

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.82:633.1:631.445.2

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ОТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ФОСФОРОМ И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

И.М. Богдевич, В.А. Микулич, Г.И. Каленик
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор является одним из наиболее важных и, одновременно, наиболее дефицитных элементов минерального питания растений. Мировое потребление фосфорных удобрений (P) оценивается в 20 млн. т в год при разведанных запасах фосфоритов около 2400 млн. т [24]. Содержание подвижных форм фосфатов является одним из основных признаков окультуренности дерново-подзолистых почв [10, 19, 20]. Фосфорное питание растений зачастую становится фактором, лимитирующим урожайность и качество зерна. Различия в обеспеченности почв фосфором по полям и участкам заметно усилились, в условиях высокой стоимости фосфорных удобрений и сложного экономического состояния хозяйств [1]. Значительные площади почв с очень низким и высоким содержанием подвижного фосфора требуют системного подхода к применению минеральных удобрений с учетом отзывчивости новых сортов растений интенсивного типа. Одной из актуальных задач современной агрохимической науки является исследование влияния различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна при различном содержании в почве подвижных форм фосфора.

Из качественных характеристик зерновой продукции, особенно большое значение имеет содержание белка. Проблема дефицита белка является одной из наиболее острых, требующей всесторонней разработки и решения. Многие научные работы показали важную роль фосфора почв и удобрений в формировании высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур [5, 6, 10, 11, 20]. Исследование влияния минеральных и органических удобрений, регуляторов роста и других агротехнических приемов на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур остается одним из наиболее актуальных направлений развития агрохимической науки за последние три десятилетия [2, 6, 11, 14]. В то же время, в научной литературе очень мало данных о влиянии агрохимических свойств почв на урожайность и качество продукции возделываемых сельскохозяйственных культур.

В данной работе ставилась цель установить количественную зависимость урожайности зерна яровой пшеницы, озимого тритикале и гороха посевного, а также эффективности минеральных удобрений от содержания в почве подвижных фосфатов в широком диапазоне 70-400 мг P₂O₅ на кг почвы, характерном для средне и хорошо окультуренных дерново-подзолистых супесчаных почв. Анализ полученных экспериментальных данных необходим как для совер-

шенствования системы удобрений, так и для улучшения оценки результатов крупномасштабного агрохимического обследования почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2005-2007 гг. в полевом стационарном опыте в э/б «Стреличево» Хойникского района Гомельской области на дерново-подзолистой супесчаной почве изучали влияние минеральных удобрений и возрастающей обеспеченности почвы подвижными фосфатами на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. Почва пахотного горизонта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,2%, pH_{KCl} (потенциометрическим методом) – 6,2, содержание подвижных соединений калия (по Кирсанову) – 220 мг/кг, обменных соединений CaO и MgO (по Мазаевой, Неугодовой) – 1207 и 435 мг/кг почвы соответственно. Формы фосфатов в почве определяли по Гинсбург-Лебедевой.

С целью изучения влияния обеспеченности почвы фосфатами на урожайность и качественные показатели зерна яровой пшеницы опыт включает 4 уровня содержания P_2O_5 : I – (67-72); II – (110-124); III – (189-211) и IV – (388-398) мг P_2O_5 на кг почвы. Опыт развернут в двух полях.

На каждом из уровней было по 9 вариантов внесения удобрений:

1. контроль;
2. $P_{60}K_{120}$;
3. $N_{60+30}K_{90}$;
4. $N_{60+30}P_{60}$;
5. $N_{60+30} P_6 K_{90}$;
6. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$;
7. $N_{60+30}P_{60}K_{180}$;
8. $N_{60}P_{60} 120$;
9. $N_{60+30+20}P_{60}K_{120}$

Яровая пшеница сорта Рассвет, характеризующаяся высокими показателями урожайности и качества зерна высевалась после зернобобовых предшественников: люпина и горохоовсяной смеси.

Исследования по эффективности фосфорных удобрений при возделывании гороха проводили в 2006 и 2008 гг. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной в СПК «Хотляны» Узденского района Минской области. Агрохимическая характеристика опытного участка: содержание гумуса 2,57%, K_2O – 200 мг/кг, pH – 6,0.

Высевался горох посевной, сорт WSB 1.132128, который характеризуется высокими пищевыми и кормовыми достоинствами. Сорт германской селекции, неосыпающийся, листочкового типа. В 2007-2009 гг. высевали озимое тритикале, сорт Вольтарио, районированный с 2006 года.

Схема опыта предусматривала предпосевное внесение возрастающих доз фосфорных удобрений (P_{10} , P_{30} и P_{60}) на фоне $N_{30}K_{90}$ и предварительно созданных четырех уровнях содержания подвижного фосфора в почве: P_2O_5 207-209, 244-264, 286-300 и 394-400 мг/кг почвы. Минеральные удобрения были внесены в виде хлористого калия, аммофоса и карбамида в предпосевную культивацию. Предпосевную обработку почвы и уход за растениями осуществляли с учетом рекомендаций по интенсивной технологии возделывания зерновых культур. Применяли интегрированную систему защиты растений от сорняков, болезней и вредителей.

Из качественных характеристик зерна определяли содержание сырого белка, рассчитанное по азоту. Определение содержания критических и незаменимых аминокислот (лизин, треонин, метионин, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин) проводилось на жидкостном хроматографе Agilent 1100.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность сельскохозяйственных культур существенно зависит от содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых почвах. В наших исследованиях, проведенных в СПК «Стреличево» Хойникского района установлено значительное повышение урожайности зерна яровой пшеницы при повышении содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой связносупесчаной почве P_2O_5 от 70 до 393 мг/кг как на контрольных, так и на удобренных вариантах (рис. 1).

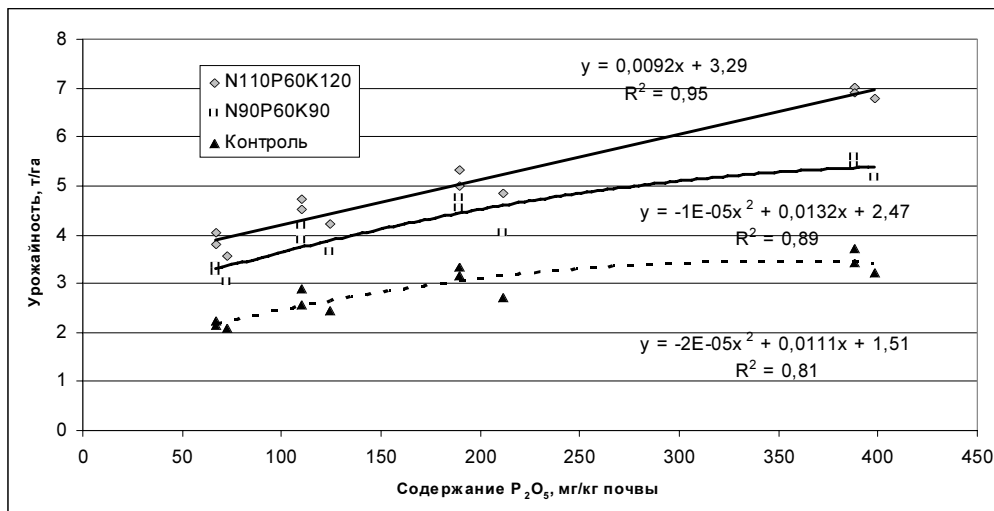


Рис.1. Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой связносупесчаной, подстилаемой морской, почве и доз минеральных удобрений (2005-2007 гг.)

