

УДК 633.321: [631.811.1+631.67

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ, СИМБИОТИЧЕСКАЯ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО 2-ГО ГОДА ЖИЗНИ ПРИ ВНЕСЕНИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОРОШЕНИИ

Г. С. ПОСЫПАНОВ, Т. В. ВОРОНКОВА
(Кафедра растениеводства)

Из многолетних бобовых трав наибольшее распространение в нашей стране имеет клевер луговой, одна кормовая единица которого содержит в 1,5 раза больше переваримого белка, чем требуется по зоотехническим нормам.

Как бобовая культура клевер способен использовать азот воздуха за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями. В Нечерноземье — основной зоне клеверосеяния — условия для симбиоза часто бывают неблагоприятными, растения испытывают азотное голодание. Это является одной из основных причин низких урожаев клевера. По данным А. И. Оляшева [3], в среднем по стране продуктивность клеверного поля не превышает 20—25 ц сена с 1 га. Для повышения урожайности в хозяйствах нередко проводят весенние и поукосные подкормки минеральным азотом. Однако ряд исследователей [4—8] указывают на то, что азотные удобрения угнетают бобоворизобияльный симбиоз и снижают количество фиксированного азота воздуха. В то же время в научной литературе нет сведений о влиянии минерального азота и орошения на формирование и активность симбиотического аппарата клевера лугового в полевых условиях, недостаточно изучено влияние весенних и поукосных подкормок минеральным азотом на урожай и его качество. Эти вопросы мы изучали в полевых опытах в течение четырех лет.

Условия и методика

Работу проводили на Опытной станции полеводства и льноводства Тимирязевской академии в 1978—1980 гг. с клевером луговым раннеспелым сорта ВИК-7 2-го года жизни. Почва опытных участков среднеподзоленная среднесуглинистая. Содержание гумуса 2 %, легкогидролизуемого азота — около 5 мг на 100 г почвы, обеспеченность фосфором высокая, калием — средняя, $pH_{сол}$ 6,0—6,4.

Метеорологические условия в годы проведения исследований существенно разли-

чались. Вегетационный период 1978 г. был прохладным с достаточным количеством осадков при крайне неравномерном их распределении. Влажность почвы в пахотном слое в конце июня — в первой половине июля опускалась до 30 % ППВ. Значительно падала она и в начале и в конце августа. Орошение позволило поддерживать влажность почвы на оптимальном уровне — не ниже 70 % ППВ. Поливная норма составила 900 м³/га.

В мае — июне 1979 г. стояла жаркая

и сухая погода. Влажность почвы в пахотном слое в июне опускалась до 32—20 % ППВ. Июль был прохладным и влажным. Август и сентябрь отличались умеренными температурами при незначительном количестве осадков в августе и обилием их в сентябре. 1980 год был дождливым и холодным, влажность почвы не опускалась ниже 70 % ППВ.

Агротехника в опытах общепринятая для зоны. Нормы удобрений рассчитывали на урожай сена клевера 80 ц/га с учетом коэффициентов использования элементов минерального питания из почвы и удобрений. Были созданы условия, благоприятные для бобоворизобияльного симбиоза: оптимальная реакция почвы, достаточная обеспеченность фосфором, калием, микроэлементами (В, Мо). Семена перед посевом обрабатывали клубеньковыми бактериями активного штамма 31а и 345 производства Института бактериальных препаратов.

В опыт включены 5 вариантов. В варианте 1 азот не вносили (условно N_0), растения потребляли его только из почвы и воздуха. В вариантах 2 и 3 ($N_{1/3}$ и $N_{2/3}$) изучалась возможность сочетания симбиотрофного и автотрофного типов питания азотом. В варианте 4 (N_1) растения обеспечивались минеральным азотом почвы и удобрений и, следовательно, симбиоз должен быть в значительной мере или полностью подавлен. В варианте 5 (N_1 др)

вносился азот в том же количестве, что и в предыдущем, но малыми дозами с тем, чтобы меньше угнетать симбиотическую деятельность.

