

УДК 633.367.3:[631.811.1.033+581.08.132

## НАКОПЛЕНИЕ АЗОТА И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЮПИНА БЕЛОГО В ПРОЦЕССЕ ВЕГЕТАЦИИ

Г. Г. ГАТАУЛИНА

(Кафедра растениеводства)

Многолетние опыты с люпином белым скороспелого биотипа проводились на экспериментальной базе учхоза им. Калинина Тимирязевской академии на выщелоченном черноземе средней мощности. Выделены 4 периода вегетации: I — всходы — начало цветения; II — цветение и образование бобов; III — рост бобов; IV — налив семян. Интенсивность поглощения азота во II и в III периоды в 3 раза больше, чем до цветения. За это время накапливается около 70 % азота общего его накопления. По данным регрессионного анализа, накопление азота во II и в III периоды тесно связано с уровнем фотосинтетического потенциала (ФП) во II период. К концу вегетации 80—90 % накопленного азота сосредоточивается в семенах.

Орошение в среднем на 30 % увеличивало ФП, биомассу, накопление азота и урожайность. Избыточное увлажнение вызывало чрезмерный вегетативный рост в течение II периода, при этом накопление азота и биомассы увеличилось в 2 раза, однако урожай семян снизился на 20 % по сравнению с контролем без орошения. Фосфорно-калийные удобрения не оказали положительного влияния на фотосинтетическую деятельность, накопление азота и урожайность люпина белого. Под влиянием минерального азота в высоких дозах (150 и 300 кг/га) резко снижалась масса клубеньков и на 10—20 % уменьшился урожай семян.

Азотному питанию зерновых бобовых культур посвящено много работ, в которых рассматриваются различные его аспекты, в частности, динамика накопления и перераспределения азота в органах растений; факторы, влияющие на азотфиксацию [5—12, 14, 15]. Однако до сих пор неясно, как оптимизировать

азотное питание зерновых бобовых культур с целью получения высокого урожая и дешевого растительного белка.

Люпин белый — одна из самых высокобелковых зернобобовых культур. В семенах его содержится 38—40 % белка, по качеству не уступающего белку сои. Современные сорта

этой культуры значительно урожайнее сои (3—5 т семян на 1 га) и могут возделываться в более суровых условиях [2, 3, 8, 10, 13].

При выращивании люпина белого важно знать, сколько требуется азота для формирования высокого урожая в различные периоды вегетации, какие факторы лимитируют азотфиксацию. Несомненно взаимовлияние фотосинтеза растений и азотфиксирующей способности клубеньков [14, 15]. Вместе с тем взаимозависимость фотосинтеза посева как ценоза и накопления азота у белого люпина не рассматривалась.

Цель нашей работы — определить уровень и изменчивость накопления азота посевом люпина белого в отдельные последовательные этапы вегетации и установить их связь с элементами фотосинтетической деятельности и с формированием плодов и семян.

### Методика

Полевые опыты с люпином белым скороспелого биотипа (сорта Киевский мутант, Белый 7) проводились в Тамбовской области на экспериментальной базе учхоза им. Калинина ТСХА Тимирязевской академии. Почвы — выщелоченный чернозем средней мощности,  $pH_{\text{сол}}$  6,0—6,5.

Применяли широкорядный способ посева с густотой стояния 500 тыс. растений на 1 га и ранний срок сева.

Растительные пробы отбирались через каждые 10 дней в течение вегетации в 4 повторениях. В опытах использовали методики, описанные ранее [2, 3]. Содержание азота в растительных пробах определяли по Кьельдалю. Взаимосвязи между различными показателями развития посева устанавливали с помощью корреляционного и регрессионного анализов.

Влияние орошения и минераль-

ных удобрений на формирование урожая и накопления азота люпином белым изучалось в трехлетнем полевом эксперименте аспирантом белым изучалось в трехлетнем полевом эксперименте аспирантом К. Д. Айтбаевым под нашим руководством. В опыте использовали районированный с 1984 г. в Тамбовской области скороспелый сорт Старт. Симбиотический потенциал рассчитывали по Посыпанову [4]. Содержание подвижных форм фосфора в почве по Чирикову — 9,6—10,0, обменного калия по Масловой — 18—20 мг/100 г. Более подробно условия и методика проведения опыта даются при обсуждении его результатов.