На контрольном варианте урожай зерна повышался по параболической кривой от 21,5 до 34,5 ц/га, или в 1,6 раза, с расчетным максимумом при содержании 278 мг P_2O_5 на кг почвы. При наиболее эффективном сочетании удобрений $N_{110}P_{60}K_{120}$ урожайность зерна прямолинейно повышалась от 38,0 до 69,0 ц/га, или в 1,8 раза. Согласно приведенному на рисунке 1 уравнению регрессии урожайность зерна увеличивается на 92 кг/га при повышении содержания фосфатов на каждые 10 мг/кг почвы. По данным многолетних полевых опытов Института почвоведения и агрохимии, проведенных в 70-80-е годы прошлого века, увеличение содержания подвижных фосфатов в почве сопровождалось достоверным приростом продуктивности севооборотов только до 250 мг/кг на супесчаных почвах. Соответственно, на каждые 10 мг прироста P_2O_5 на кг почвы урожайность зерна повышалась на 60 кг, а продуктивность севооборота – на 66 к.ед. [1,16].

Очевидно, что по мере интенсификации земледелия (введение новых высокопродуктивных сортов растений, удобрения и регуляторы роста, защита растений и др.), усиливается реакция растений на содержание подвижных фосфатов в почве и на дозы фосфорных удобрений. Соответственно, оптимальные уровни

обеспеченности почв фосфором и другими элементами минерального питания будут также несколько повышаться и требуют периодического пересмотра.

В настоящее время ощущается потребность новых экспериментальных данных и наблюдений, позволяющих корректировать диапазоны оптимального содержания подвижных фосфатов в основных группах почв. Особый интерес представляет зависимость урожайности зерновых культур от содержания подвижных фосфатов в диапазоне более 200 мг P_2O_5 на кг почвы, который будет характеризовать основные массивы пахотных почв в ближайшей перспективе (рис. 2).

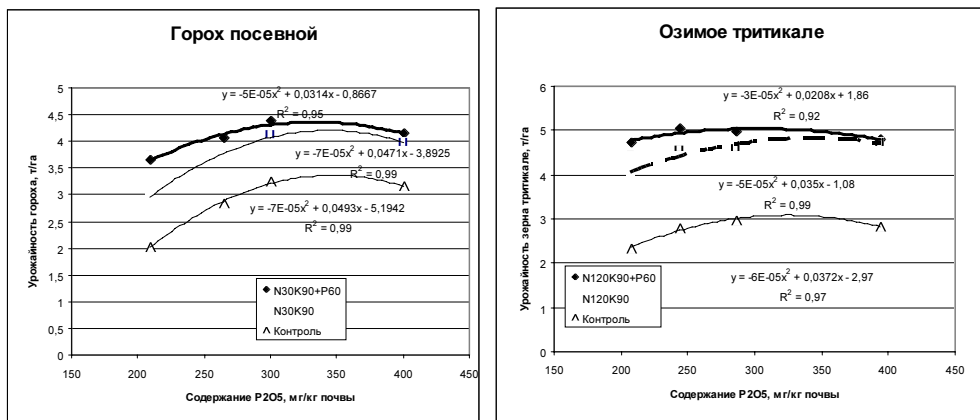


Рис. 2. Урожайность зерна гороха и озимого тритикале в зависимости от содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве и доз минеральных удобрений (2006–2009 гг.)

Прирост урожайности гороха постепенно затухает по мере повышения содержания фосфора в почве до оптимального уровня как на контроле без удобрений, так и на удобренных вариантах опыта. Расчетный максимум урожайности гороха на контрольном варианте получен при содержании подвижных фосфатов (P_2O_5) 352 ± 18 мг/кг почвы, на варианте $N_{30}K_{90}$ – 336 ± 20 , а при включении фосфорного удобрения, в варианте $N_{30}P_{60}K_{90}$ – при содержании 314 ± 25 мг/кг почвы. При дальнейшем повышении содержания подвижных фосфатов до уровня около 400 мг/кг почвы наблюдается заметное снижение урожайности зерна гороха. Аналогичная закономерность проявляется и в опыте с озимым тритикале, где наибольшая урожайность на варианте без удобрений получена при содержании P_2O_5 310 ± 16 мг/кг почвы, а на удобренных вариантах – около 350 мг/кг почвы. Снижение урожайности культур в результате избыточной концентрации подвижных форм фосфора в почве многие исследователи объясняют нарушением требуемого баланса элементов минерального питания [20, 23, 26]. По-видимому, на рыхлосупесчаной почве, в условиях недостатка влаги депрессия урожайности зерновых культур проявляется при меньшем содержании подвижных фосфатов, чем на связносупесчаной, подстилаемой мореной, почве (рис. 1).

Горох посевной отличается высокой отзывчивостью на фосфорное удобрение. При исходном содержании подвижных фосфатов около 200 мг/кг почвы, каждый кг P_2O_5 удобрения в дозе 60 кг/га обеспечивает прибавку 11,3 кг зерна гороха. А при меньших дозах внесения 30 и 10 кг/га, удельная прибавка урожая

зерна гороха возрастает до 18,3 и 45,0 кг. По мере повышения концентрации подвижных фосфатов в почве прибавки зерна гороха от всех исследованных доз фосфора закономерно снижаются. Однако, даже при содержании подвижных фосфатов на уровне около 400 мг/кг почвы прибавки остаются значимыми, чтобы окупить затраты на удобрения. Удельные прибавки зерна озимого тритикале на единицу фосфорного удобрения постепенно снижаются до уровня содержания подвижных фосфатов 300 мг/кг почвы. При более высокой концентрации подвижных фосфатов в почве эффективность фосфорного удобрения не проявляется или не достоверна.