В вариантах 2—4 45 % нормы азота вносили в весеннюю подкормку, 30 и 25 % — соответственно после I и II укосов. В варианте 5 полная норма азота (170 кг/га в 1978 г. и 164 кг/га — в 1979—1980 гг.) дробилась на 7 подкормок. В год посева азотные удобрения не применяли. Эффективность орошения определяли на фоне трех вариантов удобрения: N_0 , $N_{1/3}$ и N_1 .

Повторность в опыте 4-кратная, размещение вариантов рендомизированное, учетная площадь делянки — 50 м².

Влажность почвы в течение вегетации определяли через каждые 10 дней. Для химического и биометрического анализов брали 40 растений с варианта. Растения с корнями выкапывали на глубину пахотного слоя на расстоянии 10—12 см от стебля, учитывали количество и массу клубеньков, рассчитывали общий (ОСП) и активный (АСП) симбиотические потенциалы, определяли высоту растений, площадь листьев на приборе ААМ-5, накопление сухой надземной массы, рассчитывали фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза. Методики общепринятые. Математическую обработку урожайных данных проводили методом дисперсионного анализа.

Результаты исследований

У клевера лугового размеры симбиотического аппарата зависели от влагообеспеченности. При умеренном и достаточном увлажнении в 1978 и 1980 гг. наибольшее количество и масса клубеньков на корнях растений отмечались в фазу бутонизации к I укосу (табл. 1).

Т а б л и ц а 1
Масса клубеньков клевера лугового (кг/га)

Фаза развития	1978		1979		1980	
	N_0	N_1	N_0	N_1	N_0	N_1
I укос						
Стеблевание	163	134	195	79	226	164
Бутонизация	182	111	164	64	283	251
II укос						
Стеблевание	$\frac{82}{116}$	$\frac{76}{73}$	76	35	202	145
Бутонизация	$\frac{66}{107}$	$\frac{59}{65}$	113	41	234	180
Отава						
Отрастание	$\frac{99}{79}$	$\frac{42}{53}$	118	39	—	—
Стеблевание	$\frac{76}{148}$	$\frac{39}{49}$	125	42	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3, 5—7 в числителе — без полива, в знаменателе — с поливом.

Симбиотический потенциал клевера лугового (кг·дней/га) 1978—1980 гг.

Период	1978		1979		1980	
	N ₀	N ₁	N ₀	N ₁	N ₀	N ₁
За I укос	9 490	7 327	6 754	3857	12 333	9 438
За II укос	4 316	3 480	4 799	2413	11 817	8 706
	<u>5 655</u>	<u>3 496</u>				
За отаву	3 245	1 699	3 585	1210	—	—
	<u>3 985</u>	<u>2 066</u>				
За вегетацию	17 051	12 506	15 138	7480	24 150	18 144
	<u>19 130</u>	<u>12 889</u>				

После скашивания надземной массы размер симбиотического аппарата уменьшался, вероятно, вследствие прекращения поступления углеводов в корневую систему, а затем вновь увеличивался к следующему укосу. Подобные результаты получены и в опытах с люцерной [11].

В засушливом 1979 г. количество клубеньков в первую половину вегетации не изменялось, а масса их в фазу стеблевания к I укосу увеличивалась в 1,6 раза. При дальнейшем снижении влажности пахотного слоя до 20 % ППВ количество их уменьшилось вдвое, а масса — втрое. Улучшение влагообеспеченности в период формирования II укоса привело к увеличению симбиотического аппарата клевера в 2 раза.

Орошение в условиях умеренного увлажнения способствовало повышению количества и массы клубеньков в 1,5—2,0 раза.

Азотные удобрения во все годы опытов угнетали симбиоз, и тем сильнее, чем выше была их норма. Особенно сильное действие они оказывали на количество и массу клубеньков с леггемоглобином.

Обеспеченность влагой и минеральным азотом значительно влияли на общий и активный симбиотические потенциалы (табл. 2). Во влажном 1980 г. ОСП составлял 24 тыс. ед., в засушливом 1979 г. — 15, в умеренно влажном 1978 г. — 17 тыс. ед. Орошение способствовало увеличению ОСП на 2,1 тыс. ед. Азотные удобрения в варианте N_{1/3} (около 60 N) приводили к уменьшению ОСП в 1,1—1,8 раза, а N₁ (170 N) — в 1,2—3,0 раза. При недостатке влаги ОСП снижался еще более существенно.

