таблица 4

Влияние удобрений на хозяйственный и нормативный вынос элементов питания с урожаем озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 2020-2022 гг.

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вспашка									
Без удобрений (контроль 1)	57	38	37	13,9	9,2	8,9	—	—	—
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	140	64	70	20,9	9,5	10,5	1,1	1,0	1,6
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₆₀₊₂₀	131	59	64	19,1	8,6	9,4	1,1	—	—
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	152	69	82	21,7	9,9	11,7	2,6	2,4	3,6
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	151	69	81	21,3	9,8	11,5	2,4	2,2	3,6
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	141	64	75	21,3	9,6	11,3	1,2	1,1	2,1
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀₊₁₀	146	62	76	21,8	9,3	11,3	1,3	1,2	2,1
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	148	66	75	21,4	9,5	10,9	1,2	1,1	2,1
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	141	63	72	20,4	9,1	10,4	1,4	1,2	2,2
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N _{70до опт.+40+40}	143	61	72	21,0	9,1	10,6	1,4	1,2	2,2
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ (по вспашке) + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	138	57	72	20,4	8,4	10,6	1,4	1,3	2,2
Солома + N _{20(КАС)} + P ₅₅ K ₄₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	146	59	72	21,3	8,6	10,5	1,3	1,1	1,6
Дискование									
Без удобрений (контроль 2)	60	36	34	15,6	9,4	8,9	—	—	—
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	140	62	77	20,6	9,2	11,3	1,1	1,0	1,5
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	145	67	82	20,7	9,6	11,7	2,7	2,5	3,6
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	144	63	80	21,1	9,2	11,6	1,2	1,2	2,0
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	147	66	83	21,5	9,6	12,1	2,5	2,3	3,5
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	150	69	85	20,5	9,4	11,6	1,2	1,1	1,9
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	149	66	80	21,2	9,5	11,5	1,3	1,1	2,0
В среднем по удобрённым вариантам	132	58	68	20,7	9,3	10,9			

В настоящее время для расчета доз удобрений производству рекомендуются следующие усредненные нормативы удельного выноса элементов питания: азота – 28,2 кг/т, фосфора – 10,8 кг/т, калия – 19,2 кг/т. В опыте в среднем за 3 года в зависимости от системы удобрения удельный вынос азота изменялся от 19,1 до 21,8 кг/т, фосфора – от 8,6 до 9,9 кг/т, калия – от 9,4 до 12,1 кг/т.

Для расчета оптимальных доз внесения удобрений под планируемую урожайность используется метод коэффициентов возмещения выноса, т.е. компенсация выноса за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания соответствующих элементов питания в почве. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве при урожайности зерна 66,4–73,3 ц/га в зависимости от системы применения удобрений коэффициенты возмещения удобрениями выноса азота составили 1,1–2,7, фосфора – 1,0–2,5, калия – 1,5–3,6 (табл. 4). Это значит, что применяемые системы удобрения наряду с повышением урожайности и качества зерна озимой пшеницы способствуют поддержанию и повышению почвенного плодородия. Максимальные коэффициенты возврата получены при органоминеральной системе удобрения с применением подстилочного навоза КРС.

Рациональность применения различных видов и доз удобрений в сельскохозяйственном производстве должна быть подтверждена не только агрономической, но и экономической эффективностью. Ее главным критерием в растениеводстве является получение максимальной урожайности при минимальных затратах. Расчет экономической эффективности позволяет установить научно обоснованные дозы удобрений для получения стабильных урожаев с высоким качеством продукции. Экономическую эффективность применения удобрений оценивали такими показателями как условный чистый доход и рентабельность. Условный чистый доход на 1 гектар посевов рассчитывали как разность между стоимостью урожая, полученного за счет удобрений, стоимостью затрат на удобрения и доработку урожая.

