

УДК 633.367:631.582

**И.Н. Белоус, аспирант,
Е.В. Смольский, канд. с.-х. наук,
ФГБОУ ВПО Брянская ГСХА;
Г.Л. Яговенко, канд. с.-х. наук,
Всероссийский научно-исследовательский институт люпина**

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЮПИНА В СЕВООБОРОТАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье представлены результаты полевого опыта по изучению влияния севооборотов и минеральных удобрений на продуктивность и энергетическую эффективность выращивания люпина и культур севооборота.

In the article these are represented the results of field experiment of studying crop rotations and fertilizers' influence upon productivity and energetic efficiency of lupine and other crops growing.

Ключевые слова: люпин, севооборот, энергетическая эффективность.

Keyword: lupine, crop rotation, energetic efficiency.

Введение. Сельскохозяйственное производство должно обеспечивать сохранение и улучшение плодородия почвы, стабильность и надежность функционирования агроэкосистемы, конкурентоспособность земледелия и охрану окружающей среды. Однако в связи со значительным сокращением объемов внесения органических и минеральных удобрений в условиях остродефицитного баланса элементов питания в системах удобрения плодородие снижается. В исследованиях последних лет отмечается повсеместная устойчивая тенденция к деградации плодородия и ухудшению экологических показателей агроэкосистем, что сопровождается снижением продуктивности пашни [1,2].

В настоящее время признана необходимость всемерной биологизации сель-

скохозяйственного производства и восстановления плодородия почвы с помощью возобновляемых ресурсов. Стабилизирующим звеном в биологизации земледелия являются бобовые культуры, в том числе для нашей зоны люпин.

Люпин в севооборотах занимает особое место, так как имеет самый экологически чистый и энергосберегающий механизм накопления азота за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями (*Rhizobium lupine*). Благодаря взаимодействию этой системы люпин усваивает за вегетацию от 150 до 300 кг/га азота воздуха и превращает его в аммиачный азот, доступный для растений [3]. Это позволяет сократить дефицит азота, свойственный почвам Нечерноземной зоны РФ.

Это свойство сочетается с другим, не менее ценным, - обогащением почвы органическим веществом от обильной биомассы и растительных остатков люпина. При запашке на сидерацию в почву поступает 7-10 т/га сухой биомассы, содержащей до 400-500 кг элементов питания. С пожнивными остатками в почве остается около 50% от того количества, который формируется с урожаем люпина [4]. Обогащение почвы легкоразлагаемым органическим веществом с узким соотношением C:N активизирует жизнедеятельность почвенной микробиоты и улучшает ее качественный состав [5].

С самого начала исследований по люпину большая часть работ в нашей стране выполнялась на подзолистых и дерново-подзолистых почвах. На серых лесных почвах, особенно в разрезе севооборотов, таких работ недостаточно.

Материалы и методы. Исследования проводили с 1988 по 2003 гг. в условиях Брянской области, расположенной в Центральном регионе РФ.

Экспериментальная работа осуществлялась в длительном стационарном опыте Всероссийского научно-исследовательского института люпина.

Опыт двухфакторный: фактор А – севооборот, фактор Б – фон удобрения.

Схема опыта по фактору А: 1. Яровая пшеница – люпин (семена); 2. Люпин (зеленая масса) – озимая пшеница – люпин (семена) – кукуруза (зеленая масса); 3. Пар сидеральный люпиновый – озимая пшеница – люпин (семена) – кукуруза (зеленая масса).

Доля люпина в севооборотах составляла от 20 до 58%.

Схема опыта по фактору Б: Полное удобрение: яровая пшеница $N_{60}P_{60}K_{90}$, озимая пшеница $N_{120}P_{60}K_{90}$, кукуруза $N_{110}P_{100}K_{160}$.

Люпин не удобряли ни в одном из севооборотов, независимо от целевого назначения. Дозы удобрений под конкретные культуры были одинаковыми для всех севооборотов.