Т а б л и ц а 3

Фотосинтетическая деятельность клевера лугового

Варианты	Площадь листьев, тыс. м ² /га			ФСР, тыс. м ² ·сут/га		ЧПФ, г/м ² ·сут
	I укос	II укос	отава	за поливной период	за вегетационный период	
1978 г.						
N ₀	53,7	38,6	32,8	1532	2290	5,3
		<u>57,7</u>	<u>45,0</u>	<u>1426</u>	<u>2584</u>	<u>5,1</u>
N _{1/3}	52,8	43,8	32,5	1147	2275	5,4
		<u>55,7</u>	<u>51,5</u>	<u>1515</u>	<u>2643</u>	<u>5,3</u>
N ₁	54,1	37,8	34,8	1133	2254	5,3
		<u>65,9</u>	<u>50,0</u>	<u>1549</u>	<u>2670</u>	<u>5,1</u>
1979 г., без полива						
N ₀	25,2	46,5	34,5	—	1864	5,3
N _{1/3}	23,2	40,6	37,6	—	1830	5,3
N ₁	21,9	42,9	36,3	—	1772	5,2

Накопление сухой надземной массы клевера лугового (ц/га)
в зависимости от удобрения и условий увлажнения

Варианты	Бутонизация		Стеблование, отава	За полевой период	За вегетационный период
	I укос	II укос			
1978 г.					
N_0	—	36,8	23,4	60,2	109,2
	49,0	44,6	27,1	71,7	120,7
$N_{1/3}$	—	38,3	22,8	61,1	110,1
	49,0	47,8	32,7	80,5	129,5
N_1	—	34,5	25,0	52,5	103,3
	43,8	50,5	30,1	80,6	124,4
1979 г., без полива					
N_0	30,4	34,7	19,3	—	84,4
$N_{1/3}$	30,5	30,6	21,8	—	82,9
N_1	26,2	32,3	20,7	—	79,2

Отрицательное влияние азотных удобрений сильнее сказывалось на активном симбиотическом потенциале (АСП). В варианте $N_{1/3}$ он был в 2—5 раз, а в варианте N_1 — в 14—20 раз меньше, чем в контроле (5 тыс. ед.).

При внесении полной нормы азота в 7 приемов его отрицательное действие на ОСП было несколько меньше, а на АСП — значительно слабее, чем при использовании этой нормы в 3 подкормки.

Известно, что размер урожая зависит от площади листьев и продуктивности их работы. Площадь листьев посева клевера лугового 2-го года жизни при благоприятных условиях может достичь 80 тыс. м²/га [1, 2].

В наших исследованиях в 1978 г. при естественном увлажнении листовая поверхность в фазу бутонизации к I укосу составляла 53—61 тыс. м²/га, ко II укосу — 38—44 тыс., в отаве — 33—35 тыс. м²/га (табл. 3). Орошение в период формирования II укоса и отавы увеличивало площадь листьев в 1,5 раза. В 1979 г. при остром недостатке влаги в мае — июне в фазу бутонизации к I укосу она была в 2,5 раза меньше, чем в соответствующий период в 1978 г. Благодаря обильным дождям, прошедшим в июле, листовая поверхность в фазу бутонизации ко II укосу достигала 41—47 тыс. м²/га.

Фотосинтетический потенциал за вегетацию в среднем по опыту при естественном увлажнении составлял в 1978 г. 2273 тыс. м²·сут/га, в 1979 г. — 1835. Орошение увеличивало ФСП в 1,3 раза.

Чистая продуктивность фотосинтеза за вегетацию в годы проведения исследований находилась в пределах 5,0—5,4 г/м²·сут.

Нормы и дробность внесения азотных удобрений практически не влияли на размеры ассимиляционной поверхности, уровень фотосинтетического потенциала и чистую продуктивность фотосинтеза, а также накопление сухой надземной массы. В связи с этим из табл. 4 исключены варианты $N_{2/3}$ и $N_{1 \text{ др}}$, так как они практически не отличались соответственно от вариантов $N_{1/3}$ и N_1 . Накопление сухой массы в значительной мере определялось условиями увлажнения (табл. 4). Так, в год с достаточным количеством осадков, но неравномерным их распределением (1978) сбор сухой надземной массы при орошении увеличился в 1,3 раза.

