

УДК 633.32:631.461.5:631.4

ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ ПОСЕВОВ КЛЕВЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АГРОРУД МОРСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.Т. ФАРИННЕВ, М.В. ГЕРАСИМЕНКО

(Горский государственный аграрный институт)

В полевых опытах на выщелоченных черноземах РСО-Алания оценивали эффективность использования традиционных и нетрадиционных удобрений, их сочетания с тем, чтобы установить оптимальные условия повышения интенсивности симбиотической азотфиксации и урожая клевера лугового.

Во многих сельскохозяйственных предприятиях РСО-Алания посевы клевера приобретают все большее значение в организации кормовой базы животноводства. В связи с этим возрастает роль всех агротехнических приемов, способствующих улучшению условий роста и развития клевера, что в конечном счете позволит обеспечить не только рост урожайности, но и повышение плодородия почв. Показательно, что в передовых странах мира предпринимаются значительные усилия в разработке способов обеспечения растений преимущественно биологическим азотом. При этом большое внимание уделяется посевам клевера и различным приемам, повышающим интенсивность азотфиксации. Активность этого процесса зависит от

многих факторов внешней среды, к которым очень чувствительны клубеньковые бактерии.

К наиболее важным факторам, повышающим эффективность симбиотической азотфиксации бобовыми растениями, прежде всего относится обеспеченность почв элементами минерального питания, в частности, фосфором, калием, бором и молибденом. Известно, что фосфор усиливает развитие бобовых растений и образование клубеньков. Поглощение его растениями возрастает при симбиотрофном типе азотного питания [1, 8]. Калий повышает интенсивность окислительных процессов, увеличивает гидрофильность коллоидов протоплазмы, усиливает образование сахаров в листьях, передвижение их в другие органы растений [4]. Бор

стимулирует формирование проводящей сосудистой системы, катализирует многие ферменты, усиливает образование борносахарных комплексов, которые передвигаются быстрее, чем сахар в чистом виде. Молибден входит в состав ферментов, катализирующих реакции усвоения азота воздуха и азотного обмена в растениях. При недостатке молибдена у бобовых растений возникает конкуренция за него между бактероидами нитратредуктазы и нитрогеназы корней и листьев, что приводит к образованию ослабленного симбиотического аппарата [3].

Недостаток этих элементов в почве восполняется путем внесения необходимых количеств, видов и форм удобрений.

Применяемые в настоящее время удобрения можно подразделить на традиционные и нетрадиционные. К последним относятся, например, крупнотоннажные промышленные отходы, цеолитовые глины, ил, сапропели, вермикомпосты и др. Отмечено положительное влияние крупнотоннажных промышленных отходов, используемых в качестве мелнирирующих средств и удобрений, на плодородие почв и экономические нормативы их применения [9]. В РСО-Алания имеются крупные залежи таких нетрадиционных удобрений, как агроруды морского происхождения (Алагирское и Дигорское ущелья). Однако из-за недостаточной изученности их как источников минерального питания сельскохозяйственных культур они не могут быть широко использованы в растениеводстве.

В связи с этим нами была изучена эффективность применения нетрадиционных удобрений — агроруд ирлита 1 и ирлита 7 — отдельно и в сочетании с традиционными удобрениями в посевах клевера при инокуляции семян и без нее.

Методика

Полевые опыты проводили в 1995—1996 гг. на опытном поле Горского государственного университета. Почвы — выщелоченные черноземы, почвообразующие породы — карбонатные лесовидные суглинки и глины, относящиеся к категории слюдясто-полевошпатовых пород. На разных глубинах почвы подстилаются валунно-галечниковыми полосами слоем до 10 м, что ограничивает доступность растениям грунтовых вод.

В пахотном слое: рН_{сол} 5,8—6,0, содержание P₂O₅ по Чирикову — 11,8 мг, K₂O — 12 мг на 100 г, Mo — 0,25 мг, B — 0,5 мг на 1000 г почвы.

Объектом исследования был местный перспективный сорт клевера лугового Алан селекции СКНИИГПСХ (НПО Горное), выведенный в 1993 г. В соответствующих вариантах семена клевера обрабатывали ризоторфином из расчета 200 г на 1 га.

Известно [7], что оптимальными параметрами обеспеченности почв подвижным фосфором, обменным калием, молибденом и бромом, не лимитирующими действие симбиоза, считается их содержание в почве на уровне соответственно 12—15 и 13—18 мг на 100 г, 0,4 и 1,0 мг на 1000 г почвы.

