

УДК 633.1:631.559:631.85(476.6)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДВИЖНЫМИ ФОСФАТАМИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

Ф.Н. Леонов, Т.Г. Синевиц

*Гродненский государственный аграрный университет,
г. Гродно, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур часто возможно лишь при создании оптимальной системы питания растений, и, прежде всего, за счет применения удобрений [1–3]. Однако в современных условиях минеральные удобрения применяются не всегда в оптимальных соотношениях питательных элементов, а в ряде случаев недостаток одного из элементов (как правило, фосфора) земледельцы пытаются компенсировать избыточным внесе-

нием другого. Это приводит не только к существенному недобору урожая, но и к снижению плодородия почв [4].

На продуктивность сельскохозяйственных культур значительное влияние оказывают как применяемые фосфорные удобрения и способы их внесения, так и обеспеченность почв данным элементом. Общеизвестно, что с увеличением содержания в почве подвижных фосфатов продуктивность сельскохозяйственных растений возрастает, а эффективность фосфорных удобрений снижается [5]. Избыточное насыщение почвы дорогостоящими фосфорными удобрениями во многих случаях является нерентабельным, в то время как недостаток данного элемента влечет за собой не только недобор урожая, но и нерациональное использование других видов (чаще всего азотных) удобрений [6].

В настоящее время в связи с острым дефицитом и высокой ценой фосфорных удобрений оптимальное обеспечение культур фосфором предполагает бездефицитное питание растений остаточными и стартовыми дозами свежевнесенных фосфорных удобрений [7].

Вместе с тем следует учитывать тот факт, что в некоторых случаях (в зависимости от вида культур и уровня их урожайности, структуры посевных площадей, уровня интенсификации земледелия и т.д.) внесение фосфорных удобрений даже при высокой обеспеченности почв подвижными фосфатами является экономически оправданным приемом повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Целью работы – определение эффективности различных доз фосфорных удобрений по действию на урожайность культур в звене севооборота яровой ячмень–яровой рапс–овес в зависимости от уровня обеспеченности агродерново-подзолистой временно избыточно увлажненной легкосуглинистой почвы подвижным фосфором.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в два этапа: полевые опыты были проведены в 2001–2003 гг. на опытном участке СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района, а производственные испытания – в СПК «Озеры» Гродненского района (2015 г.) и в ОАО «Черлена» Мостовского района (2016 г.).

Почва опытного участка СПК «Прогресс-Вертелишки» – дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная легкосуглинистая, развивающаяся на моренном суглинке с повышенной и очень высокой степенью обеспеченности подвижным фосфором. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы участка 1 характеризуются следующими данными: pH_{KCl} – 6,4, содержание гумуса – 2,3 %, P_2O_5 – 184 мг, K_2O – 386,5 мг на 1 кг почвы. Гидролитическая кислотность – 1,24 мг-экв. на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 91,1 %. Пахотный слой участка 2 характеризовался следующими показателями: pH_{KCl} – 5,7, содержание гумуса – 3,0%, P_2O_5 – 425 мг, K_2O – 391 мг на 1 кг почвы. Гидролитическая кислотность – 1,32 мг-экв. на 100 г почвы. Степень насыщенности основаниями – 90,2 %.

Изучение эффективности различных доз фосфорных удобрений на различных фосфатных фонах проводили в звене севооборота яровой ячмень – яровой рапс – овес. Опыт был развернут в пространстве на шести

полей севооборота: по три поля на почве с повышенной (IV группа по содержанию фосфора) и очень высокой (VI группа) степени обеспеченности подвижным фосфором.

Схема опыта включала 10 вариантов в четырехкратной повторности (табл. 1–3). Общая площадь делянки – 60 м², учетная площадь делянки – 40 м². Агротехника возделывания культур соответствовала рекомендациям для Гродненской области.

Полную дозу фосфорных и калийных удобрений, а также часть азотных (N₆₀ на зерновых культурах и N₈₀ на рапсе) вносили в предпосевную культивацию. Оставшиеся дозы азотных удобрений (варианты 4–10) применяли в подкормку: на зерновых культурах (60 кг/га по д.в.) – в фазу конец кущения – начало выхода в трубку; на рапсе в фазу 4–5 листьев (40 кг/га) и в фазу бутонизации (30 кг/га по д.в.).