Эффективность полива возрастала по мере роста и развития растений. Например, в фазы бутонизации и стеблования в отаву сухая масса

Урожай сена клевера лугового (ц/га)

Период	N_0	$N_{1/3}$	$N_{2/3}$	N_1	N_1 др	В среднем по опыту	$\frac{s_x^2}{F} < F_{05}$, ц/га,
1978 г.							
I укос	52,9	49,7	—	51,4	—	51,3	2,72
	50,9	49,7	53,0	49,4	50,6	50,7	2,70
II укос	39,6	41,4	—	42,6	—	41,2	1,88
	56,8	62,0	61,9	59,6	59,2	59,9	2,38
Отава	18,9	20,2	—	20,5	—	19,9	1,02
	22,1	26,4	28,9	26,5	25,7	25,9	1,68
За поливной период	58,5	61,6	—	63,1	—	61,1	—
	78,9	88,4	90,8	86,1	84,9	85,8	3,44
За вегетационный период	111	111	—	114	—	112	4,57
	130	138	144	135	135	136	3,73
1979 г.							
I укос	29,3	28,4	26,3	27,1	25,2	27,3	1,48
II укос	30,8	31,1	31,9	31,7	32,9	31,7	1,58
Отава	16,0	17,7	17,5	17,3	16,7	17,0	0,70
За вегетационный период	76	77	76	76	75	76	2,93
1980 г.							
I укос	93,0	95,4	91,4	95,3	96,5	94,1	5,98
II укос	62,5	68,6	61,5	69,0	63,6	65,1	2,80
За вегетационный период	156	164	153	164	160	159	5,81

НСР₀₅ для полива: II укос — 4,7 ц/га, отава — 2,4, за поливной период — 6,2 ц/га.

растений при естественном увлажнении была в 1,3 раза меньше, чем при орошении. В 1979 г. при остром недостатке влаги накопление сухой надземной массы в фазу бутонизации к I укосу снизилось в 1,8 раза, а в целом за вегетационный период — в 1,3 раза по сравнению с 1978 г.

При благоприятных условиях вегетации наибольшее накопление сухой надземной массы отмечалось в I укос. Во II укос и отаву она составляла соответственно 74 и 48 % массы I укоса.

В I укос формировался и наибольший урожай сена (табл. 5). В 1978 г. при естественном увлажнении урожай сена I укоса был выше, чем урожай II укоса и отавы, в 1,2 и 2,6 раза, а в вариантах с поливом II укос в среднем по опыту на 9,2 ц/га превысил I укос. В 1980 г. в I укос собрали сена в 1,3 раза больше, чем во II. В этот год вследствие холодной дождливой погоды отава не дала урожая.

Условия увлажнения оказали существенное влияние на урожай сена. В 1980 г. количество выпавших осадков за период формирования I и II укосов было в 1,8 раза больше средних многолетних. В этом году за 2 укоса получен высокий урожай сена — 159 ц/га. В 1978 г. при достаточном годовом количестве осадков (311 мм против 300 мм по норме) при естественном увлажнении собрали 112 ц сена с 1 га.

Недостаток влаги в мае — июне 1979 г. отрицательно сказался на продуктивности травостоя. Она была в 1,5 раза меньше по сравнению с 1978 г. и более чем в 2 раза меньше по сравнению с 1980 г.

Орошение даже в год с достаточным количеством осадков, но при неравномерном их распределении в течение вегетационного периода способствовало повышению сбора сена с 1 га в 1,4 раза.