При постановке опыта соблюдался принцип единственного различия. Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитывали на доведение их содержания в почве до оптимального. Для этого вносили 90Р60К, так как для сдвига содержания фосфора и калия на 1 мг необходимо внести 3 мг P_2O_5 и 2 мг K_2O на 100 г почвы [7]. При основном внесении удобрений в качестве фосфорных использовали суперфосфат простой гранулированный с содержанием 20% действующего вещества и хлористый калий — 60%.

Оптимальные параметры содержания молибдена и бора в почве (соответственно 0,15 и 0,5 мг на 1 кг почвы) достигались путем внесения борной кислоты и обработки семян перед посевом молибденовокислым аммонием.

При посеве вносили агроуроды — ирлит 1 и ирлит 7. Основным достоинством ирлитов с агрономической точки зрения является наличие в них комплекса микроэлементов (Cu, Zn, Mo, B, V, Mn, Fe₂, Fe₃ и др.). Причем содержащееся в 1 т ирлитов количество микроэлементов соответствует выносу их с 1 га сельскохозяйственными культурами. Поэтому доза припосевного внесения ирлитов в рядки составила 1 т/га.

Агроуроды после дополнительной подсушки измельчали до порошковидного состояния. Следует отметить, что после такой обработки они не теряли своих водно-физических свойств; благодаря большой сорбционной способности они легко поглощают воду, что обеспечивает более экономное расходование ее растениями. К

преимуществу ирлитов, имеющих морское происхождение, следует отнести и значительное валовое содержание химических элементов. Так, в расчете на 1 т агроуроды приходится, г:

	Ирлит 1	Ирлит 7	Ирлит 1	Ирлит 7
Cu	60	80	Co	20 10
Zn	60	80	Ni	60 50
Pb	40	30	Mn	1000 500
Ag	0,2	0,1	Ti	3000 3000
Sn	6	5	V	100 150
Mo	2	5	Cr	60 15
Ba	800	600	Li	2000 1000
Sr	3000	200	Be	1 3

По окраске ирлитов (от светло-палевой до теплой и темно-серой) можно визуально определить наличие гуминовых кислот в них. По данным республиканской агрохимической лаборатории РСО-Алания, в них содержится (мг/кг):

	Ирлит 1, рН 7,4	Ирлит 7, рН 3,8
Гумус	0,6%	3,89%
P_2O_5	2950	285
K_2O	2000	836
Ca	13,4	13,6
Mg	6,6	6,6
S_2O_3	252	600

Посев клевера производили в начале июня рядовым способом, норма высева — 14 кг/га.

В опыте было 11 вариантов (см. табл. 1), повторность опыта 4-кратная, площадь делянок 36 м², размещение их рендомизированное.

Оценку эффективности применяемых в опыте приемов проводили по размерам симбиотического аппарата (количеству и массе клубеньков), активному симбиоти-

ческому потенциалу, удельной активности симбиоза — по формулам Г.С. Посыпанова, концентрации хлорофилла — колориметрированием на ФЭК-56 мм этаноловой вытяжки [10].

Результаты

Как видно из табл. 1, влияние нетрадиционных удобрений — агропуд ирлита 1 и ирлита 2, внесен-

ных при посеве, на размеры симбиотического аппарата оказалось равноценным влиянию обработки семян клевера ризоторфином. В вариантах с их применением (варианты 1 и 2) существенно увеличивались количество клубеньков и их средний вес в расчете на растение. Особенно ярко проявилось действие удобрений в фазу бутонизации.

Т а б л и ц а 1

Размеры симбиотического аппарата клевера в разные фазы вегетации

Вариант опыта	Количество клубеньков, шт.			Масса клубеньков					
				на 1 растение, мг			на 1 га, кг		
	ро-зет-ка	вет-вле-ние	буто-низа-ция	ро-зет-ка	вет-вле-ние	буто-низа-ция	ро-зет-ка	вет-вле-ние	буто-низа-ция
1 — контроль — 90Р60К (фон)	40	101	141	14,4	30,6	41,4	38,1	80,9	109,5
2 — ирлит 1	56	113	163	16,2	37,8	52,2	39,9	93,3	128,8
3 — ирлит 7	23	153	196	16,9	40,1	57,1	43,3	102,7	146,2
4 — ризоторфин	53	161	214	15,6	38,3	54,0	34,3	84,3	118,8
5 — фон + ирлит 1	67	190	241	19,8	45	61,2	52,7	119,8	163,0
6 — фон + ирлит 7	38	200	239	25,2	41,4	66,6	49,7	81,6	131,3
7 — 90Р + ризоторфин	89	245	287	30,6	62,3	69,5	61,3	124,7	139,1
8 — фон + ризоторфин	59	237	296	32,9	50,4	72	65,8	100,9	144,1
9 — фон + ризоторфин + Мо, В	58	196	247	24,3	56,8	73,8	48,6	113,7	147,7
10 — фон + ризоторфин + Мо, В + ирлит 1	57	241	287	27	56,5	76,3	82,4	172,3	232,7
11 — фон + ризоторфин + Мо, В + ирлит 7	84	190	261	23,4	51,7	73,3	71,4	157,7	223,5

Лучшие рост и развитие клубеньков бактерий в значительной мере обеспечиваются непосредственно инокуляцией [5]. Этот прием может увеличивать размеры симбиотического аппарата растений за счет количества и массы клубеньков.