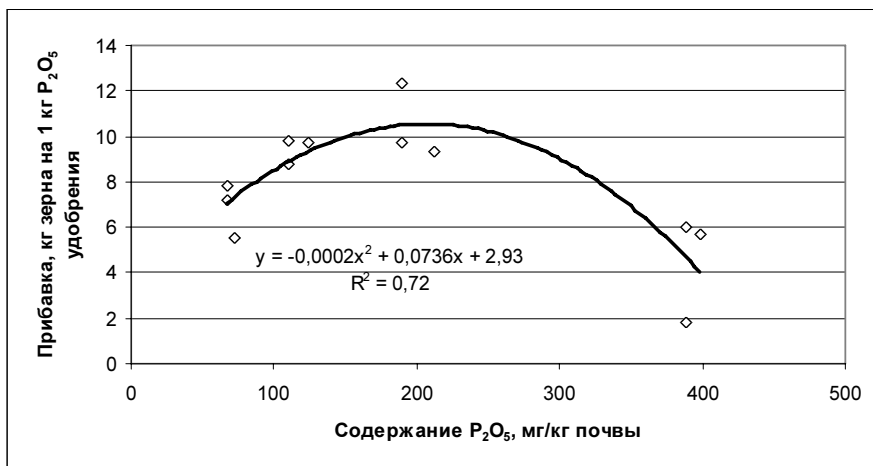


Рис 3. Эффективность фосфорного удобрения (P_{60}) в зависимости от содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой связносупесчаной, подстилаемой мореной, почве

Совершенствование систем удобрений в настоящий период проводится для достижения двух основных целей. Во-первых, необходимо получить больше добавочного продукта на единицу инвестиций, а во-вторых, уменьшить риск вероятных негативных экологических последствий [23, 25, 26]. Наиболее трудной задачей является повышение эффективности самых дорогостоящих фосфорных удобрений. На рис. 3 можно видеть, что окупаемость фосфорного удобрения прибавкой урожая зерна яровой пшеницы в зависимости от широкого диапазона содержания подвижных фосфатов в почве, хорошо описывается параболической кривой второго порядка.

Максимальная расчетная прибавка, за три года эксперимента, составила $9,7 \pm 1,6$ кг зерна на 1 кг P_2O_5 удобрения, при содержании подвижных фосфатов $184 \pm 9,2$ мг/кг почвы. Сравнительно низкие прибавки от фосфорного удобрения на первых двух уровнях содержания подвижных фосфатов объясняются повышенной фиксацией фосфора почвой (табл. 1).

На первых двух уровнях основное количество минеральных фосфатов приходится на малодоступные растениям фосфаты железа, алюминия и трехзамещенные фосфаты кальция. По мере насыщения почвы фосфором возрастает количество рыхлосвязанных однозамещенных фосфатов кальция, а степень подвижности фосфатов повышается на порядок. В итоге, эффективность фосфор-

ного удобрения снижается, как при низкой концентрации подвижных фосфатов, так и при высокой. В научной литературе не часто встречаются данные полевых опытов, где эффективность фосфорного удобрения снижается вследствие низкого исходного содержания подвижных фосфатов и повышенной фиксации фосфора удобрениями [20, 26]. Устойчивая отрицательная зависимость эффективности фосфорных удобрений от содержания подвижных фосфатов в почве получена в опытах с горохом и озимым тритикале (табл. 2). Здесь исследования проводились в узком диапазоне содержания подвижных фосфатов (P_2O_5 200-400 мг/кг почвы), где могла иметь место только нисходящая ветвь параболической кривой.

Таблица 1

Фракционный состав и степень подвижности фосфатов на разных уровнях обеспеченности по Кирсанову (P_2O_5 мг/кг почвы) дерново-подзолистой связноупесчаной, подстилаемой мореной, почвы

Подвижные фосфаты по Кирсанову, мг/кг почвы	Степень подвижности ($0,01M CaCl_2$), мг/л	Фракционный состав фосфатов, мг P_2O_5 на кг почвы				
		Ca-P _I	Ca-P _{II}	Al-P	Fe-P	Ca-P _{III}
67	0,52	49,7	16,5	87,0	393,0	95,0
119	1,36	90,5	17,0	153,0	397,0	123,0
200	3,15	90,0	19,7	188,0	428,0	123,0
400	5,20	163,0	23,0	242,0	438,0	123,0

Таблица 2

Прибавки урожайности зерна гороха и озимого тритикале на 1 кг P_2O_5 возрастающих доз фосфорных удобрений на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой с глубины 1м размытой мореной с мощной прослойкой песка

Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	Дозы P_2O_5 к/га под горох			Дозы P_2O_5 к/га под озимое тритикале		
	10	30	60	10	30	60
207-209	45,0	18,3	11,3	21,8	14,8	12,3
244-264	18,0	9,7	5,8	32,5	13,5	7,8
286-300	16,0	8,0	4,2	14,5	9,2	6,2
394-400	6,0	4,7	2,7	-6,0	1,7	1,2

В агрохимических исследованиях почв Нечерноземной зоны в России, Беларуси и странах СНГ для определения подвижных фосфатов используется метод Кирсанова, который принят в качестве стандартного. Этот метод является наиболее дешевым и в то же время, как свидетельствуют данные многочисленных исследований последних 40 лет, позволяет удовлетворительно оценить динамику фосфатного режима почв в различных системах удобрения и определить степень обеспеченности почв фосфором для питания растений [3, 4, 9, 15, 18]. Более того, ряд исследований показывает тесную корреляцию показателей обеспеченности почв подвижными фосфатами, полученных различными химическими методами

[4, 16, 26]. Поэтому использование метода Кирсанова для почвенной диагностики фосфорного питания на дерново-подзолистых почвах в настоящее время нам представляется обоснованным.

В литературе высказываются противоречивые мнения в отношении влияния фосфатов и фосфорных удобрений на содержание белка в зерне [8]. Чаще отмечается небольшое положительное или даже отрицательное действие фосфорных удобрений на содержание белка в зерне [2, 7]. Одной из причин снижения содержания белка при одностороннем увеличении фосфорного питания растений может быть снижение поступления азота в растения. Это вызывает снижение интенсивности ростовых процессов, нарушение обмена азотистых соединений, что отражается на белковости зерна. По данным В.П. Толстоусова применение фосфорных удобрений при сбалансированных соотношениях азота, фосфора и калия способствует увеличению содержания белка в зерне [22].

В наших исследованиях установлено, что практически на всех вариантах опыта происходит заметное увеличение содержания белка в зерне яровой пшеницы до третьего уровня (200 мг P_2O_5 на кг почвы). Дальнейшее повышение содержания фосфатов в почве до 393 мг/кг почвы вызвало некоторое снижение содержания белка в зерне (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание сырого протеина в зерне яровой пшеницы
в зависимости от возрастающих доз азота на разных уровнях
обеспеченности фосфором дерново-подзолистой
связносупесчаной, подстилаемой мореной, почвы**

Удобрения	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы			
	70	117	200	393
Контроль	10,5±0,25	11,1±0,15	11,8±0,24	11,7±0,24
$P_{60}K_{120}$	10,8±0,32	11,5±0,18	11,6±0,28	11,4±0,26
$N_{90}K_{120}$	11,5±0,19	11,8±0,17	13,2±0,20	12,7±0,18
$N_{60}P_{60}K_{120}$	12,2±0,12	13,0±0,15	13,2±0,15	12,1±0,17
$N_{90}P_{60}K_{120}$	12,5±0,09	13,4±0,09	13,7±0,15	12,4±0,12
$N_{110}P_{60}K_{120}$	12,7±0,20	13,6±0,12	14,2±0,19	13,2±0,18

Однако, сбор белка увеличивался по мере повышения содержания в почве подвижных фосфатов и был наибольшим на 4-м уровне по всем вариантам опыта. Следовательно, даже при некотором снижении содержания белка из-за повышенной обеспеченности почвы фосфатами можно получить высокие показатели сбора белка. Это обусловлено тем, что именно на 4-м уровне содержания в почве P_2O_5 был получен наибольший урожай зерна.

