

УДК 631.85:631.445.24:631.821.1:631.559.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВЫХ И ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.)
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ
(ПО ДАННЫМ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ)**

Николай Алексеевич Кирпичников¹, Сергей Петрович Бижан²

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 31 а*

¹ – д. с-х. н., гл.н.с.

² – ст. н. с.; e-mail: bighan1@yandex.ru

*В длительных полевых опытах на слабокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве показано положительное влияние фосфорных и известковых удобрений на урожайность сена клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) сорта ВИК-7 и количество фиксированного азота. Отмечена относительно высокая устойчивость данного сорта к слабой обеспеченности почвы подвижными фосфатами, повышенной кислотности и содержанию подвижного алюминия.*

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, подвижный фосфор, фосфорные удобрения, известь, урожайность.

Клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) занимает в нашей стране ведущее место среди многолетних бобовых трав как по посевным площадям и урожайности, так и по качеству кормов. В Центральной зоне Нечерноземья условия для возделывания этой культуры благоприятные, урожайность сена достигает 10 т/га и выше [1]. При высокой азотфиксирующей способности растений он является хорошим предшественником многих сельскохозяйственных культур; одним из важнейших факторов биологизации и экологизации земледелия в современных агроландшафтах.

Клевер луговой, как известно, по своей реакции на кислотность почвы относится к чувствительным культурам [2–4]. Считается, что при значениях pH_{KCl} 4,0–5,0 клевер плохо растет, образует мало клубеньков и не способен к активной азотфиксации [5, 6]. Одной из главных причин отрицательного действия почвенной кислотности на растения клевера является высокая концентрация подвижных форм алюминия в почве (100–170 мг/кг и выше), при которой они угнетаются, особенно в начальный период роста [7–9]. Систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений может приводить к сильному снижению уровня pH и повышению содержания подвижных форм алюминия. Действие извести на продуктивность клевера в данном случае значительное. В настоящее время, при резком сокращении темпов известкования, вероятность повышения содержания подвижного алюминия в дерново-подзолистых почвах очень высока, что в частности создает неблагоприятные условия для возделывания клевера лугового.

Низкая продуктивность клевера лугового может быть также связана с недостаточной обеспеченностью почвы подвижными фосфатами. Некоторыми исследователями [10, 11] рекомендовано выращивать клевер луговой на дерново-подзолистых почвах с содержанием подвижного фосфора не менее 80–120 мг P_2O_5 /кг. Кроме того, как показали наши исследования, урожайность клевера лугового зависит не только от уровня кислотности и содержания подвижного фосфора, но и от взаимодействия этих факторов, а также от биологических особенностей сорта.

Цель исследований – изучить действие и взаимодействие известковых и фосфорных удобрений на урожайность клевера лугового сорта ВИК-7 (селекция Всероссийского НИИ кормов) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой слабокультуренной почве, содержание азота в растениях и определить уровень азотфиксации.

Методика. Исследования проводили в двух длительных полевых опытах, заложенных в 1966 и 1972 гг. на Центральной опытной станции ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова. Почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая слабокультуренная: гумус (по Тюрину) 1,56–1,67%; pH_{KCl} 3,9–4,4; сумма обменных оснований 8,2–9,5; гидролитическая кислотность 4,4–5,0; обменная – 0,55–0,57 ммоль экв/100 г; содержание подвижного алюминия (по Соколову) 45–54 мг/кг; содержание подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) 29–70 и 112–115 мг/кг, соответственно.