Почва опытного участка серая лесная легкосуглинистая на лессовидном карбонатном суглинке. Перед закладкой опыта в слое 0-20 см содержалось 2,8-3,0% гумуса, свыше 30 мг подвижного фосфора и 16-19 мг/100 г обменного калия, pH_{kcl} 5,8-6,0 и степень насыщенности основаниями – 85-90%.

Опыт развернут на 3-х полях с последовательным размещением делянок. Площадь каждого поля – 2,4 га. Размер посевной делянки по фактору А – 2784 м² (29x96), по фактору Б – 174 м² (25x4), повторность – четырехкратная. Размещение делянок по фактору А – рендомизированное, по фактору Б – систематическое. Общее количество делянок – 336, площадь под опытом – 8,9 га.

Агротехника возделывания культур соответствовала зональным рекомендациям. Гербициды и средства защиты растений применяли, руководствуясь списком разрешенных препаратов и фитосанитарной обстановкой. В опыте высевали районированные в регионе сорта полевых культур, придерживаясь рекомендаций Госкомиссии по сортоиспытанию при смене сортовой политики. В опыте высевали узколиственный люпин Кристалл.

Результаты. Оценка производства продукции сельскохозяйственных культур с энергетических позиций позволяет определить эффективность минеральных удобрений и способа использования люпина в звеньях севооборота (табл. 1). Люпин испытывал лишь последствие удобрений, но в зерновом 2-польном севообороте на удобренном фоне энергоемкость продукции и коэффициент энергетической эффективности (Кээ) снижались по сравнению с контролем, в то время как при выращивании на зеленую массу, наоборот, наблюдалась тенденция к улучшению этих показателей. Величина Кээ люпина на семена в варианте без удобрений составлял 3,90; на зеленую массу – 3,45; на фоне NPK –

3,70 и 3,68 соответственно. Самый высокий энергетический коэффициент – 8,93 и 10,0 – отмечается при выращивании люпина на запашку.

1. Агроэнергетическая оценка выращивания полевых культур
в севооборотах с люпином

Показатель	Люпин на зерно			Люпин на зеленую массу	Люпин на запашку	Озимая пшеница		Кукуруза на зеленую массу		Яровая пшеница
	Севооборот									
	№1	№2	№3	№2	№ 3	№2	№3	№2	№3	№1
Выход с 1 га:										
с основной продукцией сухого вещества, т	6,37*	6,26	5,98	4,10	6,10	5,63	8,36	6,23	4,41	6,63
	6,11**	6,30	6,28	4,38	5,50	7,19	9,93	6,31	5,06	7,71
кормовых единиц, т	4,03	3,29	3,64	4,92	-	3,96	5,27	6,56	4,42	3,97
	3,65	3,37	3,74	5,52	-	4,99	5,98	6,66	5,08	4,56
сырого протеина, т	1,18	1,14	1,15	1,40	-	0,70	0,77	0,89	0,77	0,52
	1,14	1,20	1,34	1,49	-	0,84	0,94	0,98	0,92	0,64
валовой энергии, ГДж	103,4	101,8	100,3	75,4	140,9	89,4	132,7	109,6	77,6	103,4
	98,3	102,9	104,8	80,6	125,1	114,1	156,5	110,0	89,0	120,1
обменной энергии, ГДж	73,1	74,4	75,3	71,1	102,8	76,2	100,2	80,0	56,6	70,8
	74,2	75,5	78,2	75,9	-	86,1	117,5	80,3	65,0	88,4
Затраты энергии:										
всего, ГДж/га	26,5	26,5	26,5	21,86	14,00	25,47	25,47	16,28	16,28	25,32
	26,50	26,50	26,50	21,86	14,00	35,35	31,03	29,29	26,06	32,61
на 1 кг сухого вещества, МДж	4,16	4,23	4,43	5,33	2,30	4,52	3,04	2,61	3,69	3,81
	4,33	4,20	4,21	4,99	2,54	4,91	3,12	4,64	5,15	4,22