### Результаты

Ранее было показано [2, 3], что посев люпина как фотосинтезирующая система функционирует от всходов до начала созревания. За это время проходит 4 периода развития растений. В I период — от всходов до начала цветения (34—37 дней) — происходит рост главного побега и листьев на нем; во II период (20—26 дней) — цветение и образование бобов и одновременно рост вегетативных органов (боковых побегов), ассимиляционная поверхность увеличивается высокими темпами и к концу периода становится максимальной; в III период (18—22 дня) идет рост плодов, при этом к концу периода они достигают наибольших размеров и массы, а урожай зеленой массы — максимального уровня, в IV период (22—24 дня) проходит налив семян, сухая масса которых к концу периода становится максимальной. В скобках указана продолжительность периодов, причем наименьшее ее значение относится к сорту Старт, наибольшее — к сорту Киевский мутант.

В табл. 1 представлены резуль-

таты изучения накопления азота и фотосинтетической деятельности посева по периодам развития.

Для сортов с умеренным ветвлением, к которым относится Киевский мутант, за 13 лет вынос азота с урожаем биомассы 85 ц/га, в том числе семян 31 ц/га, был равен 225 кг. По данным зарубежных исследователей, значение этого показателя составляет 250 кг/га (США) [8, 13], более 200 кг/га (Франция) [2, 10], 345 кг/га для сорта Мультилоупа и 286 кг/га для сорта Ультра (США, Калифорния) [13].

Отметим, что в наших опытах коэффициент вариации (V) накопления азота довольно высокий — 35%. Он отражает влияние погодных условий. В благоприятные годы (4 года) среднее накопление азота за вегетацию составило 303 кг/га при  $V=12\%$ , а в годы с недостат-

ком влаги (6 лет) — всего 155 кг/га,  $V=25\%$ .

В литературе отсутствуют сведения о потребности азота по периодам вегетации, хотя и имеются данные о динамике метаболизма азота [7, 9, 12, 14, 15]. Наши исследования свидетельствуют о неравномерности потребления азота растениями в течение вегетации. До цветения оно равно 15—18% к максимальному. В период цветения, образования и роста плодов, продолжительность которого почти та же, что и первого, посев накапливал 65—70% общего количества азота и интенсивность накопления была в 3—3,5 раза выше, чем до цветения (табл. 1). Столь высокая интенсивность должна быть поддержана соответствующей фотосинтетической деятельностью посева, хорошим состоянием симбиотического

Т а б л и ц а 1  
Накопление азота и элементы фотосинтетической деятельности посева люпина белого (среднее за 13 лет)

Показатель	Период				
	I	II	III	IV	I—IV
<b>Фотосинтетический потенциал,</b> тыс. м <sup>2</sup> · дн/га:					
$\bar{X}$	213	750	682	435	2080
$S_{\bar{X}}$	11	32	50	57	109
V, %	37	31	49	53	45
<b>Чистая продуктивность фотосинтеза,</b> г/м <sup>2</sup> · сут:					
$\bar{X}$	6,6	4,0	3,8	4,0	4,5
$S_{\bar{X}}$	0,10	0,08	0,12	0,23	0,06
V %	11	15	23	41	9
<b>Прирост сухой надземной биомассы,</b> кг/га:					
$\bar{X}$	1400	2970	2550	1610	8530
$S_{\bar{X}}$	70	147	185	112	394
V %	36	36	52	50	35
<b>Накопление азота, кг/га:</b>					
$\bar{X}$	38	84	61	39	225
$S_{\bar{X}}$	2,1	3,7	4,2	4,0	10,8
V %	39	32	49	74	35
кг/га · сут, $\bar{X}$	1,03	3,23	3,39	1,62	2,14
г/1 тыс. ед. ФП, $\bar{X}$	178	112	89	89	108
г/100 г биомассы, $\bar{X}$	2,71	2,82	2,39	2,42	2,63

аппарата. По результатам регрессионного анализа, накопление азота в I и во II периоды прямо зависит от размеров ассимиляционной поверхности и фотосинтетического потенциала (ФП).

Рассмотрим накопление азота в I период (Y) в зависимости от ФП (X).

$$Y = 0,2 + 0,18X, \quad (1)$$

$$D = 0,872; R = 0,932; F = 7,7; t = 18,5.$$

В данном уравнении и в последующих в качестве характеристик переменной даны общие, а для аргументов — частные коэффициенты детерминации (D, d) и корреляции (R, r). Надежность уравнения характеризуется критерием Фишера (F), а достоверность коэффициентов регрессии — критерием Стьюдента (t).

