УДК 631.11:631.5

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ СТАЦИОНАРНОМ ОПЫТЕ[§]

© 2024 г. О. В. Волынкина*

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

*E-mail: kniish@ketovo.zaaural.ru

Представлены результаты наблюдений за реакцией растений на применение 6-ти систем удобрения, испытанных в течение 24 лет в повторных посевах яровой мягкой пшеницы после стерни. Визуальные и фенологические наблюдения за растениями раскрыли особенности их роста и развития на неудобренных и удобренных фонах. Определение засоренности посева выявило влияние удобрений на величину долей пшеницы и сорных растений в массе снопа в фазе формирования зерновки. В большей части лет этого опыта удобрения не увеличивали засоренность посева, лишь в течение 5-ти лет из 18-ти отмечено такое отрицательное действие. Показатели структуры урожая пшеницы (количество колосьев на 1 м², озерненность колоса и масса 1000 зерен) при применении удобрений улучшались, особенно в годы с достаточным увлажнением. Содержание клейковины в зерне и муке при внесении удобрений в дозах N40–60 без P20 и на его фоне существенно повышалось, увеличивая частоту лет с качеством пшеницы 3-го класса. Агротехническая и экономическая оценка 6-ти систем удобрения бессменной пшеницы после стерни выделила 4 варианта с окупаемостью, близкой к получению 10 кг зерна на 1 кг действующего вещества удобрений.

Ключевые слова: системы удобрения, бессменная пшеница, фенологические наблюдения, засоренность посева, структура урожая пшеницы, качество зерна, экономическая оценка.

DOI: 10.31857/S0002188124060055, **EDN:** CXXFVL

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основ продовольственной безопасности в России является повышение урожайности сельскохозяйственных культур, что более надежно происходит при применении минеральных удобрений. Внесение азотных и калийных удобрений в нашей стране составляет 18.5% от мирового потребления, фосфорных – 6.5% [1, 2]. Автор работы [3], показавший объемы производства и применения удобрений в РФ, указал, что уже в 2019 г. на 61% площади пашни вносили минеральные удобрения. При использовании удобрений и подборе их оптимальных доз следует учитывать их убывающую эффективность с увеличением дозы [4]. Для фосфорных удобрений необходимо учитывать последствие в последующие 2 года [5]. Экономическая эффективность удобрений возрастает, если учтено предварительное агрохимическое обследование почвы [5, 6].

Учеты и наблюдения за растениями в опытах в течение вегетации помогают объяснить особенности формирования урожайности пшеницы и качества зерна. В исследовательских работах по определению состава удобрения и их оптимальных доз большое значение придается сопутствующим наблюдениям, детализирующим действие внесенных питательных веществ [7–10]. Полноценной становится оценка влияния удобрений, если оценивают не только продуктивность зерновых и других культур, но и качество продукции, что важно для дальнейшей успешной ее переработки [11, 12]. Цель работы – изучение влияния различных систем удобрения на продуктивность яровой пшеницы в длительном стационарном опыте.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале УрФАНИЦ УрО РАН – в лабораториях агрохимии и земледелия. Стационарный опыт, в котором наблюдали за ходом роста яровой мягкой пшеницы в период вегетации, был размещен на Центральном

[§] Исследование в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002.

опытном поле Курганского НИИСХ. Заложен опыт в 1971 г. заведующим отделом агрохимии В.И. Волынкиным. Один из его помощников – сотрудник О.В. Волынкина (с 1993 г. по настоящее время). В течение 7-ми ротаций в 1971–1998 гг. изучение состава удобрения и доз азота вели в зернопропашном севообороте кукуруза – пшеница – пшеница – овес. Культуры выращивали при ежегодной вспашке. В конце этого периода в земледельческой практике Курганской и других областей произошли изменения – сокращение посевов кормовых культур и объемов проведения вспашки. Учитывая появление в сельскохозяйственном производстве новых технологий, в 1999–2000 гг. севооборот в опыте был заменен бессменной пшеницей после стерни. Почва на участке под опытом – выщелоченный чернозем маломощный малогумусный среднесуглинистый с содержанием гумуса в слое 0–20 см – 4.5% и подвижных соединений: P_2O_5 (по Чирикову) – 40 (низкое), K_2O – 250–350 мг/кг (высокое). За 53 года проведения опыта показатель $pH_{КС}$ изменился с исходной величины 6.0–6.2 до 5.15 ед. – в контроле и до 5.0 ед. – на фоне применения N60P20.