Продолжение таблицы 1

Показатель	Люпин на зерно			Люпин на зеленую массу	Люпин на запашку	Озимая пшеница		Кукуруза на зеленую массу		Яровая пшеница
	Севооборот									
	№1	№2	№3	№2	№ 3	№2	№3	№2	№3	№1
Затраты энергии:										
на 1 корм. ед., МДж	6,57	8,05	7,28	4,44	-	6,43	4,83	2,48	3,68	6,38
	27,34	7,86	7,08	3,96	-	7,08	5,18	4,40	5,12	7,15
на 1 кг сырого протеина, МДж	22,4	23,2	23,0	15,6	-	36,4	33,0	18,3	21,1	48,7
	23,2	21,3	19,8	14,7	-	42,1	33,0	29,9	28,3	50,9
коэффициент энергетической эффективности валовой	3,90	3,84	3,78	3,45	10,0	3,5	5,2	6,7	4,7	4,1
	3,70	3,88	3,95	3,68	8,93	3,22	5,04	3,75	3,41	3,68
то же, обменный	2,76	2,80	2,84	3,25	-	2,99	3,93	4,9	3,4	2,8
	2,80	2,85	2,95	3,47	-	2,43	3,78	2,74	2,49	2,71
коэффициент использования ФАР, %	0,41	0,41	0,40	0,30	0,56	0,36	0,53	0,44	0,31	0,41

* без удобрений; ** NPK – яровая пшеница $N_{60}P_{60}K_{90}$, озимая пшеница $N_{120}P_{60}K_{90}$, кукуруза $N_{110}P_{100}K_{160}$.

Затраты энергии на производство 1 корм. ед. и 1 кг переваримого протеина в семенах люпина были в 1,5–1,8 раза выше, чем в зеленой массе люпина. Самой высокой энергозатратностью производства сухого вещества и переваримого протеина отличается зерно яровой и озимой пшеницы, размещаемой по занятому пару. Озимая пшеница по сидеральному пару имела меньшие затраты на 1 кг сухого вещества в 1,5 раза, чем по занятому, а Кээ составлял 5,04–5,2 против 3,22–3,5. Интенсификация технологии возделывания пшеницы несколько ухудшала энергетические показатели.

Установлено, что в звене севооборота с сидеральным паром было наиболее высокое энергосодержание продукции сельскохозяйственных культур, в сочетании со сравнительно низкими энергозатратами обеспечило высокий коэффициент энергетической эффективности. Суммарный выход валовой энергии в звене с люпином на запашку был выше, чем при возделывании люпина на семена и при уборке на зеленый корм, а суммарные энергозатраты на выращивание продукции были соответственно ниже. Коэффициент энергетической эффективности и коэффициент использования ФАР в звене с люпином на сидерацию были самыми высокими и в убывающем порядке располагались так: $K_{ээ} = 5,49 < 4,17 < 3,99$ (сидеральный < занятый < зерновой); $K_{фар} = 0,45 < 0,37 < 0,41$. Использование в данных севооборотах минеральных удобрений понижало $K_{ээ}$, но коэффициент использования ФАР имел тенденцию к росту. Наиболее высокий коэффициент использования ФАР (0,45 – 0,47) характерен для севооборотов с люпином на запашку.

Поскольку коэффициент энергетической эффективности служит показателем предела, ниже которого производство продукции невыгодно ($< 1,0$ по данным [6]), то можно считать, что как технология возделывания отдельных культур, так и севообороты с люпином в целом имеют положительный энергетический баланс (табл. 2).

Выход кормовых единиц, сырого протеина и затраты на их производство лучшим оказалось в звене севооборота с люпином на кормовые цели. Самым энергозатратным было производство сырого протеина и кормовых единиц в зерновом севообороте.

Судя по показателям энергоемкости продукции, энергозатратности, коэффициентам энергетической эффективности и использования ФАР, наиболее высокий агроэнергетический эффект достигается в звене севооборота с люпином на сидерацию (сидеральный пар – озимая пшеница – люпин на семена – кукуруза).