В первом опыте (СШ-9) создавали фоновые участки с различными уровнями подвиж-

1. Влияние последствия фосфорных удобрений и известкования на урожайность сена клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) сорта ВИК-7 и количество фиксированного растениями азота при различных уровнях подвижного фосфора и кислотности почвы в длительном опыте СШ-9 (данные за 1995–2005 гг.)

| Уровень подвижного фосфора в почве, мг P ₂ O ₅ /кг | Доза фосфорного удобрения кг P ₂ O ₅ /га * | Содержание подвижного фосфора в почве мг P ₂ O ₅ /кг | Урожайность сена клевера, ц/га | Содержание азота в сене клевера, % | Содержание фиксированного азота в сене клевера, кг/га |
|--|--|--|--------------------------------|------------------------------------|---|
| Без извести (рН _{КCl} 4,2; 49,5 мг Al/кг почвы) | | | | | |
| 22–24 | 0 | 20 | 96 | 2,36 | 169 |
| | 100 | 38 | 117 | 2,41 | 211 |
| | 200 | 45 | 123 | 2,40 | 221 |
| 55–60 | 0 | 48 | 111 | 2,41 | 200 |
| | 100 | 59 | 113 | 2,48 | 213 |
| | 200 | 80 | 120 | 2,51 | 226 |
| 90–105 | 0 | 88 | 122 | 2,50 | 229 |
| | 100 | 110 | 127 | 2,54 | 239 |
| | 200 | 125 | 126 | 2,55 | 239 |
| Известь из расчета 1,5 г.к. (рН _{КCl} 5,5; 8,1 мг Al/кг почвы) | | | | | |
| 22–25 | 0 | 22 | 115 | 2,46 | 212 |
| | 100 | 52 | 137 | 2,50 | 257 |
| | 200 | 60 | 135 | 2,57 | 250 |
| 55–63 | 0 | 48 | 120 | 2,50 | 225 |
| | 100 | 64 | 130 | 2,53 | 244 |
| | 200 | 85 | 132 | 2,56 | 252 |
| 90–112 | 0 | 97 | 127 | 2,51 | 238 |
| | 100 | 113 | 132 | 2,58 | 253 |
| | 200 | 138 | 135 | 2,60 | 258 |
| <i>HCP</i> _{0,05} | | | 10,7–13,0 | | |

* Фосфорные удобрения применяли под предшествующую культуру (ячмень) на общем фоне внесения НК удобрений.

ного фосфора в почве путем внесения разных доз суперфосфата в течении 6 лет на известкованной и известкованной почвах. Затем на созданных фосфатных фонах изучали эффективность фосфорных удобрений, внесенных в 1982–2005 гг. Известкование проводили в 1971 г. (за 1 год до внесения фосфорных удобрений).

Во втором опыте (СШ-27) изучали эффективность форм фосфорных удобрений (суперфосфата и фосфоритной муки) на фонах известкования 1,5; 2,5 и 3,0 г.к. (известь вносили в первые три ротации: 1966–1982 гг.). Общее число опыто-лет в опытах СШ-9 и СШ-27 было равно шести.

В обоих опытах применялся севооборот со следующим чередованием культур: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), ячмень (*Hordeum vulgare* L.) + клевер (*Trifolium pratense* L.), клевер двух лет пользования. Опыты заложены на двух полях севооборота.

В качестве общего фона (НК) вносили аммиачную селитру и хлористый калий, под клевер азот-

ные удобрения не применяли. Анализы почвы и растений проводили согласно ГОСТам [10]. Количество фиксированного азота определяли по выносу азота урожаем клевера с использованием коэффициента 0,75 [11]. При выращивании клевера лугового применялась технология, принятая в Московской области. При статистической обработке данных использовали дисперсионный анализ [12].

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что клевер луговой сорта ВИК-7 в благоприятные годы за два укоса обеспечивал относительно высокую урожайность сена на сильнокислой почве с низким содержанием подвижного фосфора. В условиях первого опыта (СШ-9) при рН_{КCl} 4,2 и содержании подвижного алюминия в почве 49,5 мг/кг и подвижного фосфора 22 мг P₂O₅/кг на фоне НК она составила 96 ц/га сена (табл. 1).