Характеристики уравнения (1) показывают, что оно высоко надежно, связь между накоплением азота и ФП до цветения близка к функциональной. Изменчивость в накоплении азота в этот период на 87 % связана с изменением ФП.

Во II периоде также прослеживается четкая зависимость между этими показателями.

$$Y = 7,7 + 1,1X, \quad (2)$$

$$D = 0,794; R = 0,876; F = 4,3; t = 10,8.$$

Изменения в накоплении азота во II период на 79 % определяются изменчивостью ФП в тот же период.

В III период (рост плодов) накопление азота зависит от состояния посева в предшествующий период. Так, если найдем  $Y = f(X_2, X_3)$ , где Y — накопление азота в течение III периода,  $X_2$  и  $X_3$  — ФП II и III периодов, то получим уравнение регрессии:

$$Y = 0,05X_2 + 0,05X_3 - 9,7; \quad (3)$$

$$D = 0,843, d_2 = 0,506, d_3 = 0,337;$$

$$R = 0,915, r_2 = 0,664, r_3 = 0,526;$$

$$F = 6,2, t_2 = 6,2, t_3 = 4,3.$$

Судя по характеристикам уравнения (3), оно весьма надежно (F=6,2). Доля ФП II периода в из-

менении накопления азота в III период составляет 50 % из общих 84 %. Несмотря на одинаковые коэффициенты регрессии, роль ФП II периода более существенна для накопления азота в III периоде.

Зависимость накопления азота в III период (Y), когда происходит рост бобов, от размеров листовой поверхности в конце предыдущего II периода ( $X_2$ ) и в конце III ( $X_3$ ) отражена в уравнении (4), причем площадь листьев в конце II периода ( $X_2$ ) является максимальной за вегетацию  $Y = f(X_2, X_3)$ :

$$Y = 1,9X_2 - 0,2X_3 - 10,6; \quad (4)$$

$$D = 0,756, d_2 = 0,815, d_3 = -0,059;$$

$$R = 0,864, r_2 = 0,651, r_3 = -0,070;$$

$$F = 3,9, t_2 = 6,0, t_3 = -0,50.$$

Полученные данные говорят о несущественности влияния размера листовой поверхности в III периоде на накопление азота, в то время как роль максимальной площади листьев во II периоде ( $X_2$ ) очень велика. Уравнение (4) можно использовать для прогноза накопления азота в III период, зная размер максимальной площади листьев и приняв 0,2X за константу, поскольку это наибольшая и сравнительно мало изменяющаяся величина.

При рассмотрении накопления азота за вегетацию (Y) в зависимости от ФП по периодам  $Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$  выявляется тесная связь переменной Y с уровнем ФП I и II периодов ( $X_1, X_2$ ) и слабая связь с ФП III и IV периодов.

$$Y = 0,28X_1 + 0,72X_2 - 0,09X_3 + 0,15X_4; \quad (5)$$

$$D = 0,930, d_1 = 0,218, d_2 = 0,666,$$

$$d_3 = -0,073, d_4 = 0,119;$$

$$R = 0,961, r_1 = 0,441, r_2 = 0,847,$$

$$r_3 = -0,177, r_4 = 0,243;$$

$$F = 13,2, t_1 = 3,3, t_2 = 10,9, t_3 = -1,2$$

$$t_4 = 1,7.$$

Общие коэффициенты регрессии и детерминации весьма высоки, уравнение надежно (F=13,2). Что

касается коэффициентов регрессии при аргументах (X), то хорошей надежностью характеризуется коэффициент при  $X_1$  ( $t=3,3$ ) и особенно при  $X_2$  ( $t=10,9$ ). Коэффициенты при  $X_3$  и  $X_4$  недостаточно надежны, связь переменной с ФП III и IV периодов слабая, доля их влияния незначительная. Уравнение свидетельствует об очень большом вкладе ФП II периода в общее азотонакопление, в то время как изменение ФП в III и IV периоды мало влияет на него.

Итак, выяснилось, что в отличие от первой половины вегетации в III период накопление азота посевом определяется уже не размером листовой поверхности в этот период, а иным важным фактором развития посева, который определился во II периоде.