Интенсивность протекающих в почве процессов энерго- и массообмена тесно связаны с запасами энергии, аккумулированной в гумусе и микробной

массе, а баланс энергии является основным критерием, определяющим эффективность функционирования полевых агрофитоценозов.

2. Энергетическая эффективность севооборотов с различным целевым назначением люпина

Показатель	Севооборот					
	зерновой двухпольный*		звено с занятым паром		звено с сидеральным паром	
	контроль	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	контроль	N ₂₃₀ P ₁₆₀ K ₂₅₀	контроль	N ₂₃₀ P ₁₆₀ K ₂₅₀
Суммарные энергозатраты, ГДж/га	103,7	118,2	90,1	113,0	82,2	97,6
Суммарный выход валовой энергии с урожаем, ГДж/га	413,8	436,8	376,2	407,6	451,5	475,4
Коэффициент энергетической эффективности	3,99	3,70	4,17	3,60	5,49	4,87
Энергозатраты на производство 1 т зерна, ГДж	36,3	39,4	57,0	60,1	45,1	50,0
Выход основной продукции в корм. ед., т	16,01	16,44	18,73	20,54	13,34	14,80
Энергоемкость 1 ц корм. ед., ГДж	2,58	2,66	2,00	1,98	3,38	3,21
Затраты на производство 1 ц корм. ед., МДж	647,7	719,0	481,0	550,1	616,2	659,4
Выход сырого протеина, т	3,40	3,57	4,13	4,51	2,69	3,20
Энергоемкость 1 кг сырого протеина, ГДж	0,12	0,12	0,09	0,09	0,17	0,15
Затраты на производство 1 кг сырого протеина, МДж	30,5	33,1	21,8	25,0	30,5	30,5
Коэффициент использования ФАР, %	0,41	0,44	0,37	0,41	0,45	0,47
Коэффициент энергетической эффективности использования ФАР, %	0,31	0,32	0,28	0,29	0,37	0,38

* – суммарные показатели за 4 года.

В среднем за период исследований (1988–2003 гг.) энергосодержание гумуса в севооборотах с паровыми полями было выше, чем в зерновом севообороте, в связи с неодинаковым исходным содержанием гумуса. В то же время энергосодержание пожнивно-корневых остатков, более высокое на фоне с полным минеральным удобрением NPK, возрастало значительно в севообороте с

люпином на сидерацию. По сравнению с фоном без удобрений в зерновом севообороте оно увеличилось на 4%, а при сидерации – на 8%,

Энергетический баланс почвы складывается из запасов энергии в органическом веществе, количества вновь поступающей энергии растительных и корневых остатков, соломы, сидератов, а также из параметров минерализации органического вещества. Отрицательный энергетический баланс свидетельствует о несовершенстве системы, что требует ее корректировки.

Анализ проведенных исследований и обобщение полученных данных, сопоставление их с результатами химического анализа почвы позволяет заключить, что бездефицитного энергетического баланса почвы удалось достичь лишь в севообороте с люпином на сидерацию (табл. 3).

3. Энергетический баланс почвы в севооборотах с люпином

Показатель	Севооборот зерновой		Севооборот с занятым паром		Севооборот с сидеральным паром	
	кон-троль	НРК	кон-троль	НРК	кон-троль	НРК
Общее содержание энергии в почве, ГДж/га	1926,0	1939,8	1993,6	2007,4	2057,3	2091,9
В т.ч. гумуса	1896,6	1910,4	1963,4	1977,3	2025,7	2060,2
Общее количество энергии, поступающей в почву, ГДж/га	74,30	77,39	102,26	107,46	100,25	108,24
Трансформируется в гумус, ГДж/га	8,06	7,63	8,90	11,43	11,35	12,03
Трансформируется в гумифицированные и негумифицированные остатки, ГДж/га	29,38	29,38	30,16	30,16	31,67	31,67
Убывает в процессе минерализации, ГДж/га	36,86	40,87	63,20	65,87	57,23	64,54
Энергия минерализованного гумуса, ГДж/га	8,01	8,12	9,88	9,95	10,37	10,55
Прибавка (убыль) энергии гумуса (\pm ГДж/год)	+0,05	-0,49	-0,98	+1,48	+0,98	+1,48
Коэффициент биоконверсии в гумус	0,060	0,053	0,067	0,085	0,085	0,090