С внесением извести в дозе по 1,5 г.к., когда уровень рН_{КCl} значительно повысился (до 5,5), а содержание подвижного алюминия в почве

2. Влияние фосфорных и известковых удобрений на урожайность сена клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) сорта ВИК-7 и количество фиксированного растениями азота в опыте СШ-27 (данные за 2006–2016 гг.)

| Вариант | pH _{ксл} | Содержание подвижного Al, мг/кг | Урожайность сена клевера, ц/га | Прибавка от P ₂ O ₅ , % | Прибавка от извести, % | Содержание азота в сене клевера, % | Содержание фиксированного азота в сене клевера, кг/га |
|----------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|------------------------|------------------------------------|---|
| Без удобрений | 4,0 | 60 | 70,4 | – | – | 2,51 | 133 |
| NK – фон | 3,9 | 126 | 75,3 | – | – | 2,56 | 145 |
| NK+Pс | 4,0 | 118 | 84,8 | 12,6 | – | 2,71 | 172 |
| NK+известь 1,5 г.к. | 4,7 | 34 | 84,9 | – | 12,8 | 2,65 | 169 |
| NK+известь 1,5 г.к.+Pс | 4,8 | 32 | 98,1 | 15,6 | 15,9 | 2,74 | 199 |
| NK+известь 3,0 г.к. | 5,3 | 10 | 90,9 | – | 20,7 | 2,72 | 184 |
| NK+известь 3,0 г.к.+Pс | 5,4 | 7 | 100,0 | 10,0 | 18,0 | 2,75 | 206 |
| <i>HCP</i> _{0,05} | | | 9,2–11,0 | | | | |

снизилось в 6 раз (до 8,1 мг/кг), урожайность сена клевера увеличилась в 1,3 раза (на 20%). При среднем и тем более повышенном (около 100 мг/кг) содержании подвижного фосфора известкование было не эффективным. Этот факт подтверждает ранее установленную роль фосфора в ослаблении отрицательного влияния кислотности на растения. Фосфорные удобрения, внесенные под предшествующую культуру, обеспечили достоверные прибавки урожайности при очень низком содержании подвижного фосфора (22–25 мг P₂O₅/кг), как на неизвесткованной, так и на известкованной почвах. При более высоких уровнях фосфатов в почве внесенные фосфорные удобрения не приводили к существенному росту урожайности. Уровень подвижных фосфатов в почве оказал большее действие на урожайность клевера в вариантах без внесения извести – прибавка урожайности здесь достигала 28%. На известкованной почве с увеличением содержания фосфатов с 22–25 до 90–112 мг P₂O₅/кг достигнутое повышение урожайности (на 10,4%) было статистически недостоверно. Корреляционный анализ данных показал, что на неизвесткованной почве связь урожайности клевера с содержанием подвижного фосфора была сильной ($r = 0,78$), а на известкованной – значительно слабее ($r = 0,55$).

Содержание общего азота в растениях клевера всех вариантов было достаточно высоким (2,4–2,6%), при этом оно несколько возрастало в вариантах последствия фосфорных удобрений в дозе 200 кг/га. Эти результаты свидетельствуют о симбиотическом усвоении азота атмосферы клевером во всех вариантах опыта. Интенсивность азотфиксации, определяемая ацетиленовым методом в фазе бутонизации, как показали наши исследования [13] была относительно высокой, и в варианте без внесения фосфора состав-

ляла около 9 мг N/m² в сутки на сильнокислой (неизвесткованной) почве, а на известкованной 11,40–11,72 мг N/m² в сутки. Максимальная интенсивность азотфиксации (12,47 мг N/m² в сутки), а также наибольшая урожайность клевера (135 ц/га) была получена на известкованной почве при низком содержании подвижного фосфора. Уровень азотфиксации в этом варианте опыта при внесении фосфора под предшественник, составил 257 кг N/га, что выше на 33%, чем на фоне НК.

В другом полевом опыте (СШ-27) при более длительном (50 лет) применении физиологически кислых удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия (фон НК) содержание подвижного алюминия в почве по сравнению с первым опытом было существенно выше – до 126 мг/кг (табл. 2).