Производственные опыты проводили на агродерново-подзолистой временно избыточно увлажненной легкосуглинистой почве, характеризующейся следующими агрохимическими показателями: почва с повышенной степенью обеспеченности подвижным фосфором: содержание гумуса – 2,2–2,6 %, P₂O₅ – 163–220, K₂O – 210–340 мг/кг почвы, pH – 6,1–6,4; почва с очень высоким содержанием подвижного фосфора: содержание гумуса – 2,1–2,8 %, P₂O₅ – 400–424, K₂O – 220–350 мг/кг почвы, pH – 6,1–6,5.

Испытывали четыре варианта применения удобрений:

1. N₁₂₀K₁₁₀ (зерновые культуры) и N₁₅₀K₁₁₀ (яровой рапс) – фон;
2. Фон + P₄₀;
3. Фон + P₆₀;
4. Фон + P₁₀₀.

Общая площадь делянки – 0,5 га, повторность в опыте – трехкратная, расположение делянок – рендомизированное.

Статистическая обработка полученных результатов выполнена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения полевого опыта и изучения влияния различных доз удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур установлена неоднозначность их действия в зависимости от биологических особенностей возделываемых культур и обеспеченности почв подвижным фосфором.

Анализ урожайных данных ячменя показал, что за счет увеличения обеспеченности почв подвижным фосфором урожайность данной культуры в контрольном варианте возросла на 3,4 ц/га (табл. 1). На почве с повышенным содержанием фосфора наибольшую эффективность показали азотные удобрения. Внесение азота в дозе N₆₀ обеспечило увеличение урожайности зерна ячменя на 27 % в сравнении с контролем, а в дозе N₁₂₀ – на 48 %. Эффективность дополнительного внесения калийных удобрений была невысокой, что объясняется наличием достаточного количества почвенного калия. Такая же закономерность действия совместного внесения азотных и калийных туков прослеживается и на втором участке опыта. В целом исследования показали, что окупаемость действующего

вещества удобрений зависела от степени обеспеченности почв подвижным фосфором: на более высоком фосфатном уровне окупаемость 1 кг как азотных, так и калийных удобрений была выше.

Внесение фосфорных удобрений в возрастающих дозах на почве с повышенным содержанием подвижного фосфора сопровождалось линейным ростом урожайности в каждом варианте. Максимальная урожайность была в вариантах $N_{120}K_{110}P_{80}$ и $N_{120}K_{110}P_{100}$ – 51,4 и 51,5 ц/га с окупаемостью 1 кг P_2O_5 зерном 8,9 и 7,2 кг соответственно. В то же время наибольшая окупаемость фосфорных удобрений наблюдалась в варианте с внесением P_{60} на фоне $N_{120}K_{110}$ и составила 9,5 кг. В связи с тем, что прибавка урожая в вариантах с внесением 60–80–100 кг/га P_2O_5 на соответствующем азотно-калийном фоне была равнозначной, вариант $N_{120}K_{110}P_{60}$ следует считать оптимальным для возделывания ярового ячменя на данной почве. Исключение фосфорных удобрений (варианты $N_{60}K_{50}$ и $N_{120}K_{110}$) привело к существенному уменьшению продуктивности данной культуры в сравнении с полным минеральным удобрением.

Таблица 1

**Эффективность минеральных удобрений на посевах ярового ячменя
в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,
среднее за 2001–2003 гг.**

Вариант	Обеспеченность почв P_2O_5							
	повышенная (IV группа)				очень высокая (VI группа)			
	урожайность, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость 1 кг NPK, кг зерна	окупаемость 1 кг P_2O_5 , кг зерна	урожайность, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость 1 кг NPK, кг зерна	окупаемость 1 кг P_2O_5 , кг зерна
1. Контроль	29,0	–	–	–	32,4	–	–	–
2. N_{60}	36,8	7,8	13,0	–	41,1	8,7	14,5	–
3. $N_{60}K_{50}$	38,6	9,6	8,7	–	43,3	10,9	9,9	–
4. N_{120}	42,9	13,9	11,6	–	47,6	15,2	12,7	–
5. $N_{120}K_{110}$ – фон	44,3	15,3	6,7	–	49,4	17,0	7,4	–
6. Фон + P_{20}	45,7	16,7	6,7	7,0	51,3	18,9	7,6	9,5
7. Фон + P_{40}	47,4	18,4	6,8	7,8	52,9	20,5	7,6	8,8
8. Фон + P_{60}	50,0	21,0	7,2	9,5	53,0	20,6	7,1	6,0
9. Фон + P_{80}	51,4	22,4	7,2	8,9	52,1	19,7	6,4	3,4
10. Фон + P_{100}	51,5	22,5	6,8	7,2	50,7	18,3	5,6	1,3
HCP_{05}	1,6				1,6			