Во 2-й части опыта районированные сорта яровой мягкой пшеницы высевали в норме 4.5 млн всхожих зерен/га сеялкой СКП-2.1 с сошником культиваторного типа. Общая площадь делянки 270, учетная – 90 м². Повторность трехкратная. Удобрения – аммиачная селитра и аммофос. Сорта ценной среднеспелой пшеницы в большей части лет опыта – Терция и Зауралочка местной селекции. Учет урожая пшеницы проводили комбайном Sampro-500 напрямую с отбором образца для анализа влажности и сорности бункерной массы зерна.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведение наблюдений за морфологией и свойствами растений при действии разных систем применения удобрений в стационарных опытах помогает объяснить главные данные – результаты учета урожая культур. В стационарном опыте в течение всей вегетации посеvy осматривали, чтобы зафиксировать начало проявления действия разных систем удобрения. Визуальные наблюдения за растениями показали, в какой момент появились различия во внешнем виде удобренных и неудобренных растений. Чаще всего этот срок наступал после выпадения осадков в начале вегетации. Под влиянием удобрений растения приобретали более яркую зеленую окраску, особенно на фонах применения азота с фосфором, что было вызвано недостатком подвижного P_2O_5 в выщелоченном черноземе участка под опытом при его содержании 40 мг/кг. В фазе выхода в трубку пшеницы отмечали различия и по высоте растений в пользу фона азотно-фосфорного удобрения. Фенологические наблюдения раскрывали разнообразие хода роста

и развития растений под влиянием удобрений в разных погодных условиях. При контрастной погоде срок от всходов до колошения пшеницы сорта Зауралочка составлял 40 сут в сухом 2021 г. и 47 сут в благоприятном по увлажнению 2017 г. Период вегетации соответственно длился 79 и 89 сут. Важная фаза роста – кущение – в основном приходилась на июнь и длилась 14–16 сут. В этой фазе закладывается колос. Очень тесная связь выявлена между количеством зерен в колосе и количеством осадков в июне. Например, в 2016, 2017 и 2022 гг. выпадению осадков в июне в количестве 59, 48 и 82 мм соответствовала озерненность колоса 17–21 зерен в контроле и 26–27 шт. – на фонах N40–60P20. При осадках в июне 9–12 мм в сухих 2020 и 2021 гг. число зерен в колосе снижалось до 5–10 шт. в контроле и 8–16 шт. – при внесении удобрений. На фоне применения азотно-фосфорного удобрения флаговый лист работал дольше. В опыте была выявлена реакция 2-х среднеспелых ценных сортов пшеницы Терция и Зауралочка на достаточно жесткую технологию, представляющую собой возделывание пшеницы как бессменной культуры после стерневого фона.

В течение 18-ти лет вели наблюдения за засоренностью посева пшеницы. Для иллюстрации результатов наблюдений приведены варианты азотно-фосфорного удобрения, поскольку применение одного азота выражалось слабой эффективностью с прибавками при внесении N20–40–60, равными 1.8–2.5 ц/га, тогда как с добавлением фосфора средние прибавки увеличивались до 3.4–5.6–6.4 ц/га соответственно. В конце июня ежегодно применяли смесь 2-х гербицидов – дикотицидов и граминицидов, из которых первые действовали эффективно, вторые – слабее. Многолетние сорняки, достаточно полно уничтожаемые гербицидом, до обработки были в очень небольшом количестве. В их числе были молочай лозный (*Euphorbia virgata* W.K.) и выюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.). Из однолетних сорных растений появились noneя черноватая (*Nonea pulla* D.C.), подмаренник цепкий (*Gallium aparine* L.), гречишка выюнковая (*Polygonum convolvulus* L.). Среди злаковых однолетних сорняков в основном произрастал щетинник сизый (*Setaria glauca* (L.) P.V.). Он широко распространился при замене ежегодной вспашки стерневым фоном. Иногда щетинник оставался в нижнем ярусе посева, а в теплые влажные годы достигал до осеменения. Так было в 2007 г. при количестве осадков в мае, июне и июле 61, 28, 108 мм и 2008 г. при осадках 84, 28, 46 мм соответственно. В эти 2 года на конец июля доля сырой массы сорных растений в снопе в контроле достигала 27.0 и 17.8%, снижаясь только при внесении N60P20. В засушливые годы их доля была равна 1.4–1.9%, повышаясь при среднем увлажнении до 10.2–14.5%. При благоприятных и равномерных осадках пшеница набирала хорошую биомассу, вытесняя сорные растения при их доле 5–6% в снопе.