В III и IV периоды проявляется четкая зависимость накопления азота (У) от числа сформировавшихся и сохранившихся на единице площади семян (X), что показано соответственно в уравнениях (6) и (7).

$$Y=5,7+0,7X; \quad (6)$$

$$D=0,713, R=0,841, F=3,4, t=11,1.$$

$$Y=0,06X-6,7; \quad (7)$$

$$D=0,517, R=0,712, F=2,0, t=7,3.$$

Отметим, что в IV периоде изменчивость в накоплении азота особенно велика,  $V=74\%$  (табл. 1). В то же время по характеристикам уравнения (7) она в меньшей мере, чем в III периоде, связана с числом семян. Очевидно, это объясняется тем, что во время налива семян (IV период) поглощение растением азота невелико.

Большое значение в указанное время приобретает перераспределение ранее накопленного азота из других органов в семена [14, 15].

Эксперименты дают ответ на вопрос, сколько азота требуется растениям для формирования урожая заданного уровня. В табл. 1 представ-

лен относительный показатель — среднее количество азота в граммах на 100 г сухой биомассы. Он фактически показывает процентное содержание азота в биомассе и одновременно — уровень затрат азота (кг) на формирование 1 ц биомассы.

Из результатов обсуждаемого эксперимента следует, что у белого люпина 80—90% накопленного в биомассе азота к концу вегетации сосредоточивается в семенах. Аналогичные данные получены в условиях Калифорнии [13]: у позднеспелого сорта белого люпина Мультилула при урожае семян 5,7 т/га в них содержалось 80—88% азота, накопленного растением за вегетацию, а у сорта Ультра — 91—92%.

Что касается скороспелого с ограниченным ветвлением сорта Старт, районированного в ряде областей России, то в благоприятных условиях он способен формировать урожай семян 4 т/га. Для получения такого урожая необходимо, чтобы при широкорядном посеве и его густоте 40 растений на  $1\text{ м}^2$  (400 тыс. на 1 га) на каждом из них образовалось 10 бобов и 35—40 семян. При формировании указанного урожая растениями должно быть потреблено в расчете на 1 га 270—300 кг азота, т. е. на 1 растение — 600—700 мг, из них 500—600 мг — в семенах. К концу II периода при достаточно благоприятных условиях посев на 1 га накапливает 120—150 кг азота, т. е. 300—400 мг на 1 растение. Такого количества азота хватит только для формирования 1,7—2,0 т семян. Следовательно, чтобы нормально развились на каждом растении все 10 бобов и 35—40 семян, образовавшихся в конце II периода, необходимо дополнительное поступление в растения такого же количества азота, как и в первой половине вегетации. Если же бобов образовалось меньше, например 5 или 6, то и потребление

лых и высокорослых сортов (табл. 1), а чистая продуктивность фотосинтеза выше. Однако и у скороспелого сорта около 70 % нарастания биомассы и накопления азота приходилось на II и III периоды. Общая продолжительность последних лишь немного больше, чем I периода, в течение которого нарастание биомассы и накопление азота составило только около 20 % от общего за вегетацию.

Данные опыта свидетельствуют, что орошение весьма благоприятно влияло на фотосинтетический потенциал, нарастание биомассы и накопление азота. В среднем за 3 года эти показатели при орошении были на 30 % выше.

Удобрения при поливе и без него

Т а б л и ц а 2

Элементы фотосинтетической деятельности и накопление азота у люпина белого сорта Старт по периодам вегетации (в среднем за 3 года)

Период	Без орошения			С орошением		
	конт-роль	PK	NPK	конт-роль	PK	NPK
I	148	140	146	185	189	190
II	360	385	367	475	646	606
III	514	513	469	848	853	839
IV	267	272	268	344	375	369
I—III	1023	1039	982	1508	1688	1994

Фотосинтетический потенциал,  
тыс. м<sup>2</sup> · дн/га

I	148	140	146	185	189	190
II	360	385	367	475	646	606
III	514	513	469	848	853	839
IV	267	272	268	344	375	369
I—III	1023	1039	982	1508	1688	1994

Чистая продуктивность фотосинтеза,  
г/м<sup>2</sup> · сут

I—III	5,3	5,4	5,5	5,5	5,4	5,1
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Прирост сухой массы, кг/га

I	1100	1000	1000	1400	1400	1400
II	1500	1800	1600	2700	2900	2500
III	2200	1800	2400	2500	2700	2600
IV	900	1000	1300	900	1200	600
I—IV	5700	5600	6300	7500	8200	7100

Накопление азота, кг/га

I	33	31	35	40	40	42
II	45	46	49	79	77	79
III	56	52	52	57	54	51
IV	22	20	27	21	20	15
I—IV	156	152	163	197	191	186

не оказали положительного влияния на фотосинтетическую деятельность посевов и нарастание биомассы.

