

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ДЕРНОВО-СЛАБОПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Н.С. Алметов, д.с.-х.н., Марийский ГУ, Л.С. Чернова, к.с.-х.н., А.А. Завалин, д.с.-х.н., ВНИИА

Оценено влияние доз и соотношений азотных, фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя в зависимости от гранулометрического состава почв. Установлено, что на дерново-слабоподзолистых почвах Республики Марий Эл с повышенным содержанием P_2O_5 , средним K_2O и близкой к нейтральной $pH_{\text{кол}}$ при возделывании ячменя наиболее эффективными дозами минеральных удобрений на среднесуглинистых почвах являются $N_{60}P_{90}K_{60}$, на легкосуглинистых – $N_{60,90}P_{90}K_{60}$ и на супесчаных $N_{60}P_{90}K_{60,90}$. При применении этих доз удобрений наиболее высокая урожайность ячменя, выше качество зерна, окупаемость 1 кг NPK и коэффициент использования элементов питания из минеральных удобрений.

Ключевые слова: удобрения, урожайность, окупаемость, качество, коэффициент использования элементов питания, почва, гранулометрический состав.

Ячмень – одна из основных сельскохозяйственных культур Республики Марий-Эл. Его возделывают для продовольственных, технических и кормовых целей. Ячмень имеет короткий период вегетации, слабую корневую систему, отличается высокой требовательностью к элементам питания, поэтому внесение минеральных удобрений – необходимое условие получения высоких урожаев хорошего качества. Однако эффективность минеральных удобрений во многом зависит от почвенно-климатической зоны, агрохимических показателей и гранулометрического состава почвы [1-5]. По данным [6], участие минеральных удобрений в формировании урожайности сельскохозяйственных культур в Нечерноземной зоне составляет 31-37%, а остальная доля приходится на погодные условия. В то же время, при увеличении степени окультуренности почв за счет повышения содержания в ней питательных веществ, роль погодного фактора в формировании урожайности уменьшается [7]. Например, при низкой обеспеченности дерново-подзолистой почвы подвижными формами фосфора и калия их вклад в формирование урожайности ячменя составил 34%, вклад климатического фактора – 38, удобрений – 28%, при оптимальной обеспеченности этими элементами питания – соответственно, 58; 24 и 18%.

Методика. Изучение влияния доз и соотношений азотных, фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя проводили в 1981-2008 гг. на дерново-слабоподзолистых среднесуглинистых, легкосуглинистых и супесчаных почвах республики Марий Эл. Агрохимические показатели почв следующие: среднесуглинистые почвы (17 опытов) – содержание гумуса (по Тюрину) – 1,5-1,9%, $pH_{\text{кол}}$ – 5,5-6,1, содержание подвижного фосфора 10-13 и подвижного

калия – 8-12 мг/100 г почвы (по Кирсанову), сумма поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу) – 16-21 мг-экв/100 г почвы, гидrolитическая кислотность (по Каппену) – 1,5-2,2 мг-экв/100 г почвы; легкосуглинистые почвы (7 опытов) – содержание гумуса – 1,4-1,6%, $pH_{\text{кол}}$ – 5,6-6,0, содержание подвижного фосфора – 10-14 и подвижного калия – 11-14 мг/100 г почвы, S-10-13, Нг – 1,3-1,5 мг-экв/100 г почвы; супесчаные почвы (6 опытов) – содержание гумуса 1,2-1,5%, $pH_{\text{кол}}$ – 5,5-6,1, содержание подвижного фосфора 10-14 и подвижного калия – 10-13 мг/100 г почвы, S-8-10, Нг – 1,1-2,0 мг-экв/ 100 г почвы. Предшественник ячменя – озимая рожь. Агротехника общепринятая для условий республики. Сорта ярового ячменя: Московский 121 и Зазерский 85. Общая площадь делянки – 100 м², учетной – 80 м², расположение вариантов систематическое, повторность четырехкратная. Минеральные удобрения в виде Naa, Pcd и Kx вносили весной вразброс под предпосевную культивацию. Уборку урожая проводили в фазе полной спелости зерна прямым комбайнированием. Данные урожая приведены к 100%-ной чистоте и стандартной влажности. Метеорологические условия в годы проведения опытов были в основном благоприятными для возделывания ячменя.