Анализ засоренности посева проводили в фазе формирования зерновки 23–27 июля. Сырая масса снопа пшеницы к этому моменту отражала условия погоды каждого периода вегетации и была тесно связана с величиной урожайности. Взамен громоздкой таблицы за 18 лет данные сгруппированы по величине набранной массы пшеницы к концу июля. Осадки июля сильнее, чем июня, влияли на распространение сорных растений. Эта связь ярче проявилась при сравнении результатов по группам лет (табл. 1).

Очень важно выявить действие удобрений на засоренность посева. Удобрения, повышая к концу июля вегетативную массу пшеницы в 1.4–1.6 раза к контролю, способны увеличивать и массу сорняков. Можно не считать те изменения засоренности от удобрения, когда ее уровень по принятой шкале сохранялся в том же классе, что и в контроле. При таком подходе получалось, что за счет удобрений существенное увеличение доли массы сорняков в снопе отмечено за 18 лет этого анализа 5 раз – в 2005, 2009, 2013, 2014 и 2020 г. Снижение засоренности от удобрений наблюдали 6 раз – в 2008, 2010, 2011, 2016, 2018 и 2019 г., что было связано с недостатком влаги в июне. В табл. 2 показана часть 18-летних данных с высокой долей сорных растений в годы с повышенными осадками в июле.

По данным, разделенным на 4 группы по величине набранной сырой массы пшеницы к моменту

определения засоренности посева, величина биомассы коррелировала с урожайностью (табл. 3).

Корреляционным анализом подтверждена тесная связь этих величин, особенно при сравнении их в группах. Выявлено большое значение для урожайности пшеницы июньских осадков. При переходе от 2-й группы к 3-й биомасса пшеницы во всех вариантах увеличилась в 1.21 раза, а урожайность – лишь в 1.03 раза. Причиной был жаркий засушливый август в годы 3-й группы с осадками в 2005, 2007 и 2014 г., равными 16–20 мм и температуре воздуха 19–20.6°C.

Следующим наблюдением за влиянием систем удобрения на продуктивность бессменной пшеницы после стерни было определение структуры урожая. Его вели все 24 года опыта с бессменной пшеницей после стерни. Годы сгруппированы по величине ГТК за май–август. Для показа результатов взяты 3 варианта. Если в наблюдениях за засоренностью посева важно было проследить за влиянием высокой дозы азота N60P20, то при оценке урожая и его структуры были взяты более умеренные дозы N20–40P20 (табл. 4). Это сделано по двум причинам – большей реальности их использования в производственной практике и частом отсутствии существенной дополнительной прибавки урожайности при переходе от N40P20 к N60P20, что в среднем за 25 лет дало прибавку всего 0.7 ц/га.

Таблица 1. Зависимость засоренности посева бессменной пшеницы после стерни от осадков июня и июля

Группа	Количество лет и W_{06} , W_{07} , мм	Доля массы сорняков в снопе, %		
		N0P0	N40P20	N60P20
1	5 (W_{06} 21, W_{07} 33)	7.5	6.1	8.5
2	4 (W_{06} 33, W_{07} 62)	12.3	13.0	12.6
3	4 (W_{06} 96, W_{07} 96)	15.4	22.3	20.2
4	5 (W_{06} 70, W_{07} 70)	7.1	6.0	3.4
	r для 18-ти пар “доля и W_{06} ”	–0.281	–0.411	–0.422
	r для 18-ти пар “доля и W_{07} ”	0.317	0.371	0.228
	r для пар 4-х групп “доля и W_{06} ”	–0.526	–0.462	–0.699
	r для пар 4-х групп “доля и W_{07} ”	0.726	0.793	0.583

Таблица 2. Засоренность посева бессменной пшеницы в годы с влажным июлем

Год	W_{06} , мм	W_{07} , мм	Доля массы сорняков в снопе, %		
			система удобрения		
			N0P0	N40P20	N60P20
2011	100	78	18.5	30.2	30.4
2013	16	64	9.8	14.6	14.6
2014	6	102	8.9	16.2	10
2016	60	131	10.2	15.7	14
2017	48	78	16.8	26.2	30.5
Среднее за 18 лет			10.8	10.3	11.5