Положительный энергетический баланс был получен и в севообороте с занятым люпиновым паром с полным минеральным удобрением. Зерновой севооборот и фон без удобрений в севообороте с занятым паром характеризовались большими потерями энергии в результате минерализации. Увеличение непроизводительных потерь энергии снижало коэффициент биоконверсии энергии в гумус до 0,063–0,067, в то время как при сидерации он приближался к 0,1 (0,085–0,090).

В своих исследованиях Шпаков А.С. [6], отмечает, что для бездефицитного баланса органического вещества в почве расходная часть энергетического баланса должна составлять от 20 до 45% всей энергии. Увеличение расходной части свыше 50% приводит к отрицательному балансу гумуса в севооборотах [6]. В наших исследованиях бездефицитный баланс гумуса зафиксирован только в севообороте № 7 и № 6 с полным минеральным удобрением. Энергетический баланс гумуса позволяет судить об эффективности полевых агроэкосистем, с точки зрения процессов энерго- и массообмена в органическом веществе почвы. Произведенные расчеты показали, что бездефицитный баланс энергии, заключенной в гумусе, достигнут только в сидеральном севообороте. Прибавка энергии составила на контроле 0,98 ГДж/га в год, на фоне NPK – 1,48 ГДж/га. Положительный баланс отмечен также на фоне NPK в севообороте с занятым паром.

В зерновом севообороте и на фоне без удобрений некомпенсируемый баланс энергии указывает на ее потери при минерализации. Коэффициент биоконверсии энергии в гумус в отмеченных вариантах значительно ниже 0,1

Внесение органических удобрений изменяет энергетический баланс во всех севооборотах. Однако в зерновых севооборотах с люпином энергетический эквивалент приходной части должен быть как минимум в два раза больше расходного, для бездефицитного баланса.

Следует подчеркнуть, что нами не была учтена энергия, накапливающаяся в микробной массе, а между тем энергопотенциал микробной части почвы составляет значительную величину. Внесение растительных остатков приводит

к существенному увеличению энергосодержания микробной массы в пахотном слое и общего энергетического потенциала гумуса.

Выводы. Возделывание люпина на зеленое удобрение – это малозатратный, энерго- и ресурсосберегающий прием, с помощью которого коэффициент полезного использования энергии и фотосинтетически активной радиации возрастает в 1,5 раза. Научно обоснованная доля люпина в общей структуре севооборота должна составлять от 25 до 40%.

Литература

1. Ефимов, В.Н. Скрытая деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв России / В.Н. Ефимов, А.И. Иванов // *Агрохимия*. – 2001. - № 6. – С. 5-10.
2. Лыков, А.М. Концептуальные основы плодородия агробиоценозов и его воспроизводства в ландшафтных (адаптивно-ландшафтных системах земледелия) / А.М. Лыков, А.И. Еськов, М.Н. Новиков // *Агро XXI*. – 2001. - № 7. – С. 22-23.
3. Саввичев, К.И. Люпин - ценная культура/ К.И. Савичев. – Брянск.: Брянский рабочий, 1961. – 130с.
4. Анисимова, Т.Ю. Агрохимическая и технологическая эффективность использования узколистного люпина и соломы в звеньях севооборотов Центрального Нечерноземья: Автореф. дисс.... канд. с.-х. наук. – Москва, 2002. – 26с.
5. Возняковская, Ю.М. Микробиологические основы экологической системы земледелия // *Агрохимия*. – 1995. - № 5. – С. 115-119.
6. Шпаков, А.С. Методология оценки и моделирования систем полевого кормопроизводства по критериям оптимальности использования энергии / Программа и методика проведения научных исследований/ А.С. Шпаков. – М.: Изд-во МГАУ им. В.П. Горячкина, 2001. – С. 5-39.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