Результаты и их обсуждение. Данные учета урожая показали, что изучаемые факторы влияли на урожайность зерна ярового ячменя и его качество (табл.1). При практически одинаковом содержании в почве подвижного фосфора и калия наиболее высокая урожайность зерна без применения минеральных удобрений получена на легкосуглинистых почвах – 27,0 ц/га, на супесчаных почвах она достигала 21,6 и на среднесуглинистых – 18,8 ц/га. Применение минеральных удобрений существенно влияло на урожайность ярового ячменя. Прибавка урожайности от их использования составила 1,4-13,1 ц/га, или 7-70 %. Минимальная прибавка урожайности ячменя (1,4-2,5 ц/га к контролю) получена от фосфорно-калийных удобрений. Максимальное влияние на увеличение продуктивности ячменя оказывали азотные удобрения. Внесение азотных удобрений в дозах 30; 60; 90; 120 кг д.в/га на фоне $P_{60}K_{60}$ способствовало увеличению урожайности зерна ячменя на среднесуглинистых почвах на 5,6-7,5 ц/га, на легкосуглинистых на 4,5-7,6 и на супесчаных на 2,8-5,3 ц/га. Окупаемость 1 кг д.в. азотных удобрений при внесении соответствующих доз составила на среднесуглинистых почвах 18,7-6,3 кг, на легкосуглинистых 15,0-5,9 и на супесчаных – 9,3-4,0 кг зерна.

1. Эффективность применения минеральных удобрений под ячмень на дерново-слабоподзолистых почвах

Вариант опыта	Среднесуглинистые почвы (17 опытов)			Легкосуглинистые почвы (7 опытов)			Супесчаные почвы (6 опытов)		
	урожайность ячменя, ц/га	прибавка к контролю, ц/га	окупаемость 1 кг NPK кг зерна	урожайность ячменя, ц/га	прибавка к контролю, ц/га	окупаемость 1 кг NPK кг зерна	урожайность ячменя, ц/га	прибавка к контролю, ц/га	окупаемость 1 кг NPK кг зерна
1. Контроль	18,8	-	-	27,0	-	-	21,6	-	-
2. $N_{60}P_{90}$	26,2	7,4	4,9	33,9	6,9	4,6	24,1	2,5	1,7
3. $N_{60}K_{60}$	26,0	7,2	6,0	29,9	2,9	2,4	24,5	2,9	2,4
4. $P_{90}K_{60}$	21,3	2,5	1,7	29,2	2,2	1,5	23,0	1,4	0,9
5. $N_{30}P_{90}K_{60}$	26,9	8,1	4,5	33,7	6,7	3,7	25,8	4,2	2,3
6. $N_{60}P_{90}K_{60}$	29,7	10,9	5,2	36,2	9,2	4,4	28,1	6,5	3,1
7. $N_{90}P_{90}K_{60}$	28,8	10,0	4,2	36,8	9,8	4,1	28,3	6,7	2,8
8. $N_{120}P_{90}K_{60}$	28,8	10,0	3,7	36,3	9,3	3,4	27,8	6,2	2,3
9. $N_{60}P_{60}K_{60}$	28,5	9,7	5,4	34,3	7,3	4,1	26,9	5,3	2,9
10. $N_{60}P_{120}K_{60}$	29,1	10,3	4,3	35,5	8,5	3,5	26,9	5,3	2,2
11. $N_{60}P_{150}K_{60}$	29,6	10,8	4,0	35,3	8,3	3,1	27,1	5,5	2,0
12. $N_{60}P_{90}K_{30}$	28,8	10,0	5,6	34,8	7,8	4,3	27,4	5,8	3,2
13. $N_{60}P_{90}K_{90}$	31,9	13,1	5,5	34,9	7,9	3,3	28,3	6,7	2,8
14. $N_{60}P_{90}K_{120}$	31,3	12,5	4,6	35,0	8,0	3,0	28,0	6,4	2,4
HCP ₀₅	1,9			2,0			1,9		

Наиболее высокая оплата 1 кг азота получена при внесении N_{30} на фоне $P_{90}K_{60}$. Доза азота выше 60 кг/га д.в. не способствовала дальнейшему росту урожайности, при этом окупаемость 1 кг д.в. азота снижалась.

Эффективность фосфорных удобрений была ниже азотных. При внесении фосфорных удобрений в дозах 60; 90; 120; 150 кг д.в./га на фоне $N_{60}K_{60}$ увеличение урожайности зерна ячменя составило на среднесуглинистых почвах 2,5-3,7 ц/га, на легкосуглинистых 4,4-6,3 и на супесчаных почвах 2,4-3,6 ц/га при окупаемости 1 кг д.в. фосфора на среднесуглинистых почвах 4,2-2,4 кг, на легкосуглинистых почвах 7,3-3,6 и на супесчаных почвах 4,0-2,2 кг зерна. Во всех опытах наиболее высокая прибавка урожайности и окупаемость 1 кг д.в. P_2O_5 получена при внесении 90 кг д.в./га фосфора на фоне $N_{60}K_{60}$. При этом на среднесуглинистых и супесчаных почвах рост урожайности ячменя от внесения фосфорных удобрений был практически одинаковым. На легкосуглинистых почвах эффективность фосфорных удобрений несколько выше.