Таблица 3. Соответствие сырой массы пшеницы в фазе формирования зерна ее урожайности в разных погодных условиях

Группа	Количество лет в группах (осадки июня и июля, мм)	Система удобрения					
		N0P0		N40P20		N60P20	
		биомасса, г/м ²	урожайность зерна, ц/га	биомасса, г/м ²	урожайность зерна, ц/га	биомасса, г/м ²	урожайность зерна, ц/га
1	5 (W_{06} и W_{07} – 21 и 33)	369	5.3	494	7.9	513	7.8
2	4 (W_{06} и W_{07} – 26 и 62)	625	8.9	889	13.2	973	14.6
3	4 (W_{06} и W_{07} – 24 и 96)	786	9.7	1079	13.7	1287	13.2
4	5 (W_{06} и W_{07} – 68 и 70)	1210	16.3	1626	25.0	1908	25.1
	r для 18-ти пар “биомасса растений и урожайность”	0.903		0.884		0.853	
	r для пар 4-х групп “биомасса растений и урожайность”	0.989		0.980		0.948	
	r для 18-ти пар “урожайность и W_{06} , W_{07} ”	0.732, 0.046		0.745, 0.013		0.746, 0.000	
	r для 4-х групп пар “урожайность и W_{06} , W_{07} ”	0.937, 0.493		0.957, 0.432		0.947, 0.401	

Таблица 4. Роль удобрений и погодных условий в формировании разных элементов структуры урожая бессменной пшеницы после стерни (2000–2023 гг.)

ГТК _{5–8}	Вариант	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность зерна при учете комбайном, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га
0.48	N0P0	232	10.9	25.3	6.0	–
	N20P20	256	12.9	26.2	7.7	1.7
	N40P20	238	14.4	25.3	8.0	2.0
1.05	N0P0	246	14.8	28.0	9.3	–
	N20P20	274	16.2	28.6	12.1	2.8
	N40P20	275	18.3	29.0	13.7	4.4
1.14	N0P0	298	15.1	29.8	13.6	–
	N20P20	331	17.0	31.2	18.9	5.3
	N40P20	349	21.5	32.5	23.2	9.6

Примечание. HCP_{05} урожайности для групп лет: 0.9, 2.1 и 3.7 ц/га соответственно.

В засушливые годы удобрение оказывало влияние на все 3 элемента структуры урожая, но оно было слабым в отношении числа продуктивных стеблей и крупности зерна. Более заметно повышалось число зерен в колосе. Даже при среднем уровне увлажнения периода май–август проявилась такая же закономерность. Во влажные годы при оптимальной дозе удобрения N40P20 повысилась роль всех 3-х элементов структуры урожая: число продуктивных стеблей на 1 м² увеличилось на 51 шт., количество зерен в колосе – на 6 шт. и масса 1000 зерен – на 2.7 г. За счет этого получена самая высокая прибавка урожайности 9.6 ц/га. В среднем за 25 лет (1999–2023 гг.) исследований одностороннее азотное удобрение N20–40–60

на участке с низким содержанием в почве P₂O₅ (40 мг/кг) давало наименьшие прибавки урожайности бессменной пшеницы после стерни – 1.8–2.3 ц/га при урожае в контроле 9.7 ц/га. Азотно-фосфорное удобрение обеспечивало вдвое более высокие прибавки урожайности – 3.4–5.5–6.2 ц/га соответственно системе удобрения.

Накопление в зерне белка и клейковины сильнее менялось в зависимости от погодных условий, но удобрения всегда оказывали положительное влияние на эти показатели. В 2000–2011 гг. в опыте высевали пшеницу сорта Терция. Изменения по годам содержания клейковины в зерне у этого сорта в контроле

менялись от 14.0 до 26.9 и от 22.6 до 30.4% в варианте N40P20. В среднем за 12 лет посева этого сорта 3 дозы азотного удобрения N20–40–60 позволили вырастить зерно с содержанием клейковины 23.9–24.9–28.0%, а при добавлении к азоту фосфора – 20.5–24.8–28.0% соответственно при ее количестве в контроле 19.8%. Повторяемость уровня качества 3-го класса соответственно составила на фоне применения одного азота 58–67–92% лет, а при этих же дозах с фосфором – 25–67–75% лет, тогда как в контроле этот показатель достигал только 25%. Показано, что малая доза азота на фосфорном фоне не была способна надежно обеспечивать 3-й класс качества пшеницы.