От количества и массы активных клубеньков зависели фиксации азота и его накопление в урожае.

В табл. 3 приведены данные о нарастании массы клубеньков в 1984 г. В 1985 г. нарастание массы клубеньков шло примерно такими же темпами, как в 1984 г., а в 1986 г. в вариантах без полива оно быстро завершилось, что, очевидно, связано с ускоренным развитием растений.

Т а б л и ц а 3

Изменение массы клубеньков (кг/га) в течение вегетации в 1984 г.

Дата	Без орошения			С орошением		
	конт-роль	PK	NPK	конт-роль	PK	NPK
25/V	8,7	11,9	4,7	15,0	15,2	8,5
6/VI	45	40	30	71	101	59
14/VI	143	109	40	235	218	70
29/VI	73	126	64	208	243	50
11/VII	91	114	20	151	200	74
20/VII	107	78	23	97	154	38
1/VIII	73	118	36	53	94	49

В конце мая у растений, находящихся в фазе 2—3 пар листьев, уже имелись клубеньки — в среднем по 10—14 шт., но в 1984 г. — всего по 5—6 шт. В эту фазу варианты с орошением и без него по количеству клубеньков практически не различались, так как влаги было достаточно и поливы еще не проводились. Однако уже в начальный период развития хорошо заметно, что минеральный азот угнетает развитие клубеньков: они в 1,5—2 раза меньше по размеру и по массе. В вариантах без орошения количество клубеньков в дальнейшем не увеличилось, но масса их быстро нарастала. При орошении, как правило, отмечалось постепенное увеличение ко-

личества клубеньков в первый месяц вегетации.

Во все годы исследования нарастание массы клубеньков проходило до фазы сизых бобов. Наибольшие ее приросты отмечались непосредственно перед цветением и в период цветения — завязывание бобов. В дальнейшем она оставалась на довольно высоком уровне до середины периода налива семян и только к моменту их созревания резко снижалась в связи с отмиранием и усыханием клубеньков.

Максимальная за вегетацию масса клубеньков в расчете на 1 растение и на 1 га посева была примерно одинаковой в разные годы — соответственно 200—250 мг и 110—140 кг/га. Внесение фосфорных и калийных удобрений отдельно и совместно не оказало существенного влияния на массу клубеньков, если не применялось орошение, а при поливах она в этих вариантах была заметно выше, чем в контроле во все годы, кроме 1986 г., особенно во второй половине вегетации, когда масса клубеньков в связи с ускоренным развитием растений оказалась такой же, как в контроле (без полива).

При орошении масса клубеньков нарастала намного быстрее, чем без орошения. Так, в 1984 г. к началу цветения в вариантах без внесения минерального азота она составляла соответственно в среднем 200 и 100—140 кг/га. Этот разрыв еще более увеличивался в последующем. В 1985 г. масса клубеньков при орошении была в 3 раза больше, чем при его отсутствии, хотя в 1986 г. превышение было уже не столь большим — 40—50 %.

В среднем за 3 года общий симбиотический потенциал (ОСП) при орошении оказался в 2 раза выше, чем на неорошаемых участках: соответственно 66 и 128 тыс. ед. (единица ОСП — 1 кг клубеньков, функ-

ционирующих в течение 1 сут на площади 1 га).

Во всех вариантах внесения минерального азота развитие клубеньков угнеталось и в тем большей степени, чем выше была доза азота, а выразилось это угнетение не столько в снижении количества клубеньков, сколько в том, что они были мелкие и часто не содержали леггемоглобина. Внесение даже сравнительно небольшой дозы азота (60 кг/га) вначале существенно уменьшало массу клубеньков, и без орошения эти различия сохранялись в течение всей вегетации. Высокие дозы азота сильно снижали массу клубеньков. Если применялось орошение, то масса клубеньков в вариантах с азотом была значительно выше, чем без орошения — в 1,5—3 раза. Только в 1986 г., когда растения развивались ускоренно, варианты с орошением и без него мало различались по симбиотическому потенциалу.

Таким образом, азотные удобрения оказывают отрицательное влияние на развитие клубеньков, уменьшают их массу и симбиотический потенциал. Однако при благоприятной влажности почвы развитие клубеньков при внесении азота намного лучше, чем при недостатке влаги.

