



В.В.Лапа, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.Н.Босак, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

О.Ф.Смеянович, младший научный сотрудник

БелНИИ почвоведения и агрохимии

УДК 631.8+631.415.1:631.524:84

Влияние удобрений и почвенной кислотности на продуктивность сельскохозяйственных культур в севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

В длительном стационарном полевом опыте изучено влияние почвенной кислотности, органических и минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в севообороте картофель-ячмень-овес-люпин на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Установлено, что для картофеля и люпина благоприятной была более кислая реакция почвенного раствора, для ячменя — близкая к нейтральной. Применение органических удобрений оказывало положительное влияние на урожай в год внесения под картофель и как последствие под ячмень, овес и люпин. Наиболее существенное влияние на продуктивность и качество изучаемых культур оказывали азотные удобрения, несколько в меньшей степени — фосфорные и калийные при максимальных показателях на вариантах с полным органоминеральным удобрением.

The impact of soil acidity, organic and mineral fertilization on the yield and quality of the potato-barley-oat-lupine rotation has been studied in a long-term experiment on sod-podzolic light loamy soil. It has been established that more sour reaction of soil solution was for potato and lupine, for barley — near to neutral. Organic fertilization had positive impact on the yield in the year of application under potato and as aftereffect under barley, oat and lupine. Nitrogen fertilizers had more substantial influence on the productivity and quality of the studied crops, less substantial phosphoric and potassium fertilizers at maximum indexes on variants with full organo-mineral fertilizers.

В условиях дерново-подзолистых почв Республики Беларусь наиболее важным фактором формирования урожайности сельскохозяйственных культур является применение органических и минеральных удобрений с учетом агрохимических свойств почв [1, 2, 4, 5]. В этом плане роль отдельных элементов питания — азота, фосфора и калия — неоднозначна, а отсутствие в системе удобрения любого из элементов приводит к снижению урожайности изучаемых культур. При этом на эффективность удобрений существенное влияние оказывает реакция почвенного раствора.

Целью наших исследований являлось изучение роли отдельных элементов минерального питания и их сочетаний на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Исследования проводились в стационарном полевом опыте в 1998–2001 гг. в э/б “Курасовщина” Минского района в севообороте со следующим чередованием культур: картофель-ячмень-овес-люпин. Схема опыта предусматривала изучение сочетаний элемен-

тов питания — РК, НК, НР и НРК — на четырех фонах: известкованном (pH_{KCl} 6,3–6,4), не известкованном (pH_{KCl} 4,3–4,5), с внесением органических удобрений (15 т/га севооборотной площади) и без органических удобрений. Органические удобрения в севообороте вносили под картофель в виде соломистого навоза КРС в дозе 60 т/га.

Агрохимическая характеристика пахотного горизонта почвы опытного участка имела следующие показатели: фон с pH_{KCl} 4,3–4,5 — содержание P_2O_5 (0,2 n HCl) 360–380 мг/кг, K_2O (0,2 n HCl) 190–230, CaO (1 n KCl) 610–860, MgO (1 n KCl) 75–135 мг/кг почвы, гумуса (0,4 n $K_2Cr_2O_7$) 1,5–1,7%; фон с pH_{KCl} 6,3–6,4 — содержание P_2O_5 — 360–410 мг/кг, K_2O — 180–240, CaO — 1270–1360, MgO — 340–365 мг/кг почвы, гумуса — 1,4–1,7%.