В 2012–2021 гг. высевали пшеницу сорта Зауралочка. Закономерность влияния удобрений была аналогичной. Содержание клейковины на фоне применения 3-х доз азота составило 25.4–26.3–26.6%,

с добавлением P20 – 22.3–25.8–26.6% соответственно при показателе 22.8% в контроле. С переходом на использование в опыте других сортов пшеницы пока не набрано достаточных опыто-лет для заключения о роли удобрений на качество зерна пшеницы различных сортов.

Более подробно качество бессменной пшеницы после стерни оценивали по технологическим свойствам зерна, для сорта Зауралочка это показано в табл. 5. Для упрощения этой таблицы приведены контрольный вариант и 2 варианта применения удобрений в дозах, рекомендуемых производственной практике.

В 2015 г. накопление клейковины в зерне из-за среднего поражения растений листовой и стеблевой ржавчиной соответствовало лишь 4-му классу

Таблица 5. Технологические качества пшеницы сорта Зауралочка (2015–2020 гг.)

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Выход муки, %	Клейковина в муке, %	Сила муки, ед. альвеографа	<i>p/l</i>	Объемный выход хлеба, мл	Балл за хлеб
2015 г.							
Контроль	24.9	71.3	23.0	209	3.4	510	1.7
N20P20	24.9	73.3	23.4	136	2.6	660	3.1
N40P20	23.1	68.6	27.6	145	2.6	685	3.1
2016 г.*							
Контроль	19.0	44.6*	–	133	3.7	550	2.9
N20P20	19.9	46.0	–	–	–	415	2.3
N40P20	18.8	41.0	–	–	–	390	2.3
2017 г.							
Контроль	32.7	66.6	22.4	136	1.9	575	2.5
N20P20	32.5	76.6	20.0	106	2.1	610	3.1
N40P20	34.5	81.3	26.4	168	3.0	655	2.9
2018 г.							
Контроль	27.9	72.3	23.3	291	5.0	700	3.1
N20P20	28.2	73.3	20.0	262	5.1	645	3.1
N40P20	28.8	66.6	24.6	267	4.9	635	3.1
2019 г.							
Контроль	28.4	77.5	30.5	303	2.3	640	2.8
N20P20	28.5	75.2	23.9	392	3.8	610	3.0
N40P20	27.7	73.3	31.0	377	3.4	655	3.0
2020 г.							
Контроль	22.8	71.6	36.6	430	3.2	935	4.1
N20P20	22.8	70.0	34.7	438	2.6	925	3.6
N40P20	23.2	73.3	39.2	372	2.9	895	3.5
Среднее за 5 лет (без 2016 г. с сильным поражением пшеницы стеблевой ржавчиной)							
Контроль	27.4	71.8	27.2	274	3.2	672	2.8
N20P20	27.4	73.7	24.4	267	3.2	690	3.2
N40P20	27.4	72.6	29.8	266	3.4	705	3.1

* В 2016 г. помол зерна – на мельнице “Quadrat Junior”, в остальные годы – на мельнице “Бюлер”.

качества пшеницы. В муке содержание клейковины было далеким от нормы, которая установлена для муки пшеницы ценных сортов — $\geq 30\%$. Удобрение повышало количество клейковины на 3–4 пункта к контролю. Дозы азота N20P20 было недостаточно для улучшения качества, поскольку она в основном расходовалась на формирование урожайности. Проявилась характерная черта для пшеницы сорта Зауралочка, у которой свойства клейковины по величине показателя ИДК отвечали требованиям 1-й группы или приближались к этому уровню. Возможно, благодаря лучшей упругости клейковины сила муки в контроле была на хорошем уровне — 209 ед. альвеографа (е.а.). В большей части остальных вариантов, где была больше урожайность, сила муки равна 136–157 е.а. Объемный выход хлеба в контроле составил 510, на фоне N40P20 — 685 мл. Общая хлебопекарная оценка кардинально изменялась с повышением балла от 1.7 в контроле к 3.1 при внесении N40P20.

В 2016 г. растения были сильнее, чем в 2015 г., поражены стеблевой ржавчиной, и качество зерна пшеницы резко снизилось. Например, масса 1000 зерен была равна 19.0–19.9 г, содержание клейковины в зерне — 12–19%, а клейковина трудно отмывалась. Сила муки была равна 133 е.а. (в части вариантов из-за низкого качества теста силу муки не удалось определить). Объемный выход хлеба был равен 390–550 мл. В табл. 5 не показаны варианты N40–60 без фосфора, где обычно влияние на урожайность было слабым, а на качество зерна — значительным. Лишь в этих вариантах по содержанию клейковины в зерне в 2016 г. отмечен переход из 5-го в 4-й класс.