Известно, что азотные удобрения наиболее активно воздействуют на изменение содержания белка в зерне [6, 11, 14]. Высокая роль азотного питания растений в накоплении белка обусловлена, прежде всего, тем, что азот непосредственно входит в белковую молекулу. По вариантам нашего опыта за 3 года исследований (2005-2007 гг.) содержание белка в зерне пшеницы изменялось в пределах от 10,5 до 14,2% в зависимости от доз удобрений и обеспеченности почв P_2O_5 . Содержание белка в зерне яровой пшеницы достоверно повышалось

по мере увеличения дозы азота. Самое высокое содержание белка в яровой пшенице обеспечило дробное внесение 110 кг/га азота (N_{60} перед посевом + N_{30} в фазе первого узла + N_{20} в начале колошения) на фоне предпосевного применения фосфорных и калийных удобрений – 12,7; 13,6; 14,2 и 13,2% на каждом из 4-х уровней соответственно.

Внесение фосфорного удобрения в дозе P_{60} на фоне $N_{60+30}K_{90}$ достоверно увеличивало содержание белка в зерне яровой пшеницы на первых двух уровнях обеспеченности почвы фосфатами. И только при высоком насыщении почвы фосфатами (≈ 400 мг/кг почвы) внесение фосфорного удобрения отрицательно сказалось на белковости зерна. Снижение этого качественного показателя, вероятно, связано с некоторым нарушением баланса с азотом, вызванного значительным увеличением концентрации фосфатов в почве. Однако, и в этом случае, внесение умеренной дозы фосфора (P_{60}), компенсирующей вынос фосфора с урожаем, было оправданным, так как сбор белка повысился на 1,2 ц/га.

Содержание сырого протеина в зерне гороха увеличивалось по мере повышения содержания подвижных фосфатов в почве до уровня 300 мг P_2O_5 на кг почвы, на всех вариантах удобрений (табл. 4). Внесение фосфорного удобрения в дозе 60 кг/га также сопровождалось достоверным повышением белковости зерна гороха на 2,1-3,0%, повсеместно, даже при содержании подвижных фосфатов в почве 400 мг/кг почвы. Наибольший сбор сырого белка с гектара (9,5 ц/га) получен при внесении $N_{30}K_{90}P_{30}$ на фоне содержания P_2O_5 300 мг/кг почвы. Следует подчеркнуть важную роль фосфорного питания растений гороха, поскольку около 45% общего сбора белка получено только за счет повышения содержания подвижных фосфатов в почве и внесения фосфорного удобрения P_{30} .

Содержание сырого протеина в зерне тритикале также повышалось по мере увеличения концентрации подвижных фосфатов в рыхлосупесчаной почве до уровня 300 мг P_2O_5 на кг почвы, на контроле без удобрений и при внесении $N_{120}K_{90}$. Внесение фосфорного удобрения в дозе 30 кг/га сопровождалось повышением содержания белка в зерне тритикале только на первых двух уровнях содержания подвижных фосфатов в рыхлосупесчаной почве.

Таблица 4

Содержание сырого протеина в зерне гороха и озимого тритикале в зависимости от минеральных удобрений на разных уровнях обеспеченности фосфором дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы

Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы (А)	Удобрения под горох (Б)			Удобрения под озимое тритикале (Б)		
	Контроль	$N_{30}K_{90}$	$N_{30}K_{90}P_{60}$	Контроль	$N_{120}K_{90}$	$N_{120}K_{90}P_{30}$
207-209	19,3	20,4	23,4	10,9	11,6	12,3
244-264	20,6	21,7	24,1	11,1	12,2	12,8
286-300	21,8	22,7	25,3	11,5	12,7	12,8
394-400	22,2	22,9	25,0	11,2	12,4	12,6
НСР ₀₅ А	0,64			0,31		
НСР ₀₅ Б	0,91			0,45		

Одними из важнейших показателей качества продовольственного зерна являются содержание клейковины и ее качество, от которых в основном зависят хлебопекарные свойства пшеничной муки. Имеются сведения, что содержание клейковины, представленное широким спектром белковых веществ, может тесно коррелировать с содержанием сырого белка [14, 21]. По данным нашего опыта процент клейковины достоверно увеличивался по мере повышения содержания в почве подвижного фосфора на 1,8-6,3% до третьего уровня – 200 мг/кг (рис.4).

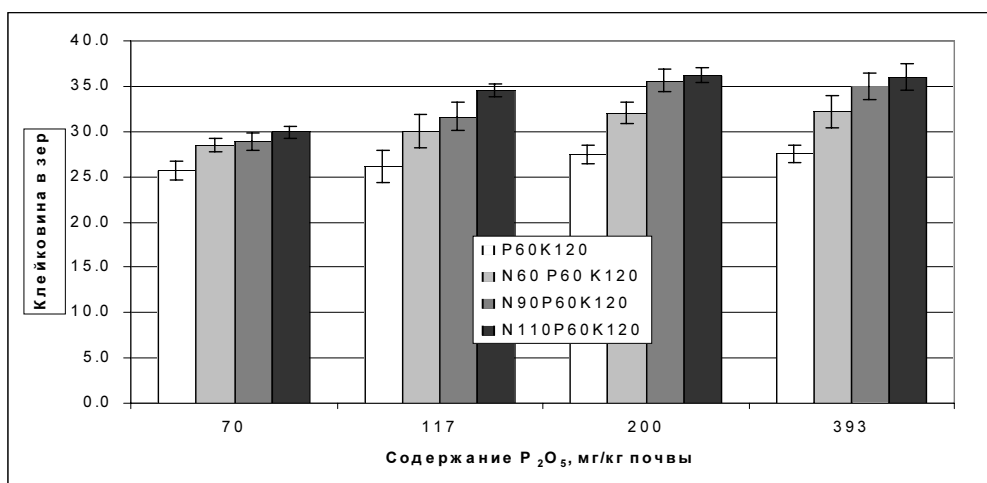


Рис.4. Содержание клейковины в зерне яровой пшеницы в зависимости от возрастающих доз азотных удобрений на разных уровнях обеспеченности фосфором дерново-подзолистой связносупесчаной, подстилаемой мореной, почвы

Азотные удобрения сильно повышали (на 4,3-8,8%) содержание клейковины в зерне пшеницы. Наибольшие показатели были получены при обеспеченности почвы фосфатами в диапазоне 200-400 мг/кг. Положительное действие фосфорных удобрений на содержание клейковины проявилось на всех уровнях обеспеченности почвы P₂O₅. Калийные удобрения также способствовали повышению содержания клейковины.