Рассмотрение изменчивости в накоплении азота по периодам в разные годы позволяет высказать и обсудить возможные причины различий.

В начальный период развития растений в почве еще имелся достаточный запас влаги от таяния снега, и первый полив обычно проводился через 20—30 дней после появления всходов, т. е. перед цветением растений, которое начиналось в 1984, 1985 и 1986 гг. на 35, 37 и 31-й день после всходов. Продолжительность вегетации от посева до созревания составила в эти же годы соответственно 124, 126 и

108 дней, продолжительность активной фотосинтетической деятельности от всходов до начала созревания (I—IV периоды) — 102, 105 и 87 дней. В 1984 г. максимальная за вегетацию высота растений в вариантах без орошения — 50 см, а при орошении — 70 см; в 1985 г. — соответственно 55 и 85 см, в 1986 г. из-за засухи и повышенных температур — всего 40 и 50 см.

Резкое ослабление ростовых процессов в 1986 г. определило и низкий ФП посева, который за I период был одинаковым по вариантам с орошением и без него — 90—100 тыс. м<sup>2</sup>·дн/га, но в 2 раза меньше, чем в 1984 г. За II период ФП составил 120—130 тыс. ед. и также из-за ускоренного развития и запоздания с поливом мало различался по вариантам. Но в 1984 г. ФП II периода в вариантах без орошения

был на уровне 400 тыс. ед., а с орошением — в 2—2,2 раза больше.

Ограниченный рост вегетативных органов и малый уровень ФП в 1986 г. обусловили небольшое потребление азота. В течение I и II периодов оно составило всего 40 % к уровню, наблюдаемому в 1984 и 1985 гг., и было одинаковым по вариантам (табл. 4). Вполне понятно, что в указанных условиях на растениях завязалось мало бобов и семян: соответственно 4,2 и 14 (в другие годы по 45—60 семян).

Благодаря проведенному в начале цветения поливу на растениях сформировалось на 20—25 % больше бобов и семян и ФП III периода был почти в 2 раза больше, чем в вариантах без орошения. В результате и поглощение азота в III периоде оказалось на 16—20 кг больше при орошении. Этого повышения не отмечалось при внесении минерального азота, поскольку в данном случае не увеличивалась завязываемость плодов и семян по сравнению с данным показателем в вариантах без орошения (табл. 4).

Опыт 1986 г. поучителен во многих отношениях. Только в этом году неожиданно много азота поступило в растения в течение IV периода. Вспомним, что коэффициент вариации указанного признака по результатам ранее осуществленного анализа очень высок — 74 % (табл. 1). Случаются годы, когда потребление азота в IV период довольно высокое. В 1986 г. интенсивность поглощения азота составила 2 кг/га в сутки, что на 30 % больше, чем в предшествующий период, и в 7—10 раз больше, чем в другие годы. Именно в этом году бобов на растениях сформировалось мало, однако сложились весьма благоприятные условия для налива семян (IV период): теплая погода с достаточным количеством влаги, прекратился рост вегетативных органов, сохра-

Таблица 4  
Накопление азота (кг/га) в отдельные периоды вегетации люпина белого сорта Старт

Период	Без орошения			С орошением		
	контроль	PK	НРК	контроль	PK	НРК
<i>1984 г.</i>						
I	42	40	43	50	50	50
II	52	55	61	64	66	70
III	48	47	41	63	62	60
IV	8	7	23	4	2	4
I—IV	150	149	168	181	180	184
<i>1985 г.</i>						
I	36	30	36	48	46	48
II	68	70	74	156	154	152
III	86	84	86	57	53	59
IV	5	5	7	0	0	0
I—IV	195	189	203	261	253	259
<i>1986 г.</i>						
I	22	24	25	22	24	28
II	16	14	13	16	12	14
III	34	26	29	50	46	33
IV	54	49	50	60	59	40
I—IV	124	117	117	148	141	115