В 2017 г. за счет своевременной обработки посева фунгицидом и равномерного выпадения достаточного количества осадков в период вегетации удобрения положительно влияли на количество клейковины за исключением малой дозы азота N20P20. В благоприятных условиях увлажнения 2017 г. этой дозы азота хватило на прибавку урожайности зерна 6.0 ц/га, но содержание клейковинных белков в зерне пшеницы и муке стало даже меньше, чем в контроле. С повышением дозы увеличивалось не только содержание клейковины в муке, но и улучшались свойства теста и хлеба. Например, сила муки в варианте N40P20 увеличилась со 136 до 168 е.а. Заметнее такое положительное действие было при дозах N60–80P20, не показанных в табл. 5.

В 2018 г. положительное действие удобрений на рост растений, проявившееся в начале вегетации, затем нивелировалось из-за недостатка влаги в июне и жары в июле–августе. Пшеница по качеству отвечала в основном требованиям 4-го класса. Сила муки была равна 262–291 е.а., но с очень неблагоприятным соотношением упругости и растяжимости теста (4.9–5.1) при оптимальных показателях $p/l = 1–2$. Поэтому объемный выход хлеба на фоне применения

удобрений чаще даже снижался по отношению к контролю, за исключением одностороннего азотного удобрения в вариантах N40–60, где улучшалась и общая хлебопекарная оценка.

В 2019 г., как и обычно в годы с недостатком влаги, накопление клейковинных белков было на высоком уровне за исключением варианта N20P20, который отставал по этому показателю в большинстве лет опыта. При высокой силе муки вновь повторилось неблагоприятное соотношение упругости и растяжимости теста (2.3–3.8). Поэтому объемный выход хлеба был в пределах 610–720 мл. Общая хлебопекарная оценка повысилась с 2.8 баллов в контроле до 3.0–3.1 на фоне N40P20.

В 2020 г. содержание клейковины в муке было аналогичным этому показателю в зерне, также в варианте N20P20 оно было меньше, чем в контроле, при повышении дозы азота оно стало существенно больше. Сила муки 430 е.а. была в контроле, 438 — при малой дозе азота и 372–467–488 е.а. — при применении доз N40–60–80P20. Показатель объемного выхода хлеба в вариантах опыта изменялся незначительно, но оставался на высоком уровне 895–935 мл. Общая хлебопекарная оценка была самой высокой в контроле — 4.1 балла и 3.2–3.6 — в остальных вариантах. Снижение величин части перечисленных показателей на удобренных фонах можно объяснить расходом удобрения на формирование урожая с прибавками зерна ≈ 4 ц/га. В среднем за 2015–2020 гг. (исключая 2016 г.) в рекомендуемой практике варианте N40P20 в посеве бессменной пшеницы после стерни объемный выход хлеба составил 705 мл при 672 мл в контроле.

Общая итоговая характеристика изученных систем удобрения за 24 года (1999–2022 гг.) на бессменной пшенице после стерни дана в табл. 6.

Следует считать, что агрофон, взятый для исследования, не является необычным. Его продуктивность в центральной зоне области равна продуктивности 3-й пшеницы после пара на фонах без основной обработки почвы. Судя по окупаемости удобрения, положительно проявились только 4 приема, где окупаемость 1-го кг д.в. приближалась к желаемой величине 10 кг/кг д.в. К ним относится применение N20 и все дозы азотно-фосфорного удобрения.

Однако подсчет оплаты удобрения в рублях при неблагоприятном соотношении цен на зерно пшеницы и удобрения обеспечил неплохую рентабельность лишь в одном варианте — N20. Стоимость 1-го ц зерна пшеницы и аммиачной селитры — 1100 и 2400 руб. соответственно создало соотношение 1 : 2.18, для аммофоса — 1 : 5.18 (1100 : 5700). При таком неблагоприятном соотношении необходимость широкого применения аммофоса в Курганской обл. при 62% почв пашни с низким содержанием подвижного фосфора может реализоваться при получении более высокого прироста урожайности, чем в среднем получено

Таблица 6. Эффективность систем удобрения бессменной пшеницы после стерни (1999–2022 гг.)*