Эффективность калийных удобрений во многом зависела от гранулометрического состава почвы. Самая высокая прибавка урожайности зерна ячменя от использования калийных удобрений получена на супесчаных почвах. При внесении калийного удобрения в дозах 30; 60; 90; 120 кг д.в./га на фоне $N_{60}P_{90}$ урожайность зерна ячменя увеличивалась на среднесуглинистых почвах на 2,6-5,7 ц/га при окупаемости 1 кг д.в. K_2O 8,7-4,3 кг зерна, на легкосуглинистых почвах на 0,9-2,3 при окупаемости 3,8-0,9 кг зерна и на супесчаных почвах 3,3-4,2 ц/га при окупаемости 1 кг д.в. K_2O 11,0-3,3 кг зерна.

Таким образом, результаты исследований показывают, что оптимальными дозами минеральных удобрений на посевах ячменя на среднесуглинистых почвах являются $N_{60}P_{90}K_{90}$, на легкосуглинистых почвах – $N_{60-90}P_{90}K_{60}$, на супесчаных почвах – $N_{60}P_{90}K_{60-90}$.

Результаты корреляционного и регрессионного анализов зависимости урожайности зерна ячменя от доз и соотношений азотных, фосфорных и калийных удобрений на почвах разного гранулометрического состава выявили положительную связь между урожаем зерна ячменя и дозами минеральных удобрений. Рассмотрим уравнения регрессии, отражающие зависимость урожайности ячменя от доз минеральных удобрений:

для среднесуглинистых почв $Y=19,3+0,06N+0,03P+0,05K$, коэффициент корреляции $r(N)=0,88$, $r(P)=0,90$, $r(K)=0,92$;

для легкосуглинистых почв: $Y=27,1+0,06N+0,04P+0,01K$, $r(N)=0,87$, $r(P)=0,86$, $r(K)=0,48$;

для супесчаных почв: $Y=21,2+0,04N+0,02P+0,03K$; $r(N)=0,86$; $r(P)=0,72$; $r(K)=0,79$, где N – доза азота (единичная 30 кг/га), P – доза P_2O_5 ($1P=30$ кг/га), K – доза K_2O ($1K=30$ кг/га).

Минеральные удобрения существенно влияют на содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе ячменя. Резуль-

таты химического анализа основной и побочной продукции ячменя показали, что с возрастанием доз минеральных удобрений количество азота в зерне повышалось с 1,93 до 2,25% на среднесуглинистых почвах, с 2,05 до 2,35 – на легкосуглинистых и с 2,54 до 2,83% – на супесчаных.

Один из основных показателей качества зерна – содержание белка. Максимальное влияние на белковость зерна ячменя оказали азотные удобрения. При повышении доз азотных удобрений до 90-120 кг д.в./га количество белка в зерне возросло на 1-2 % по сравнению с контролем, достигая 16,6% на супесчаных, 13,7 – на легкосуглинистых и 13,1% – на среднесуглинистых почвах. Во влажные годы белковость зерна ниже, чем в засушливые. Содержание фосфора в зерне было более стабильным и изменялось с 0,69% P_2O_5 без удобрений до 0,78% при $N_{60}P_{150}K_{60}$ на среднесуглинистых почвах, с 0,64 до 0,73% – на легкосуглинистых с 0,58 до 0,60% – на супесчаных.

Установлены значительные колебания содержания азота в зерне и соломе и калия в соломе ячменя в зависимости от метеорологических условий. В годы с количеством осадков выше среднееголетних содержание азота и калия в зерне и соломе снижалось особенно сильно.

Определенное влияние на показатели качества зерна и соломы оказал гранулометрический состав почвы. Так, на супесчаных почвах отмечалось более высокое содержание азота и калия в зерне, калия в соломе и самое низкое количество фосфора в зерне. Белковость зерна на супесчаных почвах была на 2-5% выше, чем на суглинистых почвах, однако выход белка с 1 га больше на легкосуглинистых почвах. Наиболее низкое количество азота в зерне и калия в зерне и соломе отмечалось на среднесуглинистых почвах.