При полных дозах NPK клейковина соответствовала 1 группе качества. Ослабление клейковины отмечается при низкой обеспеченности почвы подвижным фосфором (70 мг/кг), а также на вариантах без удобрений и при несбалансированном минеральном питании по азоту (P₆₀K₁₂₀). Подкормки азотными удобрениями сопровождались не только повышением содержания клейковины в зерне, но и улучшением ее качества.

В зерне пшеницы также определяли содержание аминокислот, и рассчитывали биологическую ценность белка [17]. Установлено существенное влияние обеспеченности почвы фосфором и доз азотных удобрений на аминокислотный состав зерна и его биологическую ценность (табл. 5).

Содержание суммы критических и незаменимых аминокислот в зерне увеличивалось по мере повышения обеспеченности почвы подвижными фосфатами и повышения доз удобрений. Максимальное содержание суммы незаменимых аминокислот получено в варианте с внесением 110 кг азота на фоне РК (N₆₀+30+20P₆₀K₁₂₀) – 44,2 г/кг зерна.

Таблица 5

Влияние удобрений на содержание суммы критических и незаменимых аминокислот в зерне яровой пшеницы (г/кг зерна), в зависимости от содержания P_2O_5 в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг почвы

Варианты	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы							
	70		117		200		393	
	критич.	незам.	критич.	незам.	критич.	незам.	критич.	незам.
Контроль	10,1	34,3	10,6	35,3	10,9	36,6	11,1	39,0
$P_{60}K_{120}$	10,1	34,6	10,0	35,1	10,8	37,2	10,8	38,9
$N_{60}P_{60}K_{120}$	10,9	37,9	11,0	38,2	11,0	39,1	10,9	41,9
$N_{90}P_{60}K_{120}$	10,9	38,1	11,1	38,8	11,2	40,7	11,2	43,2
$N_{110}P_{60}K_{120}$	10,8	38,7	10,9	38,7	11,2	41,1	11,2	44,2
HCP_{05}	0,22	0,36	0,22	0,36	0,22	0,36	0,22	0,36

Расчет биологической ценности белка показал довольно благоприятное содержание незаменимых аминокислот в сравнении с рекомендуемыми нормами ФАО/ВОЗ (табл. 6).

Таблица 6

Биологическая ценность белка зерна яровой пшеницы сорт Рассвет в зависимости от содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой супесчаной почве удобрений

Варианты	Аминокислотный скор, % по уровням содержания P_2O_5 , мг/кг почвы							
	70		117		200		393	
	АКкр	АКн	АКкр	АКн	АКкр	АКн	АКкр	АКн
Контроль	81	104	84	106	85	108	88	118
$P_{60}K_{120}$	76	98	73	97	79	103	79	108
$N_{60}P_{60}K_{120}$	80	106	78	102	69	93	76	110
$N_{90}P_{60}K_{120}$	75	99	73	97	69	95	76	111
$N_{110}P_{60}K_{120}$	73	100	70	94	68	94	70	106

Содержание критических аминокислот по отношению к рекомендуемому уровню было невысоким и мало зависело от изучаемых факторов. Высокая обеспеченность почв подвижным фосфором способствовала повышению биологической ценности белка, а показатель аминокислотный скор суммы незаменимых аминокислот, достиг 106-118% от норматива ФАО/ВОЗ. Следовательно, высокая обеспеченность почвы фосфором может быть благоприятным фоном для сохранения оптимального, обусловленного особенностью сорта, содержания незаменимых аминокислот при использовании повышенных доз азотных удобрений.

При использовании гороха на продовольственные цели очень важно получить зерно сбалансированное по содержанию аминокислот. Наиболее высокое содержание суммы критических и незаменимых аминокислот наблюдается при внесении $N_{30}K_{90}P_{30}$ и $N_{30}K_{90}P_{60}$ на уровне содержания в почве 286 мг/кг фосфора (табл.7). Показатели аминокислотного сора существенно повышались до третьего уровня содержания подвижных фосфатов, достигая при этом 79-85% от требуемых показателей.

Таблица 7

Содержание аминокислот и биологическая ценность белка в зерне гороха сорт WSB-1 в зависимости от уровней содержания подвижных форм фосфора в почве и доз минеральных удобрений (2006, 2008 гг.)

P ₂ O ₅ мг/кг почвы	Удобрения	Содержание аминокислот, г/кг зерна		Аминокислотный сора, % по шкале ФАО/ВОЗ	
		критические	незаменимые	критические	незаменимые
209	Контроль	13,3	43,1	52	69
264	Контроль	21,8	52,9	74	77
300	Контроль	24,6	59,1	79	81
400	Контроль	18,5	55,1	65	77
209	$N_{30}K_{90}P_{30}$	17,0	51,5	53	65
264	$N_{30}K_{90}P_{30}$	25,9	61,4	77	77
300	$N_{30}K_{90}P_{30}$	28,5	69,0	80	82
400	$N_{30}K_{90}P_{30}$	21,4	65,6	66	82
209	$N_{30}K_{90}P_{60}$	18,1	54,6	59	72
264	$N_{30}K_{90}P_{60}$	26,8	64,0	79	80
300	$N_{30}K_{90}P_{60}$	29,0	72,0	81	85
400	$N_{30}K_{90}P_{60}$	19,0	63,9	58	78
HCP ₀₅	уровни	0,74	2,00		
	варианты	1,04	2,80		

Содержание суммы критических и незаменимых аминокислот в зерне озимого тритикале имело тенденцию к увеличению только на вариантах без удобрений по мере повышения обеспеченности почвы подвижными фосфатами до уровня P₂O₅ 286 мг/кг почвы (табл. 8).

Не установлено существенное влияние обеспеченности почвы фосфором и доз фосфорных удобрений на содержание отдельных аминокислот в зерне тритикале. Внесение фосфорных удобрений сопровождалось небольшим повышением содержания незаменимых аминокислот в зерне и практически не влияло на качество белка озимого тритикале. Биологическое качество белка зерна озимого тритикале получило оценку по содержанию критических аминокислот на уровне 51-56%, а по содержанию незаменимых аминокислот – на уровне 80-90% шкалы ФАО/ВОЗ.

Содержание критических и незаменимых аминокислот в зерне озимого тритикале и качество белка в зависимости от обеспеченности подвижными фосфатами дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы и минеральных удобрений (2007,2009 гг.)