На участке с содержанием P_2O_5 425 мг/кг почвы внесение фосфорных удобрений в дозах P_{20-40} обеспечило высокую окупаемость 1 кг внесенного фосфора зерном (9,5–8,8 кг соответственно). Дальнейшее увеличение дозы вносимого фосфора приводило к существенному уменьшению агрономической эффективности – до 6,0–1,3 кг зерна. Наибольшее достоверное увеличение урожая зерна (20,5 ц/га по отношению к контрольному варианту) было отмечено при внесении 40 кг/га д.в. фосфорных удобрений на фоне $N_{120}K_{110}$.

Увеличение содержания подвижного фосфора в почве оказало положительное влияние на урожайность овса (табл. 2).

**Эффективность минеральных удобрений на посевах овса
в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,
среднее за 2001–2003 гг.**

Вариант	Обеспеченность почв P ₂ O ₅							
	повышенная (IV группа)				очень высокая (VI группа)			
	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг NPK, кг зерна	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , кг зерна	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг NPK, кг зерна	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , кг зерна
1. Контроль	30,3	–	–	–	34,5	–	–	–
2. N ₆₀	38,6	8,3	13,8	–	44,3	9,8	16,3	–
3. N ₆₀ K ₅₀	41,4	11,1	10,1	–	46,8	12,3	11,2	–
4. N ₁₂₀	44,0	13,7	11,4	–	51,4	16,9	14,1	–
5. N ₁₂₀ K ₁₁₀ – фон	46,1	15,8	6,9	–	52,6	18,1	7,9	–
6. Фон + P ₂₀	48,1	17,8	7,1	10,0	54,7	20,2	8,1	10,5
7. Фон + P ₄₀	49,6	19,3	7,1	8,8	56,6	22,1	8,2	10
8. Фон + P ₆₀	53,3	23,0	7,9	12,0	55,9	21,4	7,4	5,5
9. Фон + P ₈₀	54,6	24,3	7,8	10,6	55,7	21,2	6,8	3,9
10. Фон + P ₁₀₀	54,8	24,5	7,4	8,7	55,2	20,7	6,3	2,6
HCP ₀₅	1,5				1,4			

В варианте без применения удобрений прибавка урожайности за счет более высокого содержания подвижных фосфатов в почве составила 4,2 ц/га. Внесение возрастающих доз азота (N_{60–120}) приводило к увеличению урожайности на обоих участках, однако понижало окупаемость 1 кг элемента. Вместе с тем, на почве с очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, прибавка и уровень окупаемости были выше, чем на почве с содержанием P₂O₅ более низкого уровня. Эффективность фосфорных удобрений, внесенных в дозах 20–40 кг/га, была практически равнозначной на обоих участках опыта. Прибавка урожайности от применения данных удобрений колебалась в пределах 2,0–4,0 ц/га при окупаемости 1 кг фосфора 8,8–10,5 кг зерна. Дальнейшее увеличение доз фосфорных удобрений на почве с очень высоким содержанием фосфора не привело к повышению урожайности зерна овса, а на почве с более низким содержанием P₂O₅ урожайность зерна возрастала до уровня P₆₀, а затем не изменялась. Анализ трехлетних урожайных данных рапса показал (табл. 3), что наибольшее влияние на формирование урожая семян оказывают азотные удобрения (прибавка от N₈₀ и N₁₅₀ составляет на почве с повышенной обеспеченностью фосфором 4,2–7,4 ц/га, или 25–48 %, а на почве с очень высоким содержанием подвижных фосфатов – 5,5–9,5 ц/га, или 27–47 % к контролю). Вместе с тем следует отметить, что внесение фосфорных удобрений в оптимальных дозах (в нашем опыте P₆₀) способствует не только увеличению урожайности данной культуры, но и обуславливает достаточно высокую, по сравнению с другими вариантами, окупаемость 1 кг действующего вещества фосфора семенами рапса: на уровне 7,5 кг на почве с повышенным содержанием фосфатов и 5,8 кг на участке с очень высокой степенью обеспеченности фосфором.