Урожайность клевера лугового на фоне НК была относительно высокой (75,3 ц/га) и мало отличалась от контроля без удобрений. Известкование даже небольшой дозой 1,5 г.к. (вносимой за первые три ротации) существенно снизило содержание подвижного алюминия в почве (с 126 до 34 мг/кг), что обеспечило значительную достоверную прибавку урожайности. Дальнейшее снижение содержания подвижного алюминия до 10 мг/кг за счет внесения высокой дозы извести (3,0 г.к.), обеспечило более высокую прибавку урожайности сена клевера в данном опыте, составившую 30%, в то время как в опыте СШ-9 она достигала 16% при том же уровне содержания подвижного алюминия в известкованной почве. Лучший эффект от известкования во втором опыте (СШ-27) связан со снижением урожая в контрольном варианте НК из-за повышенного содержания подвижного алюминия. Положительное действие фосфорных удобрений проявлялось в вариантах

НК и НК+известь 1,5 г.к.: прибавки урожайности составили 12 и 15% соответственно. В вариантах с известкованием большой дозой извести (3,0 г.к.) урожайность повышалась при применении фосфорных удобрений, но достоверная прибавка не была получена. Корреляционная зависимость между урожайностью клевера и содержанием подвижного алюминия в почве была обратной ($r = -0,64$) и несущественной (рассчитанное фактическое значение $t_r = 1,88$ было меньше критического значения $t_{0,05} = 2,57$).

Содержание общего азота в растениях клевера в условиях данного опыта повышалось не только при внесении фосфорных удобрений, но и при известковании, особенно большой дозой. Количество азота, фиксированного растениями клевера, было наибольшим в вариантах с внесением фосфорных удобрений на фоне известкования. По сравнению с вариантом НК его количество повышалось до 50% и достигало 206 кг/га, при этом значение pH_{KCl} почвы было 4,8 и 5,4, а содержание подвижного алюминия 32 и 7 мг/кг. Относительно высокая урожайность клевера лугового на сильно-кислой почве в варианте НК опыта СШ-27, при высоком содержании подвижного алюминия и при низком содержании подвижного фосфора, очевидно, связана с толерантностью клубеньковых бактерий клевера лугового сорта ВИК-7 к повышенной концентрации подвижного алюминия в почве. Устойчивость клубеньковых бактерий к кислой почвенной среде была показана в частности в работе F. Thornton, C. Davey [14], которые выявили большое количество толерантных к высокой кислотности и подвижному алюминию штаммов клубеньковых бактерий.

Фосфорное питание растений клевера, как и других бобовых культур, в определенной степени удовлетворялось за счет труднорастворимых фосфатов почвы благодаря микоризообразованию клубеньков, что было показано в работах Муромцева с соавторами [15]. Однако это не означает, что для выращивания клевера лугового на дерново-подзолистых слабокультуренных почвах нет необходимости в известковании и внесении фосфорных удобрений. При оптимальном их сочетании достигается относительно высокая урожайность сена 100–130 ц/га.

Заключение. Многолетние исследования в длительных полевых опытах показали, что клевер луговой сорта ВИК-7 без внесения азотных удобрений в благоприятные годы обеспечивает достаточно высокую урожайность (около 90 ц/га сена) на дерново-подзолистой суглинистой почве с повышенной кислотностью и низкой обеспеченностью подвижными фосфатами. Количество фиксированного азота воздуха при этом достигало 169 кг/га. Объясняется это прежде всего устойчи-