Таблица 6

Биохимический состав надземной массы клевера лугового (% на сухое вещество)

Укосы	Вариант	Сырой белок	Жир	Клетчатка	БЭВ	Зола
1978 г.						
I	N ₀	17,2	3,9	23,6	48,3	7,0
	N ₁	17,8	3,6	21,8	49,7	7,1
II	N ₀	17,6	4,0	24,6	47,2	6,6
		17,4	3,3	25,8	46,9	6,6
	N ₁	17,3	3,6	22,9	49,2	7,0
		16,4	2,9	27,2	46,7	6,8
Отава	N ₀	20,6	4,3	18,1	48,9	8,1
		23,5	3,8	20,0	45,3	7,4
	N ₁	21,1	4,2	18,0	48,9	7,8
		22,9	4,2	20,4	44,6	7,9
1979 г.						
I	N ₀	15,5	3,3	21,6	52,1	7,5
	N ₁	15,6	3,2	21,5	52,1	7,6
II	N ₀	19,8	3,2	26,1	41,1	9,8
	N ₁	19,2	3,3	26,9	40,5	10,1
Отава	N ₀	22,6	4,2	21,2	40,5	11,5
	N ₁	22,7	4,2	20,5	41,4	11,2

Азотные удобрения не дали достоверной прибавки урожая ни в один год исследований независимо от условий увлажнения.

В опытах, проведенных в Чехословакии [12] на легких почвах (рН_{сол} 6,0—7,5, содержание гумуса — 2,5%), азотные удобрения в нормах 60—90 кг/га также практически не влияли на урожайность клевера лугового в 1-й год пользования как при орошении, так и без него.

При достаточной обеспеченности фосфором, калием, микроэлементами, оптимальной реакции почвенного раствора, инокуляции активной расой клубеньковых бактерий сбор сена клевера 2-го года жизни без внесения азотных удобрений при орошении в 1978 г. составил 130, а при естественном увлажнении в этом же году — 111 ц/га, в 1979 г. — 76, в 1980 г. — 156 ц/га.

Имеются данные [9, 10], что без внесения удобрений было получено за один укос в расчете на 1 га более 170 ц сена клевера лугового 2-го года жизни.

Результаты наших опытов также говорят о том, что в Нечерноземной зоне при благоприятных условиях бобоворизобиального симбиоза можно получать высокие урожаи сена клевера лугового за счет азота, фиксированного из воздуха и усвоенного из почвы.

Таблица 7

Сбор сырого белка (ц/га) с урожаем клевера лугового, 1978—1979 гг.

Годы	N ₀	N _{1/3}	N _{2/3}	N ₁	N _{1 др}
1978	16,6	16,7	—	17,3	—
	19,8	21,8	22,7	20,4	20,4
в т. ч. за поливной период	9,0	9,4	—	9,7	—
	12,5	14,2	14,7	13,1	12,9
1979	11,8	11,7	12,0	11,8	11,8
	14,2	14,2	—	14,6	—

Внесение азотных удобрений не приводило к изменению содержания сырого белка, жира, клетчатки, золы и БЭВ в зеленой массе клевера лугового (табл. 6). При орошении содержание сырого белка в сухом веществе увеличивалось почти на 3%, содержание клетчатки — на 2%. При недостатке влаги концентрация сырого белка была на 1,7—2,9% меньше, чем при оптимальном увлажнении. Содержание жира и золы от условий увлажнения практически не зависело. Некоторые различия в концентрации БЭВ по укосам обусловлены изменениями в содержании сырого белка и золы.

Сбор белка с 1 га посева клевера лугового практически не зависел от норм и кратности внесения азотных удобрений (табл. 7). В варианте без азота от составил 11,8—16,6, при внесении полной нормы — 11,8—17,3 ц/га.

Орошение способствовало повышению сбора белка на 30%.

Расчет экономической эффективности изучаемых приемов показал, что применение орошения даже в условиях умеренного увлажнения увеличивает чистый доход с 1 га посева клевера лугового на 68 руб.

Заключение

При благоприятных условиях симбиоза (почва достаточно обеспечена фосфором, калием, микроэлементами и влагой, $pH_{\text{сол}}$ 6,0—6,4) у клевера лугового формируется высокий симбиотический потенциал (24,2 тыс. кг·сут/га), за счет которого сбор сена достигает 156 ц/га.

Недостаток влаги приводит к снижению симбиотического потенциала и урожая сена в 2 раза. В условиях умеренного увлажнения орошение способствовало увеличению этих показателей соответственно на 2,1 тыс. ед. и 20 ц/га.