P ₂ O ₅ мг/кг почвы	Удобрения	Содержание аминокислот, г/кг зерна		Аминокислотный скор, % по шкале ФАО/ВОЗ	
		критичес- кие	незамени- мые	критичес- кие	незамени- мые
207	Контроль	7,3	31,5	56	87
244	Контроль	7,4	32,4	54	87
286	Контроль	7,5	33,3	55	86
394	Контроль	7,4	33,1	55	89
207	N ₁₂₀ K ₉₀	7,6	34,3	55	89
244	N ₁₂₀ K ₉₀	7,4	33,4	51	82
286	N ₁₂₀ K ₉₀	7,7	34,2	51	81
394	N ₁₂₀ K ₉₀	7,5	33,7	51	81
207	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	7,8	35,0	56	90
244	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	7,5	33,3	51	80
286	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	7,9	35,0	54	84
394	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	8,1	35,6	55	86
НСП _{0,5}	уровни	0,45	1,36		
	варианты	0,49	1,48		

Учитывая неблагоприятную динамику повышения цен на минеральные удобрения и энергоресурсы, необходима периодическая актуализация экономической эффективности удобрений. При расчете экономической эффективности были использованы нормативы затрат по технологии возделывания зерновых культур в эквиваленте долларов США согласно методике Института почвоведения и агрохимии [13]. Закупочные цены 2010 года на продовольственную пшеницу взяты с учетом фактического содержания клейковины в зерне по вариантам опыта. Цены на горох – 2 класса для переработки на крупу, а на зерно тритикале – для переработки на муку, соответственно 258,0 и 94,7 USD/т.

Возделывание яровой пшеницы на дерново-подзолистой связносупесчаной, подстилаемой мореной, почве на продовольственные цели обеспечивает высокую прибыль, в пределах 56-504 долларов США на гектар посева, в зависимости от содержания фосфора в почве и доз минеральных удобрений (табл. 9). Наибольшая прибыль, полученная на варианте сбалансированного удобрения N₁₁₀P₆₀K₁₂₀, последовательно повышается от 128 до 504 долларов с гектара, по мере повышения содержания подвижных фосфатов в почве. Доля прибыли, полученная непосредственно за счет удобрений составляет соответственно 70 и 300 долларов, или 55 и 60% от общей прибыли.

Таблица 9

**Экономическая эффективность удобрений под яровую пшеницу
на разных уровнях содержания подвижных форм фосфора
в дерново-подзолистой супесчаной, подстилаемой мореной, почве**

P ₂ O ₅ мг/кг поч- вы	Удобрения	Уро- жай зерна ц/га	Стоимость в долларах США				Рентабель- ность удобрений, %
			уро- жая	за- трат	Прибыль		
					всего	от удоб- рений	
70	Контроль	21,5	310	252	58		
	N ₉₀ K ₉₀	28,0	403	347	56	-1	-2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	32,1	491	417	74	16	10
117	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₁₂₀	38,0	581	453	128	70	35
	Контроль	26,2	377	267	110		
	N ₉₀ K ₉₀	33,4	511	364	147	37	38
200	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	39,1	598	439	159	49	29
	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₁₂₀	44,9	687	475	212	102	49
	Контроль	30,7	442	281	161		
393	N ₉₀ K ₉₀	38,2	584	379	205	44	45
	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	44,5	681	456	225	64	37
	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₁₂₀	50,6	774	493	281	120	57
393	Контроль	34,5	497	293	204		
	N ₉₀ K ₉₀	51,2	783	420	363	159	127
	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	53,9	825	486	339	135	70
	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₁₂₀	69,0	1056	551	504	300	116

Внесение только азотных и фосфорных удобрений резко снижает прибыль, а при низком содержании фосфора в почве – убыточно. Таким образом, сбалансированное внесение минеральных удобрений и повышение содержания подвижных фосфатов в почве до оптимального уровня является важным условием экономически эффективного возделывания яровой пшеницы на продовольственные цели.

Возделывание гороха на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой мореной, почве на продовольственные цели также обеспечивает высокую прибыль, в пределах 230-682 долларов США на гектар посева в зависимости от содержания фосфора в почве и доз минеральных удобрений (рис. 5).

Повышение содержания подвижных фосфатов от 209 до 300 мг/кг почвы при внесении N₃₀P₆₀K₉₀ обеспечивает увеличение общей прибыли на 32%. Доля прибыли за счет минеральных удобрений в дозах N₃₀P₆₀K₉₀ весьма значительна и составляет от 54 % при содержании P₂O₅ 209 мг/кг почвы. По мере повышения

содержания фосфора в почве до 300 мг/кг, удельный вес удобрений в формировании общей прибыли снижается до 24%.

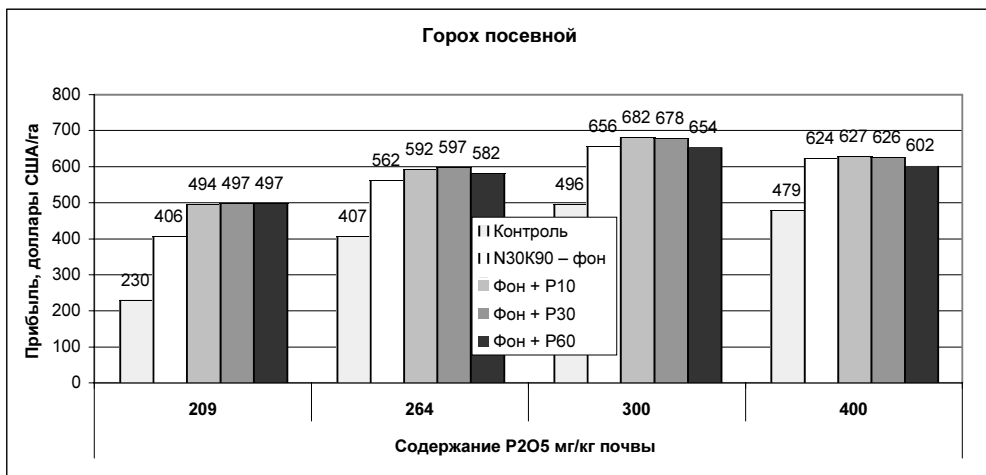


Рис. 5. Экономическая эффективность удобрений под горох посевной на разных уровнях содержания подвижных форм фосфора в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой размытой мореной, почве

Дозы фосфорного удобрения P₃₀ и P₆₀ обеспечивают одинаковую прибыль с гектара при содержании P₂O₅ 209 мг/кг почвы, но преимущество имеет доза P₆₀. Это обусловлено как необходимостью повышения качества зерна гороха, так и поддержания фосфатного статуса почвы на оптимальном уровне. При содержании P₂O₅ в диапазоне 264-300 мг/кг почвы хорошо окупается доза P₃₀. На почве с высоким содержанием P₂O₅ 300-400 мг/кг почвы можно ограничиться рядковым внесением P₁₀. При очень высокой обеспеченности фосфатами на уровне 400 и более мг/кг почвы достаточно внести азотные и калийные удобрения (N₃₀K₉₀), так как внесение фосфорного удобрения уже не повышает качество зерна и суммарную прибыль при возделывании гороха. При реализации гороха на переработку в комбикорм прибыль уменьшается в 3-3,3 раза.