Вынос питательных веществ ячменем зависел от урожайности зерна и соломы, от содержания азота, фосфора и калия в основной и побочной продукции и был самым высоким на легкосуглинистых почвах.

Однако обобщающим показателем выноса питательных веществ урожаем из почвы является потребление элементов питания на формирование 1 т зерна с соответствующим количеством соломы. Установлено (табл. 2), что наибольшее количество азота на формирование 1 т зерна расходовалось на супесчаных почвах, вынос составил 34,7-40,7 кг, в то время как на легкосуглинистых почвах на формирование 1 т урожая использовалось 30,9-36,5 кг, а на среднесуглинистых почвах 29,3-33,9 кг азота. Наименьший расход фосфора на формирование урожая отмечен на супесчаных почвах (7,5-8,5 кг/т) по сравнению с легкосуглинистыми (8,3-9,7 кг/т) и среднесуглинистыми (9,3-10,8 кг/т) почвами. Калия больше всего потреблялось ячменем на супесчаных почвах – 27,2-31,2 кг/т, в то время как на легкосуглинистых – 24,0-28,1 и на среднесуглинистых – 18,9-23,1 кг/т.

2. Влияние удобрений на вынос азота, фосфора и калия урожаем ячменя и коэффициенты использования их из удобрений

Вариант опыта	Среднесуглинистые почвы						Легкосуглинистые почвы						Супесчаные почвы					
	вынос на 1 т зерна*			коэффициент использования, %			вынос на 1 т зерна*			коэффициент использования, %			вынос на 1 т зерна*			коэффициент использования, %		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Контроль	29,9	9,3	18,9	-	-	-	30,9	8,4	24,0	-	-	-	34,8	7,6	29,2	-	-	-
$N_{60}P_{90}$	31,2	10,3	20,4	42,5	10,4	-	33,6	9,1	25,3	51,2	9,0	-	37,4	8,2	27,8	25,0	3,9	-
$N_{60}K_{60}$	31,1	9,7	21,5	41,0	-	34,0	35,4	8,3	24,0	37,3	-	11,8	35,8	7,5	27,2	21,2	-	5,7
$P_{90}K_{60}$	29,3	10,1	21,7	-	4,6	17,8	32,0	8,6	24,9	-	2,9	13,2	34,7	8,0	29,0	-	2,3	6,0
$N_{30}P_{90}K_{60}$	30,5	10,3	21,6	86,0	11,2	37,5	31,9	8,8	25,3	80,3	7,8	34,3	38,5	7,8	31,2	80,3	4,1	29,2
$N_{60}P_{90}K_{60}$	31,4	10,4	21,8	61,8	14,8	48,8	33,8	8,9	26,1	65,3	10,6	49,7	37,7	8,2	28,4	51,2	7,6	27,8
$N_{90}P_{90}K_{60}$	33,2	10,4	22,1	43,9	13,7	46,7	36,5	9,2	25,8	56,6	12,4	50,2	39,3	8,3	27,3	40,0	8,0	23,5
$N_{120}P_{90}K_{60}$	33,9	10,4	22,0	34,6	13,7	46,5	33,9	9,1	26,5	33,0	11,6	52,5	40,7	8,5	27,5	31,7	8,2	22,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	31,4	10,1	22,0	55,3	19,0	45,5	33,9	9,0	26,1	54,7	13,7	41,3	35,7	8,0	27,1	34,7	8,7	16,2
$N_{60}P_{120}K_{60}$	30,4	10,6	22,0	53,5	11,0	47,7	32,7	9,4	25,0	54,8	9,0	40,2	38,2	8,0	27,6	46,2	4,3	18,5
$N_{60}P_{150}K_{60}$	30,9	10,8	22,2	58,5	9,6	50,5	33,5	9,7	25,3	58,2	7,8	41,2	36,6	8,0	26,3	40,2	3,6	13,7
$N_{60}P_{90}K_{30}$	30,6	10,0	21,5	53,0	12,7	88,3	32,9	9,0	22,6	51,7	9,7	46,7	35,7	8,0	25,2	38,0	6,2	19,3
$N_{60}P_{90}K_{90}$	30,9	10,1	22,8	70,7	16,4	41,2	33,0	9,1	27,6	53,3	10,1	35,2	36,9	8,0	29,4	48,7	7,0	22,2
$N_{60}P_{90}K_{120}$	31,2	10,2	23,1	69,0	15,9	30,7	32,5	9,2	28,1	51,0	10,7	28,2	37,7	7,7	30,0	50,7	5,8	17,5

*С учетом соответствующего количества побочной продукции.