нилась умеренная по размерам поверхность хорошо освещенных листьев, растения не были поражены болезнями и не загнали друг друга. Ранее (см. уравнение 6) мы показали, что именно в IV периоде потребление азота тесно связано с уровнем ЧПФ, который обычно в конце вегетации снижается. Так, в 1984—1985 гг. в IV период ЧПФ составляла около  $2 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$ , а в 1986 г. — уже  $7—10 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$ . Благодаря действию указанных факторов налив семян в 1986 г. шел весьма успешно. Большую роль здесь сыграли не только реутилизация веществ, накопленных ранее в вегетативных органах, и отток их в семена, но и непосредственное использование продуктов фотосинтеза и поглощения азота в течение IV периода. В результате масса 1000 семян оказалась намного больше, чем в 1984 и 1985 гг. (350—380 против 280 и 250 г). Поэтому урожай семян в 1986 г. в вариантах с орошением был выше, чем можно было ожидать по результатам фотосинтетической деятельности посева в I и II периоды. Он составил 2,3 т/га в варианте без удобрений и был на 20 % выше, чем в вариантах без орошения (табл. 5).

Орошение оказывало большое влияние на формирование урожая, но влияние это по разному проявлялось в годы исследований. Наибольшая урожайность была получена в 1984 г. при орошении и в 1985 г. без орошения — 2,9 т/га в

контроле без удобрений (табл. 5). Именно благодаря орошению в 1984 г. сложились благоприятные условия для фотосинтеза в первой половине вегетации; ФП и накопление азота были на 20—25 % выше, чем без орошения. В результате на каждом растении сформировалось по 14—15 бобов, а в вариантах без орошения — 10 бобов. Более высокие ФП и количество завязавшихся бобов обусловили интенсивное накопление азота в III период — 63 против 48 кг/га без орошения. Урожай семян в первом случае был на 20 % выше, чем в последнем.

Такие же благоприятные условия по влагообеспеченности сложились и в 1985 г. В течение месяца (II и частично III период) осадков выпало в 2 раза больше нормы, влажность почвы в пахотном горизонте составила 78 % НВ. По урожайности и общему количеству накопленного азота варианты без орошения в этом году не отличались от вариантов с орошением в 1984 г.

В том и другом годах во всех вариантах накопление азота в течение IV периода было незначительным, сформировавшиеся бобы и семена обеспечивались азотом, накопленным в течение I—III периодов.

Орошение в 1985 г. дало отрицательные результаты, и в этом отношении опыт 1985 г. также весьма поучителен. Дело в том, что после полива, проведенного до цветения,

Таблица 5

Урожай (т/га) семян люпина белого сорта Старт

Год	Без орошения			С орошением			НСР <sub>05</sub>
	контроль	РК	НРК	контроль	РК	НРК	
1984	2,49	2,52	2,35	2,94	2,86	2,47	0,12
1985	2,90	3,01	2,62	2,42	2,52	2,41	0,10
1986	1,74	1,57	1,38	2,30	2,09	1,50	0,16

неожиданно выпало много осадков, что привело к переувлажнению почвы. При влажности почвы 94 % НВ в течение II периода заметно усилились ростовые процессы, появились боковые побеги и быстро нарастала площадь листьев, которая в конце периода достигла 60—64 тыс. м<sup>2</sup>/га и была в 2 раза больше, чем без полива. Такая площадь листьев намного выше оптимальной; листья сильно затеняют друг друга.

Быстрое нарастание площади листьев в течение II периода определило и очень интенсивное накопление азота, в 2 раза превышающее этот показатель в вариантах без полива. Среднесуточное накопление азота составило 5,5—5,6 кг/га. Однако причиной снижения урожая семян явилось нарушение благоприятной структуры посева, когда чрезмерный вегетативный рост шел в ущерб генеративному развитию.

В 1985 г. число бобов, завязавшихся на 1 растении при орошении, было выше, чем без орошения (12—13 против 9—10 шт.). То же относится к числу семян. Однако масса 1000 семян в этом случае была намного ниже, кроме того, значительное количество семян сформировалось на боковых побегах и они были мельче, хуже созревали и труднее обмолачивались при уборке комбайном.

Чрезмерная вегетативная масса не способствовала хорошей аэрации, нормальному росту и развитию плодов. Растения сильнее поражались фузариозом и серой гнилью. В результате урожай семян при орошении оказался ниже, чем в вариантах без орошения (табл. 5).

Многие авторы отмечают тесную связь между фиксацией азота и фотосинтезом [7, 14, 15]. По имеющимся данным [15], большое количество ассимилятов у растений люпина белого (около 50 %) расхо-

дится на дыхание корней и клубеньков. Это, очевидно, связано с высоким уровнем энергетических затрат на фиксацию азота.