Азотные удобрения, внесенные весной и поукосно, угнетали симбиоз тем сильнее, чем выше их норма. Применение 60 N снижало симбиотический потенциал в 1,1—1,8 раза, а до 170 N — в 1,2—3,0 раза. Внесение полной нормы азота в 7 приемов его подавляло меньше. Отрицательное влияние азотных удобрений на симбиоз сильнее проявлялось при недостатке влаги.

Минеральный азот независимо от норм и кратности применения не влиял на показатели фотосинтетической деятельности посева и урожайность клевера лугового, а также содержание сырого белка, клетчатки, жира, безазотистых экстрактивных веществ, золы в надземной массе клевера лугового. Сбор белка в варианте без азота составил 11,8—16,6, а с полной нормой — 11,8—17,3 ц/га.

В условиях недостатка влаги содержание белка в сухом веществе надземной массы было на 1,7—2,9% меньше, чем при оптимальном увлажнении.

При благоприятных условиях симбиоза азотные подкормки клевера лугового весной и поукосно нецелесообразны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотова Е. С. Ассимиляционная поверхность и чистая продуктивность фотосинтеза клевера красного. — В сб.: Физиол.-биохим. основы продуктивности клевера красного на Севере. — Тр. Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1978, № 37, с. 63—74. — 2. Душечкин В. И. Урожайность и показатели фотосинтеза посевов красного клевера в условиях интенсивной культуры. — В кн.: Материалы республик. конф. по физиол. и биохим. растений. Таллин, 1972, с. 9—11. — 3. Ежакова О. Ф. Всесоюзная научно-производ. конф. по клеверу. — Кормопроизводство, 1981, № 3, с. 38—39. — 4. Мишустин Е. Н., Шильникова

ва В. К. Биологическая фиксация атмосферного азота. М.: Наука, 1968. — 5. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. М.: Наука, 1973. — 6. Посыпанов Г. С. Об условиях бобоворизобиального симбиоза и его роли в формировании урожая бобовых культур. — Изв. ТСХА, 1972, вып. 3, с. 28—37. — 7. Посыпанов Г. С., Чернова В. И., Кашин М. А. Формирование симбиотического аппарата и содержание леггемоглобина в клубеньках люцерны. — Сб. науч. тр. ТСХА. М., 1977, вып. 234, с. 25—31. — 8. Трепачев Е. П. Вопросы интенсификации накопления биологического

азота. — В сб.: Биолог. азот в земледелии Нечерноземной зоны СССР. Науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1970, с. 5—27. — 9. Трепачев Е. П., Атрашкова Н. А., Хабарова А. И. Использование бобовыми азота удобрений и его влияние на симбиотическую азотфиксацию и урожай бобовых культур. — В сб.: Применение стабильного изотопа ^{15}N в исследованиях по земледелию. Науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1973, с. 237—245. — 10. Трепачев Е. П., Човжик А. Д., Спивак З. К. Исследование действия возраста-

ющих доз минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав и последующих культур севооборота на дерново-подзолистой почве. Сообщ. 1-е. Реакция многолетних бобовых трав и их смесей со злаками на возрастающие дозы азотных удобрений. — Агрохимия, 1980, № 10, с. 72—83. — 11. Чернова В. И. Урожай и качество се-на люцерны в зависимости от условий выращивания в Коми АССР. — Автореф. канд. дис. М., 1979. — 12. Rostl. Vyroba, 1976, r. 22, s. 4, s. 399—415.

Статья поступила 15 марта 1982 г.

SUMMARY

The article describes the results of field experiment with meadow clover on medium loam soil in the Moscow region.

It was found that the the higher is the rate of nitrogen, the more nitrogen fertilizers impede legume-rhizobial symbiosis. Negative effect of mineral nitrogen is higher with moisture deficiency than with optimum moisture content. Under favourable symbiotic conditions due to nitrogen fixed from the air and soil nit rogen one can receive more than 100 centners per hectare of meadow clover hay, and under irrigation (up to 130 centners per hectare. Spring and post-harvest dressing with nitrogen fertilizers at the rates of as much as 170 kg of nitrogen per hectare do not change the photosynthetic activity of the crop, do not increase yield nor quality.