Таким образом, на дерново-подзолистой супесчаной, подстилаемой мореной, почве, горох посевной на продовольственные цели целесообразно размещать на полях и участках с повышенным содержанием подвижных фосфатов до уровня P₂O₅ 250-300 мг/кг почвы. При формировании урожайности зерна гороха на уровне 40-50 ц/га оптимальной дозой фосфорного удобрения, обеспечивающего высокое качество зерна и поддержание фосфатного статуса дерново-подзолистой супесчаной почвы при содержании P₂O₅ 250 мг/кг почв и менее, следует считать P₆₀ на фоне минимальной дозы азота N₃₀ и дифференцированных доз калия.

Озимое тритикале – менее требовательная культура к фосфорному питанию. При возделывании тритикале для переработки на муку фосфорное удобрение в дозах P₁₀₋₃₀ обеспечивает окупаемость затрат и увеличение прибыли на 14-29 долларов с гектара при содержании подвижных фосфатов в почве 209-244 мг/кг почвы (рис. 6).

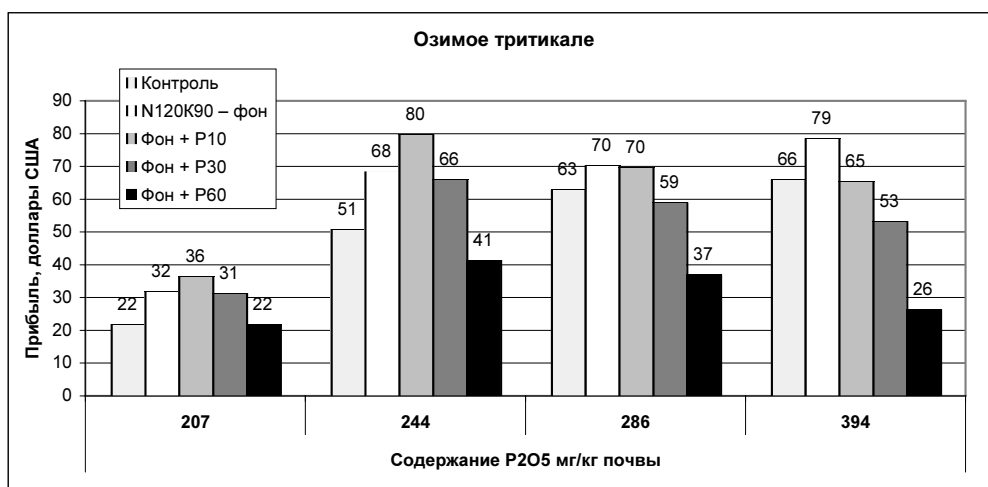


Рис. 6. Экономическая эффективность удобрений под озимое тритикале на разных уровнях содержания подвижных форм фосфора в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой размытой мореной, почве

Следует отметить, что на удобренных фосфором вариантах наибольшая урожайность зерна тритикале получена на втором уровне содержания фосфатов – 244 мг/ кг почвы. Этот уровень содержания подвижных фосфатов можно считать оптимальным для озимого тритикале на рыхлосупесчаной почве, где при внесении невысокой дозы фосфорного удобрения P₃₀ на фоне N₁₂₀K₉₀ можно получать урожайность зерна около 50 ц/га при окупаемости затрат на минеральные удобрения. Наибольшая прибавка урожая 32,5 кг зерна, на 1 кг P₂O₅ получена при дозе P₁₀. Однако в этом случае будет получен лишь краткосрочный эффект, так как не будет обеспечиваться поддержание статуса подвижных фосфатов в почве на оптимальном уровне. При содержании в почве P₂O₅ на уровне 286-394 мг/кг близкий экономический эффект обеспечивает внесение как P₁₀ на фоне N₁₂₀K₉₀, так и одного фонового N₁₂₀K₉₀ удобрения.

ВЫВОДЫ

1. Содержание подвижных фосфатов является одним из важных диагностических показателей плодородия дерново-подзолистых супесчаных почв, обуславливающих величину урожайности зерновых культур и качество продукции. Повышение содержания подвижных фосфатов в связносупесчаной, подстилаемой моренным суглинком, почве в диапазоне 70-400 мг P₂O₅ на кг почвы сопровождается увеличением урожайности зерна яровой пшеницы (до 1,8 раз) и сбора белка с гектара посева (до 1,9 раз). При сбалансированных дозах удобрений урожайность зерна увеличивается на 92 кг/га при повышении содержания фосфатов на каждые 10 мг/кг почвы. На менее плодородной, рыхлосупесчаной, подстилаемой размытой мореной с мощной прослойкой песка, почве прирост урожайности зерновых культур затухает по параболической кривой в диапазоне содержания подвижных фосфатов 200-400 мг/кг почвы. Расчетный максимум зерна гороха и озимого тритикале наблюдается, соответственно при содер-

жании P_2O_5 314 ± 25 и 347 ± 23 мг/кг почвы. Содержание подвижных фосфатов, соответствующее максимуму урожайности зерновых культур следует рассматривать в качестве верхнего уровня оптимального диапазона для полевых севооборотов.

2. Содержание подвижных фосфатов, соответствующее максимальной прибавке урожайности от доз фосфорных удобрений (P_{60}), компенсирующих вынос элемента с урожаем предлагается рассматривать как нижний уровень оптимального диапазона для полевых севооборотов. Максимальная расчетная прибавка, за три года эксперимента, составила $9,7 \pm 1,6$ кг зерна яровой пшеницы на 1 кг P_2O_5 удобрения, при содержании подвижных фосфатов 184 ± 9 мг/кг почвы. Наибольшие прибавки урожайности зерна гороха посевного и озимого тритикале составили, соответственно, 11,3 и 12,3 кг при содержании подвижных фосфатов около 200 мг/кг почвы. Следовательно, содержание P_2O_5 180-200 мг/кг почвы можно считать нижним уровнем оптимального диапазона содержания подвижных фосфатов в супесчаных, подстилаемых моренными суглинками, почвах.