чивостью данного генотипа (сорта) клевера (*Trifolium pratense* L.) к токсичному действию подвижного алюминия, содержание которого может значительно возрасть (с 45 до 126 мг/кг) при систематическом применении физиологически кислых азотных и калийных удобрений. Установленный факт возможного получения относительно высокой продуктивности клевера сорта ВИК-7, свидетельствует о необходимости усиливать микробиологические исследования по отбору толерантных и активных штаммов клубеньковых бактерий, а также симбиотических микоризных грибов в условиях кислых дерново-подзолистых почв. Это позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, исключив внесение технического азота в посевах клевера лугового, что очень важно в современном биологическом земледелии. К тому же, клевер данного сорта, как и многие бобовые культуры, обладает повышенной способностью использовать труднодоступные для растений фосфаты почвы в условиях низкого содержания подвижного фосфора. Это не означает отказа от применения известковых и фосфорных удобрений при выращивании клевера. Максимальная урожайность сена клевера сорта ВИК-7 (130 ц/га) и уровень азотфиксации (250 кг/га) достигались систематическим применением фосфорных удобрений в зернотравяном севообороте в дозах 40–50 кг P_2O_5 /га, когда уровень содержания подвижных фосфатов составлял 60 мг P_2O_5 /кг, а pH_{KCl} 5,3–5,5. В этих условиях количество фиксированного азота увеличивалось на 42% по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений.

Литература:

1. Лошаков В.Г. Зеленые удобрения в земледелии России. – М.: ВНИИА. – 2015. – 300 с.
2. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. – М.: Сельхозиздат, 1963. – Т.1 – С. 125–128.
3. Кедров-Зихман О.К. Из результатов работ лаборатории известкования почв ВИУА. – 1961. – Вып. 38. – С. 7–28.
4. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. – СПб.: ЛНИИСХ, 2005. – С. 90–118.
5. Вавилов П.П., Посытанов Г.С. Бобовые культуры и проблема растительного белка. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 256 с.
6. Авдонин Н.С. Алюминий в дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 1971. – № 7. – С. 94–103.
7. Гомонова Н.Ф. Влияние 30-летнего применения удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы // Химия в сельском хозяйстве. – 1984. – № 1. – С. 8–11.
8. Сдобникова О.В. Фосфорные удобрения и урожай. – М.: Агропромиздат, 1985. – 109 с.

9. Посыпанов Г.С., Трепачев Е.П., Чернов Б.А. Рекомендации по повышению симбиотической фиксации азота воздуха и белковой продуктивности бобовых трав в Нечерноземной зоне. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 37 с.
10. Трепачев Е.П. О понятии «вынос азота» для бобовых культур // Агрохимия. – 1979. – № 1. – С. 21–26.
11. Практикум по агрохимии [под ред. В.Г. Минеева]. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
12. Доспехов Б.А. Методика опытного дела / М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
13. Кирпичников Н.А. Оптимизация фосфатного режима дерново-подзолистой почвы при сочетании фосфорных и известковых удобрений // Дисс. д-ра с.-х. наук. – М.: – 1989 – 47 с.
14. Thornton F. Davey C. Acid tolerance of *Rhizobium trifolii* in culture media // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1983. – V. 47. – № 3. – P. 496.
15. Муромцев Г.С., Сдобникова О.В. Урожай вики и поступление фосфора в растения при инфицировании эндомикоризными грибами // Сельскохозяйственная биология. – 1986. – № 10. – С. 52–56.

Kirpichnikov N.A., Bijan S.P.

**THE EFFECTIVENESS OF LIME AND PHOSPHATE FERTILIZERS
IN THE CULTIVATION OF RED CLOVER (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.)
ON SODDY-PODZOLIC LOAMY SOIL (IN THE LONG FIELD EXPERIMENTS)**

*In long-term field experiments on weakly cultivated soddy-podzolic loamy soil the positive effect of phosphorus and lime fertilizers on the yield of clover hay (*Trifolium pratense* L.) of the VIC-7 variety and the amount of fixed nitrogen is shown. The relatively high resistance of this variety to low content of mobile phosphates, increased acidity and content of mobile aluminum is noted.*

Keywords: *soddy-podzolic soil, phosphorus fertilizers, lime, yield.*