Таблица 3

**Эффективность минеральных удобрений на посевах ярового рапса
в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,
среднее за 2001–2003 гг.**

Вариант	Обеспеченность почв P ₂ O ₅							
	повышенная (IV группа)				очень высокая (VI группа)			
	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг семян	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , кг семян	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг NPK, кг семян	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , кг семян
1. Контроль	16,9	–	–	–	20,1	–	–	–
2. N ₈₀	21,1	4,2	5,3	–	25,6	5,5	6,9	–
3. N ₆₀ K ₆₀	22,1	5,2	3,7	–	27,0	6,9	4,9	–
4. N ₁₅₀	24,3	7,4	4,9	–	29,6	9,5	6,3	–
5. N ₁₅₀ K ₁₁₀ – фон	26,4	9,5	3,7	–	31,3	11,2	4,3	–
6. Фон + P ₂₀	27,7	10,8	3,9	6,5	32,8	12,7	4,5	7,5
7. Фон + P ₄₀	29,9	13,0	4,3	8,8	33,7	13,6	4,5	6
8. Фон + P ₆₀	30,9	14,0	4,4	7,5	34,8	14,7	4,6	5,8
9. Фон + P ₈₀	31,4	14,5	4,3	6,3	34,6	14,5	4,3	4,1
10. Фон + P ₁₀₀	31,7	14,8	4,1	5,3	34,8	14,7	4,1	3,5
НСР ₀₅	1,0				1,1			

Таблица 4

**Эффективность минеральных удобрений на посевах сельскохозяйственных
культур в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором,
среднее за 2015–2016 гг.**

Вариант	Яровой ячмень			Яровой рапс			Овес		
	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , кг зерна	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , кг семян	уро- жай- ность, ц/га	при- бавка, ц/га	окупае- мость 1 кг P ₂ O ₅ , 1 кг зерна
<i>Повышенная обеспеченность подвижным фосфором (P₂O₅ 163–220 мг/кг почвы)</i>									
1. Фон(НК)	47,3	–	–	18,9	–	–	44,7		
2. Фон + P ₄₀	50,4	3,1	7,8	21,7	2,8	7,0	48,2	3,5	8,8
3. Фон + P ₆₀	53,8	6,5	10,8	24,2	5,3	8,8	51,4	6,7	11,2
4. Фон + P ₁₀₀	54,3	7,0	7,0	24,7	5,8	5,8	52,3	7,6	7,6
НСР ₀₅	2,1			1,1			1,9		
<i>Очень высокая обеспеченность подвижным фосфором (P₂O₅ 400–424 мг/кг почвы)</i>									
1. Фон(НК)	51,0	–	–	21,4	–	–	49,9	–	–
2. Фон + P ₄₀	54,8	3,8	9,5	23,5	2,1	5,3	54,4	4,5	11,3
3. Фон + P ₆₀	55,2	4,2	7,0	25,5	4,1	6,8	53,2	3,3	5,5
4. Фон + P ₁₀₀	53,5	2,5	2,5	25,8	4,4	4,4	52,7	2,8	2,8
НСР ₀₅	2,2			1,2			2,0		

Двухлетние производственные испытания подтвердили полученные ранее результаты (табл. 4). Применение фосфорных удобрений обуславливает рост урожайности изучаемых сельскохозяйственных культур, которая повышается со

степенью обеспеченности почвы подвижным фосфором и дозой удобрения, что в конечном итоге и обеспечивает высокую эффективность внесенных удобрений. Так на почве с повышенной степенью обеспеченности фосфатами (175–220 мг/кг) максимальная прибавка урожайности ячменя (10,8 ц/га), ярового рапса (8,8 ц/га) и овса (6,7 ц/га) была получена при внесении P_{60} на соответствующем азотно-калийном фоне. Окупаемость 1 кг P_2O_5 в этом варианте также была высокой и составила соответственно 10,8; 8,8 и 11,2 кг зерна на ячмене, яровом рапсе и овсе. На почве с очень высоким содержанием подвижного фосфора получение урожайности зерна ячменя и овса на уровне 54,8 ц/га и 54,4 ц/га при окупаемости 1 кг P_2O_5 9,5 и 11,3 кг зерна соответственно обеспечило внесение P_{40} на фоне $N_{120}K_{110}$, а на посевах ярового рапса наибольшая урожайность (25,5 ц/га) была достигнута в варианте с применением $N_{150}P_{60}K_{110}$. Агрономическая эффективность внесенного фосфора в данном варианте также была максимальной (6,8 кг семян на 1 кг P_2O_5).