Расчет экономической эффективности внесения удобрений выполнен на прибавку урожая от удобрений с учетом повышения качества всего зерна в ценах на минеральные удобрения и зерно пшеницы в Республике Беларусь в 2022 г. в долларовом эквиваленте. Транспортировка до 5 км и внесение подстилочного навоза КРС (ПН КРС) – 3,5 долл. США/т (на озимую пшеницу брали 60 % от затрат), затраты на доработку прибавки урожая зерна – 25 долл. США/т, затраты на внесение соломы не учитывали, т. к. ее измельчали и разбрасывали по полю при уборке. В 2022 г. стоимость продовольственного зерна пшеницы 4 класса (клейковина от 18 до 23 %) составляла 473,14 руб./т, 3 класса с клейковиной выше 23 % – 540,00 руб./т, стоимость фуражного зерна (клейковина менее 18 %) брали 374,40 руб./т. Пересчет в долл. США выполнен по курсу 2,45.

При реализации зерна озимой пшеницы на продовольствие условный чистый доход от применения удобрений составил 498–662 USD/га при рентабельности 139–298 % (табл. 5). Наиболее экономически эффективной в среднем за 3 года была минеральная система удобрения с двумя некорневыми подкормками комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 и корневыми азотными подкормками ($N_{70+40+40}$), однако при данной системе удобрения складывается отрицательный баланс по фосфору и калию, что в дальнейшем приведет к снижению плодородия почвы и соответственно урожайности возделываемых культур. Высокой агроэкономической эффективностью характеризуются системы удобрения

Солома + N_{20(КАС)} + N₇₀₊₄₀₊₄₀P₆₅K₁₁₅ и Солома + ПН КРС, 30 т/га + N₆₀₊₄₀₊₄₀P₅₀K₅₀, при этом при последней системе удобрения отмечаются высокие коэффициенты возмещения элементов питания: азота – 2,4, фосфора – 2,2, калия – 3,6, что особенно важно для почв с низким плодородием. В блоке дискования выгодно отличается вариант с обработкой соломы микробным удобрением Жыцень и внесением N₇₀₊₄₀₊₄₀P₆₅K₁₁₅, при условном чистом доходе 614 USD/га коэффициенты возмещения выноса составили: азота – 1,2, фосфора – 1,1, калия – 1,9.

Таблица 5

Экономическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 3 года

Вариант	Стоимость урожа за счет удобрений	Общие затраты	Условный чистый доход	Рентабельность, %
	USD/га			
Вспашка				
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	847	342	505	148
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₆₀₊₂₀	885	222	662	298
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	911	357	554	155
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	933	369	564	153
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	838	341	498	146
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀₊₁₀	847	342	505	148
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	898	360	538	150
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	900	366	534	146
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N _{70до опт +40+40}	869	363	507	140
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ (по вспашке) + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	865	362	503	139
Солома + N _{20(КАС)} + P ₅₅ K ₄₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	887	338	549	163
Дискование				
P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	867	351	517	147
ПН КРС, 40 т/га + P ₄₀ K ₃₅ + N ₆₀₊₃₀₊₄₀	918	365	553	152
Солома + ПН КРС, 30 т/га + P ₅₀ K ₅₀ + N ₆₀₊₄₀₊₄₀	885	353	532	151
Солома + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	885	370	515	139
Солома + Жыцень, 3 л/га + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	991	377	614	163
Солома + N _{20(КАС)} + P ₆₅ K ₁₁₅ + N ₇₀₊₄₀₊₄₀	922	375	547	146

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистых почвах в полевых опытах в среднем за 3 года за счет эффективного плодородия среднекультуренной супесчаной почвы получено 40,9 ц/га зерна озимой пшеницы с содержанием белка 8,77 %, клейковины – 17,43 %. Внесение удобрений обеспечило рост урожайности в среднем на 64 % и способствовало увеличению содержания белка до 12,59–13,35 %, клейковины до 25,11–27,25 %.

2. Заделка соломы без компенсирующей дозы азота как при традиционной, так и при поверхностной обработке почвы не оказала негативного влияния на равномерность всходов и развитие растений озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве.

3. Наиболее оптимальной на дерново-подзолистой супесчаной почве в блоке вспашки была система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$ на фоне соломы, которая в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 68,6 ц/га с содержанием сырого протеина 12,98 %, клейковины – 25,74 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем составили: N – 1,3, P_2O_5 – 1,1, K_2O – 1,6, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна на продовольствие – 549 долл. США/га.