Следовательно, при высокой семенной продуктивности растений активность клубеньков и фиксации азота должны быть поддержаны соответствующей фотосинтетической деятельностью. Конкуренция между завязавшимися плодами и растущими вегетативными органами, а также между плодами и клубеньками за ассимиляты может вызывать диспропорции и приводить к снижению урожайности.

Исследования показали, что применение фосфорно-калийных удобрений на черноземных почвах северной части Центрально-Черноземной зоны не влияло существенно на рост, развитие, фотосинтетическую и симбиотическую деятельность люпина белого, а также на урожай семян. Повышенные дозы азота достоверно снижали урожай семян как при орошении, так и без орошения.

### Заключение

В результате многолетних исследований выявлены особенности в накоплении азота у люпина белого по периодам вегетации. Общее поступление азота от всходов до начала созревания изменялось от 150 до 300 кг/га в разные годы и было неравномерным в процессе вегетации.

В развитии посева люпина как фотосинтезирующей системы выделено 4 периода: I — от всходов до начала цветения; II — цветение и образование бобов; III — рост бобов; IV — налив семян. Поглощение азота растениями, как и накопление биомассы, наиболее интенсивно происходит в течение II и III периодов общей продолжительностью 40—48 дней. За это время накопле-

риодам развития.— Изв. ТСХА, 1986, вып. 3, с. 29—46.—4. *Посыпанов Г. С.* Методы изучения симбиотической активности бобовых культур в полевых условиях.— Изв. ТСХА, 1983, вып. 5, с. 17—26.—5. *Трепачев Е. П., Атрашкова Н. А., Човжик А. Д.* Люпин как источник биологического азота в почве.— В сб.: Селекция, семеноводство и приемы возделывания люпина.— Орел, 1974, с. 66—78.—6. *Ягодин Б. А., Вильямс М. В.* Влияние минерального азота на продуктивность и азотфиксацию люпина.— Физиол. раст., 1984, № 31, с. 1136—1142.—7. *Atkins C. A.*— Plant soil, 1987, vol. 100, p. 157—169.—8. *Ayisi K. K., Putnam D. H., Vance C. P., Graham P. H.*— Proceed. of 6th Inte Lupin Conf. Chile, 1990, p. 228—230.—

9. *Chamber M. A. a. Delgado M. J.*— Proceed. of the 4th Intern. Lupin Conf., 1986, p. 309.—10. *Duthion C., Amarger N.*— Agronomie, 1989, № 9, p. 37—48.—11. *Evans J., Turner G. L., O'Connor G. E. a. Bergersen F. J.*— Field Crops Research, 1987, vol. 16, p. 309—322.—12. *Evans J., O'Connor G. E., Turner G. L. a. Bergersen F. J.*— Field Crops Research, 1987, vol. 17, p. 109—120.—13. *Larson K. J., Cassman K. G., Phillips D. A.*— Agr. J., 1989, vol. 8, p. 538—543.—14. *Pate J. S., Layzell D. B., Atkins C. A.*— Plant Physiol., 1979, vol. 64, p. 1083.—15. *Pate J. S.*— In: The Pea Crop. A basis for Improvement / Ed. by Hebblethwaite P. D. et al., 1985, p. 279—296.

Статья поступила 20 января 1992 г.

#### SUMMARY

The periods of yield formation are determined: I — seedlings—first flowering; II — flowering and formation of beans; III — growth of pods; IV — filling of seeds. Intensiveness of nitrogen consumption during II and III periods is 3 times higher than before flowering. In this period about 70 % of nitrogen consumed during vegetation is accumulated. It is shown by means of regression analysis that accumulation of nitrogen during all these periods is closely connected with photosynthetic potential (PhP) value of the II period. By the end of vegetation 80—90 % of nitrogen accumulated by plants is concentrated in seed, that is why nitrogen accumulation depends on the number of pod set on plants.

Irrigation favoured the average increase by 30 % in PhP; biomass, nitrogen accumulation and seed yield. Excessive moistening resulted in too intensive vegetative growth during flowering and bean formation. As a result nitrogen accumulation and biomass increased twofold, but the yield of seed decreased by 20 % as compared with control (without irrigation). Phosphate-potassium fertilizers did not produce beneficial effect on photosynthetic activity, nitrogen accumulation and yield of white lupine. High doses of mineral nitrogen (150 and 300 kg/ha) resulted in sharp decrease in nodule weight and in decrease in seed yield by 10—20 %.