Результаты исследований с первой культурой севооборота (картофелем Орбита) показали, что наиболее высокий урожай клубней — 251–283 ц/га — получен на почве с кислой реакцией среды — pH_{KCl} 4,3–4,5 (табл. 1). Внесение органических удобрений увеличивало урожай клубней в контрольном варианте

Таблица 1. Влияние удобрения и кислотности почвы на урожайность и качество картофеля Орбита

Вариант	Клубни, ц/га	Прибавка, ц/га			Крахмал, %	Нитраты, мг/кг	
		pH	навоз	НPK			
pH _{KCl} 6,3-6,4	Контроль	133	-65	-	-	17,3	39
	P ₇₀ K ₁₅₀	158	-93	-	25	17,7	34
	N ₉₀ K ₁₅₀	167	-101	-	34	17,0	63
	N ₉₀ P ₇₀	175	-88	-	42	17,2	67
	N ₉₀ P ₇₀ K ₁₅₀	202	-67	-	69	17,2	87
	Навоз, 60 т/га	211	-31	78	-	17,3	52
	Навоз + P ₇₀ K ₁₅₀	229	-47	71	18	17,7	47
	Навоз + N ₉₀ K ₁₅₀	230	-43	63	19	17,5	67
	Навоз + N ₉₀ P ₇₀	231	-45	56	20	17,8	72
	Навоз + N ₉₀ P ₇₀ K ₁₅₀	237	-46	35	26	17,5	96
pH _{KCl} 4,3-4,5	Контроль	198	-	-	-	17,7	34
	P ₇₀ K ₁₅₀	251	-	-	53	17,3	36
	N ₉₀ K ₁₅₀	268	-	-	70	18,0	53
	N ₉₀ P ₇₀	263	-	-	65	17,3	43
	N ₉₀ P ₇₀ K ₁₅₀	269	-	-	71	17,5	51
	Навоз, 60 т/га	242	-	44	-	17,8	39
	Навоз + P ₇₀ K ₁₅₀	276	-	25	34	17,8	48
	Навоз + N ₉₀ K ₁₅₀	273	-	5	31	17,7	64
	Навоз + N ₉₀ P ₇₀	276	-	13	34	17,8	73
	Навоз + N ₉₀ P ₇₀ K ₁₅₀	283	-	14	41	17,3	91
НСП ₀₅	16				0,5	16	
ПДК						150	

на 44 ц/га, в варианте P₇₀K₁₅₀ — на 25 и в вариантах с азотными удобрениями — на 5-14 ц/га.

По своим биологическим особенностям картофель относится к культурам-кальцефобам, которые не переносят избытка кальция в почвенном растворе, поэтому кислотность почвы с рН_{KCl} 6,3-6,4 для этой культуры является нежелательной, так как приводит к значительному снижению урожайности. Возделывание картофеля на известкованном фоне с рН_{KCl} 6,3-6,4 приводило к снижению урожайности на безнавозном фоне на 65-101 ц/га, на навозном фоне негативное влияние повышенной концентрации кальция и магния в почвенном растворе было несколько ниже — снижение урожайности клубней составляло 31-47 ц/га по отношению к кислому фону. При этом полное минеральное удобрение (N₉₀P₇₀K₁₅₀) так же, как и навоз, способствовало снижению негативного действия повышенного содержания кальция.

Исследованиями установлено, что все изучаемые факторы не оказали существенного влияния на изменение качественных показателей клубней картофеля (содержание крахмала и нитратов). Содержание крахмала в целом по опыту варьировало в пределах 17,0-18,0%, а количество нитратов не превышало 96 мг/кг при ПДК 150 мг/кг.

Реакция среды, близкая к нейтральной (рН_{KCl} 6,3-6,4) в сочетании с последствием навоза (1 год) и полным минеральным удобрением (N₆₀P₆₀K₁₂₀), обеспечи-

ла формирование наиболее высокого урожая зерна ячменя Гасшнец — 48,1 ц/га (табл. 2). За счет последствия навоза прибавка урожая ячменя возрастала в зависимости от вариантов опыта на 5,2-11,9 ц/га. Применение фосфорных и калийных удобрений (P₆₀K₁₂₀) способствовало прибавке 6,4 ц/га, парных сочетаний N₆₀K₁₂₀ и N₆₀P₆₀ — 11,8-13,0 ц/га, полного минерального удобрения N₆₀P₆₀K₁₂₀ — 19,9 ц/га. На безнавозном фоне прибавки урожая от оптимизации почвенной кислотности составляли от 2,0 до 12,5 ц/га, на фоне последствия органических удобрений — 0,1-2,7 ц/га, при этом изменение реакции почвенной среды до рН_{KCl} 6,3-6,4 было более эффективным в сочетании с внесением всех минеральных удобрений.