Как и следовало ожидать, масса клубеньков на 1 растение не всегда была связана с их количеством, что объясняется различным строением симбиотического аппарата в разных вариантах. Например, при внесении ирлита 1 она составила 29,0 мг при количестве

клубеньков 169 шт., при внесении ирлита 7 — соответственно 31,7 мг — 191 шт., при обработке ризоторфином — 30,0 мг — 241 шт.

Большое влияние на размеры симбиотического аппарата оказывает густота стояния растений. Поэтому для получения более достоверных результатов в вариантах опытов был проведен учет этого параметра (по деланкам). Густота стояния растений значительно колебалась по вариантам. Так, в варианте 1 — 2,645 млн/га; во 2-м — 2,468; 3-м — 2,561; 4-м — 2,200; 5-м — 2,664; 6-м — 1,971; 7-м — 2,002; 8-м — 2,002; 9-м — 2,002; 10-м — 3,05; 11-м — 3,05 млн/га.

По фонам 90Р и 90Р60К положительное действие ризоторфина незначительно превосходило влияние ирлитов (разница несущественна). В то же время эффективность инокуляции существенно повышалась при внесении удобрений, особенно фосфорных и калийных. В этих вариантах активный симбиотический аппарат увеличивался до 139,1 и 144,1 кг клубеньков на 1 га (табл. 1). Указанная разница была явно заметной в фазу ветвления. На наш взгляд, эффективность припосевного внесения ирлитов могла быть и выше, если бы условия лета были менее засушливыми.

Значительнее увеличивались размеры симбиотического аппарата при внесении отмеченных комбинаций удобрений с микроэлементами Мо и В (вариант 9). Следует отметить, что в данном варианте растения в фазу бут-

низации сформировали 147,7 кг клубеньков на 1 га, а дополнительное внесение ирлита 1 и ирлита 7 (варианты 10 и 11) способствовало формированию соответственно 232,7 и 223,5 кг клубеньков.

Интенсивность деятельности diaзотрофных симбионтов клевера на выщелоченных черноземах заметно выявляется при оценке азотфиксации по АСП и УАС, которые, отражая формирование активных клубеньков за определенный период, позволяют рассчитать количество фиксированного азота по фазам развития и за вегетацию (табл. 2). При этом можно наблюдать увеличение АСП как по фазам развития, так и по вариантам опыта: на 26—153% — в межфазный период розетка — ветвление и на 25,5—139% — в период ветвление — бутонизация.

В варианте 7 (90Р + ризоторфин) увеличение содержания фосфора в почве на 1 мг/100 г резко повышало интенсивность формирования азотфиксирующего аппарата (ОСП — 5445 кг · сут/га при 3808 кг · сут/га в контроле). Лучшие результаты получены в вариантах 10 и 11 (фон + ризоторфин + Мо, В + ирлит 1 и то же + ирлит 7) — соответственно ОСП 8112,6 и 7543,6 кг · сут/га. При этом ирлит 1 показал значительную эффективность (ОСП 5622 кг · сут/га) в варианте 5 (фон + ирлит 1), т.е. без инокуляции семян и применения Мо и В.

Современный метод оценки эффективности азотфиксации по

Интенсивность азотфиксации диазотрофных симбионтов клевера
в разные периоды его развития