ВЫВОДЫ

1. В результате проведения полевых исследований и производственных опытов установлены оптимальные дозы фосфорных удобрений под ячмень, яровой рапс и овес в зависимости от степени обеспеченности почв подвижными фосфатами.

2. На почве с повышенной степенью обеспеченности подвижным фосфором при проведении полевых опытов (2001–2003 гг.) максимальную продуктивность обеспечило внесение P_{60} на фоне $N_{120}K_{110}$ – на зерновых культурах и $N_{150}K_{110}$ – на яровом рапсе. Урожайность ячменя при этом составила 50,0 ц/га, овса – 53,3 ц/га, ярового рапса – 30,9 ц/га при окупаемости 1 кг фосфора 9,5; 12,0 и 8,3 кг зерна и семян соответственно. Результаты производственных опытов (2015–2016 гг.) подтвердили полученные ранее результаты: внесение 60 кг P_2O_5 на соответствующем азотно-калийном фоне обеспечило максимальную прибавку урожая зерна ячменя (6,5 ц/га), ярового рапса (5,3 ц/га) и овса (6,7 ц/га) при окупаемости 1 кг внесенного фосфора 10,8; 8,8 и 11,2 кг зерна и семян соответственно.

3. На почве с очень высоким содержанием подвижного фосфора наиболее эффективным на зерновых культурах было внесение P_{40} на фоне $N_{120}K_{110}$. Так, урожайность ячменя составила 52,9 и 54,8 ц/га в 2001–2003 и 2015–2016 гг. соответственно при окупаемости 1 кг P_2O_5 8,8 и 9,5 кг зерна; урожайность овса была на уровне 56,6 и 54,4 ц/га при окупаемости 1 кг фосфора 10,0 и 11,3 кг зерна в полевом и производственном опытах соответственно. Максимальная урожайность маслосемян ярового рапса была получена при внесении 60 кг/га P_2O_5 на фоне $N_{150}K_{110}$ и составила 34,8 и 22,5 ц/га в полевом и производственном опытах соответственно при агрономической эффективности 1 кг внесенного фосфора 5,8 и 6,8 кг семян.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасынкова, Е.Н. Эффективность минеральных удобрений при возделывании пленчатого и голозерного овса / Е.Н. Пасынкова, А.В. Пасынков, С.А. Баландина // Агро XXI. – 2012. – № 10–12. – С. 36–39.
2. Ионас, В.А. Система удобрения сельскохозяйственных культур / В.А. Ионас, И.Р. Вильдфлуш, С.П. Кукреш. – Минск: Ураджай, 1998. – 287 с.

3. Агрохимические аспекты возделывания озимого рапса / Ф.Н. Леонов [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 5.– С. 15–21.
4. Система применения удобрений: учебник / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.
5. *Богдевич, И.М.* Агрохимические пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв / И.М. Богдевич: дис. ... д-ра с.-х. наук в форме научн. докл. – Минск, 1993. – 73 с.
6. *Прудников, В.А.* Обеспеченность почвы фосфатами и эффективность фосфорного удобрения / В.А. Прудников // Льноводство Беларуси: сб. науч. статей / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Институт льна. – Минск: Белорусская наука. – 2015 – С. 101–111.
7. *Чумаченко, И.Н.* Фосфор в жизни растений и плодородие почв / И.Н. Чумаченко. – М.: ЦИНАО, 2003. – С. 124.
8. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

EFFICIENCY OF FERTILIZERS IN RELATION TO MOBILE PHOSPHATE SUPPLY OF PODZOLUVISOL LOAMY SOIL

F.N. Leonov, T.G. Sinevich

Summary

The results of field experiments with different rates of fertilizers under barley, oat and spring rapeseed in relation to mobile phosphate supply of Podzoluvisol loamy soil are presented. The grain yield of tested crops as well as crop yield response to N and K fertilizers were significantly increased on the plots with high level of P content in soil. The crop yield responses to P fertilizer conversely decreased on the soil with high P content however responses were sufficiently great at optimal doses of P fertilizer.

Поступила 17.04.17