Сильнокислая реакция почвенного раствора (рН_{KCl} 4,3-4,5) оказала отрицательное влияние на урожайность ячменя. Максимальный урожай зерна на безнавозном фоне составил только 25,7 ц/га, или на 12,5 ц/га меньше, чем на почве с кислотностью, близкой к нейтральной (рН_{KCl} 6,3-6,4). Последствие навоза существенно нивелировало отрицательное влияние кислой реакции почвенного раствора, а в сочетании с минеральными удобрениями (N₆₀K₆₀K₁₂₀) обеспечивало формирование урожая зерна 45,4 ц/га.

На содержание белка в зерне ячменя на почве с рН_{KCl} 6,3-6,4 оказывали влияние все виды минеральных удобрений — азотные, фосфорные и калийные, на почве с сильнокислой реакцией среды (рН_{KCl} 4,3-

Таблица 2. Влияние удобрения и кислотности почвы на урожайность и качество ячменя Гасцінец

Вариант	Зерно, ц/га	Прибавка, ц/га			Белок, %	Масса 1000 зерен, г	Солома, ц/га	Соотношение зерно:солома	
		pH	навоз	NPK					
pH _{KCl} 6,3-6,4	Контроль	16,3	2,0	-	-	9,8	41,4	12,3	1:0,7
	P ₆₀ K ₁₂₀	26,6	4,9	-	10,3	10,3	42,2	18,1	1:0,7
	N ₆₀ K ₁₂₀	34,8	9,5	-	18,5	10,7	42,6	24,7	1:0,7
	N ₆₀ P ₆₀	34,6	9,3	-	18,3	10,9	43,8	26,4	1:0,8
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	38,2	12,5	-	21,9	10,9	43,8	27,7	1:0,7
	Навоз*	28,2	0,6	11,9	-	9,9	42,5	18,5	1:0,6
	Навоз* + P ₆₀ K ₁₂₀	34,6	0,1	8,0	6,4	10,5	43,1	23,8	1:0,7
	Навоз* + N ₆₀ K ₁₂₀	40,0	1,3	5,2	11,8	10,9	43,5	28,2	1:0,7
	Навоз* + N ₆₀ P ₆₀	41,2	1,1	6,6	13,0	10,8	42,7	31,7	1:0,8
Навоз* + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	48,1	2,7	9,9	19,9	10,9	42,7	31,2	1:0,6	
pH _{KCl} 4,3-4,5	Контроль	14,3	-	-	-	9,6	40,3	10,6	1:0,7
	P ₆₀ K ₁₂₀	21,7	-	-	7,4	9,7	40,6	11,9	1:0,5
	N ₆₀ K ₁₂₀	25,3	-	-	11,0	10,0	39,8	20,2	1:0,8
	N ₆₀ P ₆₀	25,3	-	-	11,0	10,4	40,4	15,9	1:0,7
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	25,7	-	-	11,4	10,7	40,9	14,0	1:0,5
	Навоз*	27,6	-	13,3	-	9,5	40,8	21,9	1:0,8
	Навоз* + P ₆₀ K ₁₂₀	34,5	-	12,8	6,9	9,6	42,2	22,9	1:0,7
	Навоз* + N ₆₀ K ₁₂₀	38,7	-	13,4	11,1	10,7	40,1	30,4	1:0,8
	Навоз* + N ₆₀ P ₆₀	40,1	-	14,8	12,5	10,5	39,7	33,1	1:0,8
Навоз* + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	45,4	-	19,7	17,8	10,8	38,9	37,0	1:0,8	
НСР ₀₅	1,9				0,4	2,1	1,6		