Вариант опыта	АСП, кг · сут/га		ОСП за вегета- цию, кг · сут/га	Фиксированный при УАС 8 г/кг, кг/га		
	розетка — ветвление, Т1- 16 дн.	ветвление — бутонни- зация, Т2-30 дн.		ветвле- ние	бутонни- зация	за вегета- цию
1 — контроль — 90Р60К (фон)	952,0	2856	3808,0	7,6	22,9	30,5
2 — ирлит 1	1065,6	3338,5	4397,1	8,6	26,6	35,2
3 — ирлит 7	1168,0	3733,5	4901,5	9,4	29,8	39,2
4 — ризоторфин	948,8	3046,5	3995,3	7,6	24,3	31,9
5 — фон + ирлит 1	1380,0	4242	5622,0	11,0	33,9	44,9
6 — » + ирлит 7	1050,4	3193,5	4243,9	8,4	25,5	33,9
7 — 90Р + ризоторфин	1488,0	3937	5445,0	11,9	31,6	43,5
8 — фон + ризоторфин	1333,6	3675	5008,6	10,7	29,4	40,1
9 — фон + ризотор- фин + Мо, В	1298,4	3921	5219,1	10,3	31,4	41,7
10 — фон + ризотор- фин + Мо, В + ирлит 1	2037,6	6075	8112,6	16,3	48,6	64,9
11 — фон + ризотор- фин + Мо, В + ирлит 7	1832,3	5710,5	7543,3	14,6	45,7	60,3

АСП и УАС дает возможность рассчитать количество накапливаемого в почве азота за счет деятельности диазотрофных симбионтов. Так, чистые летние посевы клевера накапливают до 30,5 кг азота на 1 га. Припосевное внесение ирлитов 1 и 7 позволяет увеличить этот показатель соответственно на 4,7 и 8,7 кг/га, а инокуляция — на 1,4 кг/га. Лучшими по накоплению азота в почве оказались варианты 10 и 11 — 64,9 и 60,3 кг/га при 30,5 кг в контроле.

Косвенным критерием оценки эффективности азотфиксации служит концентрация пигментов в листьях. Интенсивность фотосинтеза определяет синтез хими-

ческих соединений клетки, но расположение листьев на различных ярусах растения, неодинаковая продолжительность их жизни затрудняют оценку такого рода процессов.

Анализ ярусов листьев (табл. 3) показал, что они различаются по концентрации пигментов (% к массе сырых листьев и мг на 1 дм² листовой поверхности в фазу цветения).

В фазу цветения интенсивность процессов фиксации заметно снижается, но все же сохраняется положительное влияние применяемых удобрений на концентрацию хлорофилла в растениях: содержание его увеличивается на 8,0—27,6%. Следует отметить более

высокую концентрацию хлорофилла по сравнению с контролем в вариантах 2, 3 и 4 (отдельное применение ирллитов и ризоторфина) — на уровне 4,79—4,67 мг/

дм². Приведенные данные подтверждают отмечаемое ранее [2, 6] положительное влияние микроудобрений на накопление хлорофилла в бобовых растениях.

Т а б л и ц а 3

Содержание хлорофилла в различных ярусах листьев клевера (% к сырой массе листьев — числитель; мг на 1 дм² поверхности — знаменатель)

Вариант опыта	Нижний ярус	Средний ярус	Верхний ярус	В среднем на растении
1 — контроль — 90P60K	<u>0,15</u>	<u>0,181</u>	<u>0,192</u>	<u>3,75</u>
	3,18	4,09	4,03	—
2 — ирллит 1	<u>0,197</u>	<u>0,175</u>	<u>0,219</u>	<u>4,16</u>
	4,18	3,65	4,65	9,7
3 — ирллит 7	<u>0,24</u>	<u>0,170</u>	<u>0,268</u>	<u>4,79</u>
	5,09	3,6	5,69	27,4
4 — ризоторфин	<u>0,197</u>	<u>0,126</u>	<u>0,20</u>	<u>4,67</u>
	4,18	5,6	4,24	24,2
5 — фон + ирллит 1	<u>0,175</u>	<u>0,120</u>	<u>0,240</u>	<u>3,83</u>
	3,71	2,7	5,10	1,8
6 — » + ирллит 7	<u>0,153</u>	<u>0,186</u>	<u>0,235</u>	<u>4,08</u>
	3,25	4,2	4,98	8,05
7 — 90P + ризоторфин	<u>0,162</u>	<u>0,197</u>	<u>0,24</u>	<u>4,34</u>
	3,43	4,47	5,13	15,4
8 — фон + ризоторфин	<u>0,171</u>	<u>0,188</u>	<u>0,235</u>	<u>4,23</u>
	3,63	4,01	4,98	12,5
9 — фон + ризоторфин + Мо, В	<u>0,158</u>	<u>0,199</u>	<u>0,241</u>	<u>4,28</u>
	3,35	4,36	5,15	18,6
10 — фон + ризоторфин + Мо, В + ирллит 1	<u>0,22</u>	<u>0,22</u>	<u>0,23</u>	<u>4,81</u>
	4,67	4,89	4,88	27,9
11 — фон + ризоторфин + Мо, В + ирллит 7	<u>0,197</u>	<u>0,19</u>	<u>0,235</u>	<u>4,49</u>
	4,18	4,03	4,99	17,0

Конкретным результатом, отражающим положительное действие применяемых удобрений и их сочестаний, является продуктивность клевера в опыте, которую мы оценивали по урожайности, сбору сухого вещества и

протенна. Из табл. 4 видно, что увеличения сбора сухого вещества на 10—12% можно достигнуть при внесении ирллитов 1 и 7 отмеченными способами. Существенное повышение этого показателя было получено при соче-

таши ирлитов с внесением фосфорно-калийных удобрений (40,2%) или при сочетании фосфорного и фосфорно-калийных удобрений на фоне инокуляции.