3. Увеличение содержания сырого протеина в зерне яровой пшеницы на 1,3-1,5% наблюдалось по мере повышения содержания подвижных фосфатов с 70 до 200 мг/кг почвы. А в зерне гороха на 1,9-2,5% и озимого тритикале на 0,5-1,1% при содержании P_2O_5 от 200 до 300 мг/кг почвы. Внесение фосфорного удобрения в дозе P_{60} также сопровождается заметным повышением белковости зерна исследованных культур в указанном диапазоне содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Азотные удобрения сильно повышали (на 4,3-8,8%) содержание клейковины в зерне пшеницы. Наибольшие показатели были получены при обеспеченности почвы фосфатами в диапазоне 200-400 мг/кг. Положительное действие фосфорных удобрений на содержание клейковины проявилось на всех уровнях обеспеченности почвы P_2O_5 .

Повышение содержания в связносупесчаной почве подвижных фосфатов до уровня 400 мг P_2O_5 на кг почвы сопровождалось улучшением аминокислотного состава и повышением биологического качества белка зерна яровой пшеницы. При этом содержание суммы незаменимых аминокислот в белке пшеницы достигло 106-118% от норматива ФАО/ВОЗ. Показатели содержания критических и незаменимых кислот в зерне гороха существенно повышались до содержания подвижных фосфатов 300 мг/кг почвы, достигая при этом 80-85% от норматива. Не установлено существенное влияние обеспеченности почвы фосфором и доз фосфорных удобрений на содержание отдельных аминокислот в зерне тритикале.

4. Улучшение обеспеченности почв фосфором значительно повышает экономическую эффективность возделывания зерновых культур. Прибыль, полученная при возделывании яровой пшеницы на варианте сбалансированного удобрения $N_{110}P_{60}K_{120}$, увеличивается со 128 до 504 долларов с гектара, по мере повышения содержания подвижных фосфатов в почве от 70 до 400 мг/кг почвы. При этом доля прибыли, полученная непосредственно за счет удобрений составляет 55-60%. При возделывании продовольственного гороха ($N_{30}P_{60}K_{90}$) повышение содержания подвижных фосфатов от 209 до 300 мг/кг рыхлосупесчаной почвы обеспечивает увеличение общей прибыли с 497 до 678 долларов с гектара. Озимое тритикале – менее требовательная культура к фосфорному питанию.

При возделывании тритикале для переработки на муку ($N_{120}P_{30}R_{90}$), наибольшая урожайность 50 ц/га и прибыль 66 долларов с гектара получены при содержании подвижных фосфатов 244 мг/кг почвы. При реализации тритикале на кормовые цели стоимость продукции едва покрывает затраты на удобрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.]. – Мн.: Институт почвоведения и агрохимии, 2006. – 288 с.
2. Авдонин, Н.С. Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1979 – 302 с.
3. Адрианов, С.Н. Закономерности формирования фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения: автореф. дис. д-ра с.-х. наук / С.Н. Адрианов. – М., 2000, – 48с.
4. Адрианов, С.Н. Оценка методов определения подвижных фосфатов в почве / С.Н. Адрианов. // Плодородие. – 2008. – №2 – С. 14-17.
5. Вильдфлуш, И.Р. Фосфор в почвах и земледелии Беларуси / И.Р. Вильдфлуш, А.Р. Цыганов, В.В. Лапа. – Мн.: Хата, 1999. – 196 с.
6. Вильдфлуш, И.Р. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Мн.: Технопринт, 2005 – 276 с.
7. Детковская, Л.П. Влияние удобрений на урожай и качество зерна / Л.П. Детковская, Е.М. Лимантова. – Минск: Ураджай, 1987. – 134 с.
8. Емельянова, Н.А. Белки семян зерновых и масличных культур / Н.А. Емельянова, А.Г. Тихонова. – Москва, 1977. – 314 с.
9. Кирпичников, Н.А. Эффективность и доступность остаточных фосфатов при внесении различных доз суперфосфата и извести / Н.А. Кирпичников, Л.И. Зеськина // Агрохимия. – 1985. – №5 – С.35-40.
10. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т.Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 328 с.
11. Лапа, В.В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В.В. Лапа, В.Н. Босак – Минск, 2002. – 184 с.
12. Лапа, В.В. Влияние удобрений на продуктивность зернотравяного севооборота и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2008. – № 2. – С.31-35.
13. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.
14. Минеев, В.Г. Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы / В.Г. Минеев, А.Н. Павлов. – М.: Колос, 1981. – 288 с.
15. Носко, Б.С. Сравнительное изучение методов определения подвижных форм фосфатов на примере почв Левобережной лесостепи Украины / Б.С. Носко, В.Г. Роздайбеда // Агрохимия. – 1975. – №11. – С.109-115.
16. Оптимальные параметры плодородия почв / Т.Н. Кулаковская [и др.]. – М.: Колос. 1984. – 271 с.
17. Рекомендации по определению биологической ценности белка сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2005. – 14 с.

18. Сычев, В.Г. Тенденции изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России / В.Г. Сычев. – Москва: ЦИНАО, 2000. – 187с.
19. Сдобникова, О.В. Фосфорные удобрения и урожай / О.В. Сдобникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 110 с.
20. Сушеница, Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование / Б.А. Сушеница. – М.: Колос, 2007. – 376 с.
21. Технология производства и качество продовольственного зерна / Э.М. Мухаметова [и др.]. – Минск: Дизайн ПРО, 1996. – 251 с.
22. Толстоусов, В.П. Удобрения и качество урожая / В.П. Толстоусов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 192 с.
23. Bergmann, W. Nutritional disorders of plants / W. Bergmann, G. Fisher. – New York, 1992. – 741p.
24. Cramer, M.D. Phosphate as a limiting resource: introduction. *Plant and Soil* (2010) 334:1-10.
25. Ekholm, P. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance / P. Ekholm [et al] // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – Vol.110(3). – 2005. – P. 266-278.
26. Johnston, A.E. *Soil and Plant Phosphate* / A.E. Johnston. – Paris, 2000. – 46p.

YIELD AND QUALITY OF CEREAL GRAINS IN RELATION TO P-STATUS OF SOD-POZOLIC LOAMY SAND SOILS AND FERTILIZERS

I.M. Bogdevitch, V.A. Mikulich, G.I. Kalenik

Summary

The field experiments with fertilizer treatments of spring wheat, peas and winter triticale on the four different levels of soil supply with mobile phosphates has been conducted in 2005-2009 on luvisol loamy sand soils in Belarus. It was found the spring wheat grain yield linear increase by factor 1.8 and protein yield by factor 1.9 according to change of mobile P_2O_5 content from 70 to 400 mg/kg of fine textured loamy sand soil. While the grain yields of peas and winter triticale were increasing according to quadratic parabolic curve with maximum in the range of P_2O_5 content 200-400 mg/kg of the coarse textured loamy sand soil. The mobile P content of soil fitted to maximum crop yield represents the upper level of optimal range while the P content fitted to maximum yield increment per 1 kg of P fertilizer represents the lower level of optimal range. There was found significant increase of protein and gluten contents as well as the improvement of amino acid composition and biological quality of grain proteins according to increase of soil P supply levels up to the optimal range.

Поступила 1 ноября 2010 г.