Примечание. * — последствие 60 т/га соломистого навоза КРС, 1-й год

4,5) — только азотные удобрения. Так, внесение P₆₀K₁₂₀ достоверно увеличивало содержание белка на 0,5-0,6%, дополнительное применение N₆₀ обеспечивало его дальнейшее увеличение на 0,6% на безнавозном фоне и на 0,4% на фоне с последствием навоза. На сильнокислой почве содержание белка возрастало от применения азотных удобрений (N₆₀) на 1,0-1,2%. Последствие навоза не оказывало существенного влияния на содержание белка в зерне ячменя. По абсолютному значению содержание белка в зерне ячменя на сильнокислой почве и почве, близкой к нейтральной, было практически одинаковым.

Оптимизация реакции почвенной среды обусловила тенденцию, а в отдельных вариантах и достоверное влияние, на увеличение массы 1000 зерен ячменя. В варианте N₆₀K₆₀K₁₂₀ на почве с pH_{KCl} 6,3-6,4 и безнавозном фоне масса 1000 зерен была на 2,9 г, а на фоне последствия навоза — на 3,8 г больше, чем на почве с pH_{KCl} 4,3-4,5.

Возделывание ячменя на сильнокислой почве и безнавозном фоне обусловило и слабое развитие вегетативной массы, в результате чего урожай соломы на удобренном варианте (N₆₀K₆₀K₁₂₀) составил только 14,0 ц/га, или почти в 2 раза меньше, чем на почве с pH_{KCl} 6,3-6,4.

Урожай овса Асілак в большей мере определялся применением удобрений и практически не зависел от состояния кислотности исследуемой почвы (табл. 3).

Максимальный урожай в наших исследованиях получен в варианте N₆₀K₆₀K₁₂₀ и последствием 60 т/га соломистого навоза КРС (2 год) — 36,8 (pH_{KCl} 4,3-4,5) — 37,1 ц/га (pH_{KCl} 6,3-6,4). При этом последствие навоза, внесенного в севообороте подкартофель, по влиянию на урожай овса было менее значимым по сравнению с ячменем. Прибавка урожая зерна овса от внесения в севообороте органических удобрений на кислой почве составила по вариантам опыта 4,7-8,9 ц/га, на почве с pH_{KCl} 6,3-6,4 — 3,7-8,6 ц/га.

Из отдельных элементов питания наиболее существенной была роль азотных удобрений, которые обеспечивали прибавку урожая зерна овса от 12,9 до 17,2 ц/га на известкованном и от 14,0 до 17,1 ц/га на не известкованном фоне. Эффективность фосфорных и калийных удобрений была несколько выше на безнавозном фоне, где прибавка урожая зерна от их внесения составила 4,3-6,0 ц/га. На безнавозном фоне применение фосфора и калия обеспечило дополнительный сбор 3,2-2,4 ц/га зерна. В вариантах с парным сочетанием азота и фосфора, а также азота и калия прибавка урожая зерна составила соответственно 9,8-13,2 и 8,4-12,5 ц/га.

Содержание белка в зерне овса было относительно невысоким и не превышало 8,3% на всех изучаемых агрохимических фонах. При этом внесение минеральных удобрений способствовало существенному

Таблица 3. Влияние удобрения и кислотности почвы на урожайность и качество овса Асілак