Более значительную прибавку сухого вещества дало совместное применение 90P60K, Mo и B с ирлитом 1 на фоне инокуляции (62,1%).

Т а б л и ц а 4

Показатели продуктивности клевера при применении различных удобрений

Вариант опыта	Сбор сухого вещества		Сбор протенна		Урожайность в среднем за укос	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
1 — контроль — 90P60K	17,4	—	3,03	—	87,2	—
2 — ирлит 1	19,2	10,3	3,47	14,5	90,0	3,21
3 — ирлит 7	19,5	12,1	3,50	15,5	93,3	7,0
4 — ризоторфин	19,4	11,5	3,72	22,8	90,0	3,2
5 — фон + ирлит 1	21,3	22,1	4,49	41,9	96,2	10,3
6 — » + ирлит 7	24,4	40,2	5,34	76,2	108,0	23,8
7 — 90P + ризоторфин	24,5	40,8	4,76	57,1	110,0	27,3
8 — фон + ризоторфин	22,7	30,5	4,87	60,7	108,5	35,9
9 — фон + ризоторфин + Mo, B	22,9	31,6	5,03	66,0	108,2	24,0
10 — фон + ризоторфин + Mo, B + ирлит 1	28,2	62,1	5,94	95,7	131,6	50,9
11 — фон + ризоторфин + Mo, B + ирлит 7	26,9	54,6	5,16	70,3	121,7	32,6
НСР ₀₅	2,7	—	—	—	—	—

Что касается сбора протенна с урожаем, то в вариантах 5 и 6 (ирлиты на фоне 90P60K) он был выше на 41,9—76,2% к контролю, в вариантах 7 и 8 (на фонах 90P и 90P60K) — 57,1—60,7%. Наибольшая биологическая продуктивность была получена в варианте 10 (совместное применение микро- и макроудобрений при инокуляции и применении ирлита 1), где урожай зеленой массы составил 131,6 ц/га, или был на 44,4% больше, чем в контроле, а сбор протенна увеличился на 2,9 ц/га.

Выводы

1. На выщелоченных черноземах РСО-Алания эффективным способом повышения активности diaзотрофных симбионтов клевера является применение фосфорно-калийных удобрений, агроруд — ирлита 1 и ирлита 7, а также бора и молибдена в дозах, доводящих их содержание в почве до оптимального уровня. При этом значительно увеличиваются размеры симбиотического аппарата, количество фиксированного азота (в опыте в среднем за вегетацию 10—34 кг/га).

2. Применение удобрений положительно влияло на концентрацию хлорофилла в листьях клевера, увеличивая его от 8 до 27%, что способствовало повышению интенсивности азотфиксации клубеньковыми бактериями.

3. Положительные изменения в физиологических процессах, происходящие в результате действия удобрений, обеспечивают повышение урожая и его качества. Так, прибавка урожая в вариантах опыта по отношению к контролю составила 35,9—50,9%, а сбор протенна увеличился на 60,7—95,7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулякин И.В., Гукова М.М., Арбузова И.И. Влияние азотного питания на усвоение фосфора бобовыми и небобовыми культурами. — Докл. ТСХА, 1963, вып. 109, с. 113—120. — 2. Журавлев В.А. Автореф. канд. дис. Иваново, 1966. — 3. Львов Н.П. Мо-

либден в ассимиляции азота у растений и микроорганизмов. М.: Наука, 1967. — 4. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: Изд-во МГУ, 1990. — 5. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрения, урожай. М.: Агропромиздат, 1984. — 6. Пейве Я.В., Жизневская Г., Крауя А.Я. Физиолог. раст., 1961, № 8, вып. 4. — 7. Посытанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. — 8. Посытанов Г.С., Князева Л.Д. К методике определения количества симбиотически фиксированного азота. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 6, с. 41—46. — 9. Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Нетрадиционные мелиорирующие средства и органические удобрения. — Почвоведение, 1996, № 4, с. 517—532. — 10. Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990, с. 88—90.

Статья поступила 18 сентября
1997 г.