Показатель	Системы удобрения						
	N0P0	N20	N40	N60	N20P20	N40P20	N60P20
Урожайность, ц/га	10.0	11.8	12.4	12.2	13.4	15.6	16.4
Прибавка от удобрения, ц/га	–	1.8	2.4	2.2	3.4	5.6	6.4
Окупаемость удобрения, кг/кг д.в.	–	9.0	6.0	3.7	8.5	9.3	8.0
Цена зерна**, руб./ц	1100	1136	1143	1164	1100	1143	1136
Стоимость прибавки***, руб./га	–	2883	3769	3678	4225	7083	8615
Затраты на удобрение, руб./га	–	1668	3036	4380	4348	5716	7060
Прибыль, руб./га	–	1215	733	–702	–123	1367	1555
Рентабельность, %	–	73	24	–20	–2.8	24	22

* Взяты цены 2022 г.

** Цена с учетом повторяемости 3-го класса качества зерна.

*** Учтено улучшение качества зерна базового урожая.

в опыте с жестким агрофоном. Значительно больше была эффективность удобрений в более влажной северо-западной зоне Курганской обл., где в больших объемах и применяют азотно-фосфорное удобрение. В нашем опыте прибавка урожайности зерна бессменной пшеницы после стерни, равная 9.6 ц/га в варианте N40P20 во влажные годы, позволила иметь почти вдвое улучшенные показатели экономической оценки удобрений.

ВЫВОДЫ

1. Применение систем азотно-фосфорного удобрения яровой мягкой пшеницы улучшало внешний вид посева, окраска листьев на этих фонах оказывалась более яркого зеленого цвета. Достаточное увлажнение в июне в фазе кущения создавало благоприятные условия для формирования колоса с большим числом зерен. Флаговый лист дольше работал на фоне внесения азотно-фосфорного удобрения.

2. Несмотря на ежегодное применение в опыте гербицида, ряд лет отмечали повышенную засоренность посева пшеницы, когда доля сорняков по их массе в общем снопе возрастала до 18–30%. В основном это был 2-й нарост щетинника сизого после июльских дождей. За все годы анализа засоренности посева в течение 5-ти лет удобрения увеличивали долю сорняков по их массе в снопе, 6 других лет – снижали и 7 лет показатели были близкими.

3. Анализ структуры урожая проводили ежегодно, он показал роль разных элементов структуры в засушливые и влажные годы. Удобрение оказывало влияние на все 3 элемента структуры урожая, но при недостатке влаги оно было слабым в отношении числа продуктивных стеблей и массы 1000 зерен. В такие годы более заметно повышалось количество зерен в колосе, как и при среднем уровне увлажнения за май–август. Во влажные годы удобрение в дозе N40P20 положительно влияло на все 3 элемента структуры урожая:

число продуктивных стеблей на 1 м² увеличилось на 51 шт., количество зерен в колосе – на 6 шт. и масса 1000 зерен – на 2.7 г, за счет чего получена самая высокая прибавка урожайности, равная 9.6 ц/га.

4. Качество зерна пшеницы в опыте не всегда отвечало требованиям к 3-му классу. В среднем за 12 лет (2000–2011 гг.) у пшеницы сорта Терция содержание клейковины в зерне в вариантах N0P0 и N40P20 составило 19.8 и 24.8%. Повторяемость по годам качества зерна на уровне 3-го класса зависела от дозы азота. При внесении доз N20–40–60 она составила 58–67–92% лет, а при тех же дозах азота в сочетании с фосфором, где был больше сбор зерна, – 25–67–75% лет при 25% лет в контроле. Почти такая же закономерность обнаружена и для сорта Зауралочка, которую высевали в опыте в 2012–2021 гг. Доза N20P20 была недостаточной для повышения содержания клейковинных белков в зерне и муке.

5. По влиянию удобрений на технологические свойства зерна пшеницы многолетние данные характеризуются положительно. С повышением содержания белка в зерне и муке за счет азотного удобрения в основном улучшались свойства теста и хлеба.

6. В среднем за 24 года исследования одно азотное удобрение в дозах N20–40–60 на участке с низким содержанием в почве P₂O₅ (40 мг/кг) давало наименьшие прибавки урожайности зерна бессменной пшеницы после стерни – 1.8–2.4 ц/га при урожайности в контроле 10.0 ц/га. Азотно-фосфорное удобрение обеспечивало вдвое более высокие прибавки урожайности – 3.4–5.6–6.4 ц/га.