Расчет коэффициентов использования (КИ) азота, фосфора и калия из удобрений, произведенный разностным методом, показал, что они изменяются в широких пределах в зависимости от доз и соотношений элементов питания. Самые низкие коэффициенты использования питательных веществ из удобрений на вариантах с парным их сочетанием, с увеличением доз внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений коэффициенты использования их из удобрений снижались. Так, если при внесении N_{30} на фоне $P_{90}K_{60}$ коэффициент использования азота из минеральных удобрений составлял 80,3-86,0%, то при внесении N_{120} – 31,7-34,6%, КИ фосфора на среднесуглинистых почвах изменялся на фоне $N_{60}K_{60}$ с 19% при дозе P_{60} до 9,6% при дозе P_{150} . КИ калия из удобрений на фоне $N_{60}P_{90}$ уменьшался с 88,3% при дозе K_{30} до 30,7% при дозе K_{120} .

Использование элементов питания из удобрений было различным на почвах разного гранулометрического состава. Наиболее низкие коэффициенты использования питательных веществ из удобрений отмечены на супесчаных почвах. Здесь на оптимальном варианте ($N_{60}P_{90}K_{60}$) коэффициенты использования азота составляли 51,2%, фосфора – 7,6, калия – 27,8%. На легкосуглинистых почвах на варианте $N_{60}P_{90}K_{60}$ использовалось 65,3% азота, фосфора – 10,6, калия – 49,7%, а на среднесуглинистых, соответственно, 61,8; 14,8 и 48,8%. В целом на среднесуглинистых почвах получены самые высокие коэффициенты использования азота, фосфора и калия из минеральных удобрений.

Выводы. Результаты исследований показали, что на дерново-слабоподзолистых почвах республики Марий Эл, характеризующихся повышенным содержанием подвижного фосфора и средним подвижного калия и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды оптимальными дозами минеральных удобрений на посевах ячменя являются на среднесуглинистых почвах $N_{60}P_{90}K_{90}$, на легкосуглинистых $N_{60-90}P_{90}K_{60}$ и на супесчаных $N_{60}P_{90}K_{60-90}$. При использовании удобрений в этих дозах отмечена более высокая урожайность зерна ячменя, выше окупаемость 1 кг NPK и коэффициент использования питательных веществ из минеральных удобрений.

Литература

1. Державин Л.М. Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве // Агрохимия. - 2007. - №12. - С. 3-17.
2. Минеев В.Г., Ивлев М.М., Аникст Д.М. Удобрение зерновых культур. - М.: Россельхозиздат, 1980. - 160 с.
3. Никитишен В.И., Личко В.И. Формирование продуктивности агроэкосистем при применении минеральных удобрений и действии климатических факторов в условиях ополей Центральной России // Агрохимия. - 2008. - №12. - С. 20-28.
4. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почвы, климат, удобрение, урожай. - М.: Агропромиздат, 1987. - 510 с.
5. Завалин А.А., Пасынков А.В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. - М.: ВНИИА, 2007. - 208 с.
6. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. - М.: ЦИНАО, 2003. - 228 с.
7. Шафран С.А., Прошкин В.А. Прогноз содержания фосфора и калия в почве Центральных районов Нечерноземной зоны. - М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2006. - 40 с.

BARLEY PRODUCTIVITY AT THE USE OF MINERAL FERTILIZERS ON SODDY-SLIGHTLY PODZOLIC SOILS

N.S. Almetov¹, L.S. Chernova², A.A. Zavalin²

¹Mari State University, pl. Lenina 1, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424001 Russia,

²Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

The effect of the application rates and proportions of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on the yield and quality of barley grain was assessed depending on the particle-size distribution of soils. It was found that at the growing of barley on soddy-slightly podzolic soils of the Republic of Mari El with an increased content of P_2O_5 , a medium content of K_2O , and a near-neutral $pH_{КСБ}$ the most efficient application rates of mineral fertilizers were as follows: $N_{60}P_{90}K_{60}$ for medium loamy soils, $N_{60-90}P_{90}K_{60}$ for sandy loamy soils, and $N_{60}P_{90}K_{60-90}$ for loamy sandy soils. These fertilizer rates gave the highest barley yield, the best grain quality, the highest return of 1 kg NPK, and the highest coefficient of utilization of fertilizer nutrients.

Keywords: fertilizers, crop yield, return, quality, coefficient of utilization of fertilizer nutrients, soil, particle-size distribution.