Вариант	Зерно, ц/га	Прибавка, ц/га			Белок, %	Масса 1000 зерен, г	Солома, ц/га	Соотношение зерно:солома	
		pH	навоз	НРК					
pH _{KCl} 6,3-6,4	Контроль	11,9	2,9	-	-	7,2	48,7	9,7	1:0,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	16,2	1,2	-	4,3	7,6	47,4	12,5	1:0,8
	N ₆₀ K ₁₂₀	20,3	0,2	-	8,4	7,6	46,9	18,6	1:0,9
	N ₆₀ P ₆₀	21,7	0,2	-	9,8	8,3	48,0	19,1	1:0,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	29,1	0,1	-	17,2	8,3	46,9	22,6	1:0,8
	Навоз*	17,5	1,0	5,6	-	7,3	49,3	13,2	1:0,7
	Навоз* + P ₆₀ K ₁₂₀	19,9	0,2	3,7	2,4	8,0	46,8	16,9	1:0,8
	Навоз* + N ₆₀ K ₁₂₀	28,9	-0,1	8,6	11,4	8,0	46,8	20,5	1:0,7
	Навоз* + N ₆₀ P ₆₀	29,8	0,1	8,1	12,3	8,3	49,0	21,1	1:0,7
Навоз* + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	37,1	0,3	8,0	19,6	8,2	48,7	24,3	1:0,6	
pH _{KCl} 4,3-4,5	Контроль	9,0	-	-	-	7,1	48,3	7,0	1:0,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	15,0	-	-	6,0	7,7	48,4	11,1	1:0,7
	N ₆₀ K ₁₂₀	20,1	-	-	11,1	8,3	49,3	14,3	1:0,7
	N ₆₀ P ₆₀	21,5	-	-	12,5	8,2	49,1	18,7	1:0,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	29,0	-	-	20,0	8,3	48,7	19,9	1:0,7
	Навоз*	16,5	-	7,5	-	7,4	49,1	12,8	1:0,8
	Навоз* + P ₆₀ K ₁₂₀	19,7	-	4,7	3,2	8,0	48,0	14,9	1:0,7
	Навоз* + N ₆₀ K ₁₂₀	29,0	-	8,9	12,5	8,3	49,8	19,7	1:0,7
	Навоз* + N ₆₀ P ₆₀	29,7	-	8,2	13,2	8,3	49,9	20,3	1:0,7
Навоз* + N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	36,8	-	7,8	20,3	8,3	49,5	24,9	1:0,7	
НСР ₀₅	1,6				0,4	2,1	1,2		

Примечание. * — последствие 60 т/га соломистого навоза КРС, 2-й год

увеличению белковости зерна практически на всех опытных вариантах.

Масса 1000 зерен в исследованиях составила 46,8-49,9 г и в меньшей мере зависела от уровня питания.

Результаты исследований, проведенных с люпином узколистным Миртан, показали, что уровень почвенной кислотности не оказал существенного влияния на урожайность зерна при условии сбалансированного применения удобрений (табл. 4). Люпин узколистный в этом отношении более пластичен, чем люпин желтый [3, 6].

Наиболее высокий урожай — 34,9-35,1 ц/га — получен в вариантах с внесением P₄₀K₇₀ в интервале почвенной кислотности от pH_{KCl} 4,3 до 6,4 на фоне последствие органических удобрений. Следует отметить, что на фоне без внесения органических удобрений на всех изучаемых вариантах урожай зерна люпина достоверно снижался. Раздельное внесение фосфорных и калийных удобрений было менее эффективным, чем их совместное применение. Доведение почвенной кислотности до pH_{KCl} 6,3-6,4 оказало существенное влияние на снижение урожайности люпина только на безнавозном фоне (1,8-2,8 ц/га). На кислом фоне pH_{KCl} 4,3-4,5 масса 1000 зерен существенно снижалась в сравнении с вариантами известкованного фона как на вариантах с внесением в севообороте органических удобрений, так и без их применения.

Выводы

1. Степень кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы оказала существенное влияние на урожайность картофеля и ячменя, при этом для картофеля более благоприятным был кислый интервал pH, для ячменя — близкий к нейтральному. Урожай овса практически не зависел от реакции почвенного раствора. Почвенная кислотность не оказала негативного влияния на урожай зерна люпина узколистного на фоне последствие органических удобрений и внесения P₄₀K₇₀.

2. Применение органических удобрений было эффективным при непосредственном применении под картофель и в последствии под ячмень, овес и люпин, при этом навоз в значительной мере снижал негативное действие высокой кислотности почвы на урожай ячменя.