7. Экономическая оценка 6-ти систем удобрения (3 дозы азота без фосфора и с его добавлением) при применении 4-х из них показала неплохой уровень окупаемости, которая приближалась к 10 кг зерна на 1 кг д.в. удобрений. Менее эффективным было одностороннее применение азотного удобрения в дозах N40–60 с оплатой 6.0 и 3.7 кг/кг д.в. По окупаемости

удобрений в рублях рентабельность на хорошем уровне была лишь в одном варианте — N20 (73%). Причиной этого было сложившееся в земледелии России неблагоприятное соотношение цен на зерно пшеницы и удобрения (от 1 : 2.18 до 1 : 5.18).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копытова Е.Д.* Тенденции развития отрасли минеральных удобрений в России // Соц. пространство. 2016. № 4(06). С. 1—16.
2. *Волкова А.В.* Рынок минеральных удобрений. М.: Нац. исслед. ин-т “ВШЭ”, 2015. 67 с.
3. *Кручинина В.М., Рыжкова С.М.* Рынок удобрений в России: состояние и направление развития // Вестн. ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 375—384.
4. *Лукин А.С., Папырин В.Б.* Методология определения экономической эффективности применения минеральных удобрений // Вестн. ОмГАУ. 2016. С. 1—7.
5. *Болотов С.В.* Экономическая эффективность использования минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях северной зоны Краснодарского края: Дис. ... д-ра эконом. наук. Краснодар, 2002. 205 с.
6. *Нестеренко В.А.* Формирование урожая и качества яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2021. 28 с.
7. *Малов Н.П.* Продуктивность сортов яровой пшеницы в зависимости от нормы высева на черноземе выщелоченном юго-восточной части Волго-Вятской зоны: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2018. 24 с.
8. *Земцова Е.С., Боме Н.А., Земцова Е.С.* Влияние густоты стояния растений на структуру урожая яровой мягкой пшеницы // Совр. пробл. науки и образ-я. 2015. № 2.
9. *Захаров В.Г., Яковлева О.Д.* Изменение урожайности и элементов структуры урожая у сортов яровой пшеницы разных периодов сортосмены // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 53—57.
10. *Агеева Е.В., Леонова И.Н., Лихенко И.Н., Советов В.В.* Масса зерна колоса и массы тысячи зерен как признаки продуктивности у сортов яровой пшеницы разных групп скороспелости в условиях лесостепи Приобья // Письма в Вавилон. журн. генет. и селекции. 2021. № 7(1). С. 5—11.
11. *Ворончихина И.Н., Рубец В.С., Ворончихин В.В., Пыльнев В.В.* Комплексная оценка яровой мягкой пшеницы в условиях ЦРНЗ с применением метода индексов // Электр. научн.-производ. журн. “Агро-ЭкоИнфо”. 2022. № 6. С. 1—9. <https://doi.org/10.51419/202126614>
12. *Демина Н.Ф.* Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23(4). С. 433—440. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4>

Effect of Various Fertilizer Systems on the Productivity of Spring Wheat in a Long-Term Stationary Experiment

O. V. Volynkina[#]

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS,
ul. Belinskogo 112a, Ekaterinburg 620142, Russia

[#]E-mail: kniish@ketovo.zaural.ru

The results of observations of the reaction of plants to the use of 6 fertilizer systems tested for 24 years in repeated sowing of spring soft wheat after stubble are presented. Visual and phenological observations of plants revealed the features of their growth and development on unfertilized and fertilized backgrounds. The determination of the contamination of the crop revealed the effect of fertilizers on the proportion of wheat and weeds in the sheaf mass during the formation phase of the grain. In most of the years of this experience, fertilizers did not increase the contamination of crops, only for 5 out of 18 years such a negative effect was noted. The indicators of the structure of the wheat harvest (the number of ears per 1 m², earliness, and the weight of 1000 grains) improved with the use of fertilizers, especially in years with sufficient moisture. The gluten content in grain and flour when fertilizing in doses of N40–60 without P20 and against its background increased significantly, increasing the frequency of years with grade 3 wheat quality. An agrotechnical and economic assessment of 6 permanent wheat fertilizer systems after stubble identified 4 options with a payback rate close to obtaining 10 kg of grain per 1 kg of the active ingredient of fertilizers.

Keywords: fertilizer systems, permanent wheat, phenological observations, crop contamination, wheat crop structure, grain quality, economic assessment.