Для расширенного воспроизводства плодородия почвы рекомендуется система удобрения Солома + ПН КРС, 30 т/га + $N_{60+40+40}P_{50}K_{50}$, которая обеспечила формирование урожайности зерна 70,7 ц/га с содержанием сырого протеина 13,11 %, клейковины – 26,38 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем составили: N – 2,4, P_2O_5 – 2,2, K_2O – 3,6, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна на продовольствие – 564 долл. США/га.

При поверхностной обработке почвы: система удобрения, включающая внесение $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 73,3 ц/га с содержанием сырого протеина 13,30 %, клейковины – 25,11 %, коэффициенты возмещения выноса элементов питания урожаем: N – 1,2, P_2O_5 – 1,1, K_2O – 1,9, условный чистый доход за счет применения удобрений при условии реализации зерна как продовольственного – 614 долл. США/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник, 2022 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. Медведева [и др.]. – Минск, 2022. – С. 198–204.

2. Агафонов, Е. В. Применение комплексных удобрений и азотной подкормки под озимую пшеницу / Е. В. Агафонов, А. А. Громаков, М. В. Максименко // Земледелие. – 2012. – № 7. – С. 16–18.

3. Ненайденко, Г. Н. Удобрение и повышение качества зерна пшеницы в Верхневолжье / Г. Н. Ненайденко // Земледелие, агрохимия и почвоведение. – 2018. – № 2(84). – С. 20–27.

4. Матыс, И. В. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на пока-

затели качества зерна озимой пшеницы / И. В. Матыс, В. И. Кочурко // Известия ТСХА. – 2005. – Вып. 1. – С. 30–33.

5. *Ториков, В. Е.* Урожайность, качество зерна озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания и норм внесения минеральных удобрений / В. Е. Ториков, И. И. Фокин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 50-54.

6. *Яковчик, Н. С.* Энергосбережение в сельском хозяйстве / Н. С. Яковчик, А. М. Лапотко. – Барановичи: Укруп. тип., 1999. – 380 с.

7. *Серая, Т. М.* Влияние запашки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 30–36.

8. Оптимизация основной обработки почвы в севообороте / Ф. И. Привалов [и др.] // Приложение к журналу «Земледелие и растениеводство». – 2022. – № 2(141). – С. 30–33.

9. *Кирюшин, В. И.* Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований / В. И. Кирюшин // Земледелие. – № 7. – 2013. – С. 3–6.

10. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2003. – 43 с.

11. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений; под ред. Богдевича И. М. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

TORCHILO M. M. THE INFLUENCE OF FERTILIZER SYSTEMS ON THE YIELD AND QUALITY INDICATORS OF WINTER WHEAT GRAIN ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

T. M. Seraya, S. A. Kas'yanchik, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun, T. V. Machok, Yu. A. Simankova, M. M. Torchilo

Summary

In a field technological experiment on sod-podzolic sandy loamy soil, the agro-economic efficiency of various winter wheat fertilization systems was studied, depending on the method of basic tillage. The incorporation of straw without a compensating dose of nitrogen, both during traditional and surface tillage, did not adversely affect the uniformity of seedlings and the development of winter wheat plants on soddy-podzolic sandy loamy soil. On sod-podzolic soils in field experiments, on average for 3 years, due to the effective fertility of medium-cultivated sandy loam soil, 40,9 centners/ha of winter wheat grain was obtained, the most optimal on sod-podzolic sandy loam soil in the plowing block was a fertilizer system, including the application of $N_{70+40+40}P_{55}K_{45}$ against the background of straw, which ensured the formation of a winter wheat grain yield of 68,6 centners/ha, with surface tillage of the soil, a fertilizer system that includes the application of $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ against the background of straw treated with the microbial preparation Zhytsen in a dose of 3 l/ha ensured the formation of a winter wheat grain yield of 733 centners/ha. Grain quality indicators are determined.

Поступила 12.12.22