3. Из отдельных элементов минерального питания в опытах с картофелем, ячменем и овсом наиболее существенной была роль азота. Фосфор и калий, несмотря на достаточно высокий уровень содержания их в почве, также оказывали достоверное влияние на урожай изучаемых культур, но величина прибавок была ниже, чем от азота. В исследованиях с люпином узколистным применение одних фосфорных или калийных

Таблица 4. Влияние удобрения и кислотности почвы на урожайность и качество люпина узколистного Миртан

Вариант	Зерно, ц/га	Прибавка, ц/га			Зеленая масса, ц/га	Сено, ц/га	Масса 1000 зерен, г	
		pH	навоз	NPK				
pH _{ксл} 6,3-6,4	Контроль	27,1	-2,7	-	-	401	62,0	139,2
	P ₄₀ K ₇₀	31,8	-1,3	-	4,7	465	72,0	140,6
	K ₇₀	29,2	-1,8	-	2,1	448	69,3	139,8
	P ₄₀	28,8	-2,0	-	1,7	453	70,1	140,0
	P ₄₀ K ₇₀	31,3	-2,8	-	4,2	472	73,1	141,3
	Навоз*	29,1	-1,9	2,0	-	448	69,3	140,6
	Навоз* + P ₄₀ K ₇₀	34,7	0,1	2,9	5,6	542	83,9	139,6
	Навоз* + K ₇₀	32,2	-0,3	3,0	3,1	502	77,7	140,8
	Навоз* + P ₄₀	31,4	-1,0	2,6	2,3	518	80,1	139,4
	Навоз* + P ₄₀ K ₇₀	34,9	-0,2	3,6	5,8	544	84,1	142,4
pH _{ксл} 4,3-4,5	Контроль	28,9	-	-	-	456	70,6	134,2
	P ₄₀ K ₇₀	33,1	-	-	4,2	497	76,9	134,4
	K ₇₀	31,0	-	-	2,1	483	74,7	135,5
	P ₄₀	30,8	-	-	1,9	491	75,9	135,0
	P ₄₀ K ₇₀	34,1	-	-	5,2	505	78,2	134,8
	Навоз*	31,0	-	2,1	-	482	74,6	134,0
	Навоз* + P ₄₀ K ₇₀	34,6	-	1,5	3,6	539	83,4	133,8
	Навоз* + K ₇₀	32,5	-	1,5	1,5	523	80,9	135,8
	Навоз* + P ₄₀	32,4	-	1,6	1,4	517	80,0	134,0
	Навоз* + P ₄₀ K ₇₀	35,1	-	1,0	4,1	549	85,0	134,2
НСР ₀₅	1,7				21	5,2	3,1	

Примечание. * — последствие 60 т/га соломистого навоза КРС. 3-й год

удобрений приводило к достоверному снижению урожайности зерна люпина по сравнению с вариантом, где изучалось их совместное внесение.

4. При возделывании картофеля, ячменя, овса и люпина лучшие показатели урожайности и качества обеспечила органоминеральная система удобрения, предусматривающая внесение оптимальных доз органического и полного минерального удобрения.

Литература

1. Богдевич И.М. Агрохимические пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв: Дис. ... д-ра с.-х. наук в форме науч. доклада: 06.01.04. / БелНИИ ПА – Минск, 1993. – 73 с.

2. Ионас В. А., Вильдфлуш И. Р., Кукреш С. П. Система удобрения сельскохозяйственных культур. – Минск: Ураджай, 1998. – 287 с.

3. Кукреш Л. В., Лукашевич Н. П. Зернобобовые культуры. – Минск: Ураджай, 1992. – 256 с.

4. Кулаковская Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

5. В.В.Лапа, И.М.Богдевич, Н.Н.Ивахненко, В.Н.Босак Ресурсосберегающая система удобрения сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах: (рекомендации) – Минск, 2001. – 18 с.

6. Шпаар Д., Дрегер Д., Захаренко А. Зернобобовые культуры. – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.