



УДК 633.39:631.81(571.1)

Н.М. Сидорова,  
Ю.И. Ермохин

## ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И РАСЧЕТ ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ СИЛЬФИИ ПРОНЗЕННОЛИСТНОЙ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

### Введение

В Западной Сибири основными силосными культурами являются кукуруза и подсолнечник. Однако они не могут в полной мере использовать биоклиматический потенциал всех природных зон региона [1]. Расширение ассортимента силосных культур за счет интродукции новых видов способствует увеличению производства дешевых, энергонасыщенных и высокобелковых кормов. Одним из перспективных новых видов кормовых культур является сильфия пронзеннолистная [2]. Данная культура отличается высокой урожайностью кормовой массы, продолжительным периодом использования (до 15 лет). Хорошо силосуется в чистом виде и с другими культурами. Кормление силосом сильфии увеличивает продуктивность коров и сочетание жира в молоке [3].

В силу малой изученности данной культуры продуктивность ее остается очень низкой, что сдерживает быстрое и широкое ее распространение в хозяйствах Омской области и в целом в Западной Сибири. В связи с этим возникает необходимость разработать интеграционную систему диагностики потребности сильфии пронзеннолистной в минеральных удобрениях с целью увеличения урожая и качества его с единицы площади.

В условиях Западной Сибири рациональное применение удобрений под силь-

фию пронзеннолистную не разработано. Не установлены наилучшие дозы и сочетания удобрений на основе полевых опытов, тем более с учетом химического анализа почвы (почвенная диагностика) и растений (растительная диагностика). В связи с этим нами была поставлена задача установить урожайность этой с.-х. культуры в зависимости от доз удобрений, химического состава почвы, уровней содержания макро- и микроэлементов в растениях, обоснованно создать гибкую систему удобрения этой многолетней кормовой культуры в различных почвенно-климатических условиях.

### Объекты, методы

#### и условия проведения исследований

Наши исследования проводились в 1991-1999 гг. Период исследований характеризовался разнообразными погодными условиями. Оценка их показывает, что они были достаточно типичными для климата Западно-Сибирского региона. Наиболее существенное влияние на урожайность многолетней культуры сильфии пронзеннолистной оказывали тепло- и влагообеспеченность.

Таким образом, период проведения полевых исследований охватывает разнообразные по погодным условиям годы, что позволило достаточно полно изучить как биологические особенности роста и

развития, так и динамику поступления элементов питания в растения новой кормовой культуры – сильфии пронзеннолистной.

### Общие сведения

#### о методике полевых опытов

Полевые опыты проводились в течение девяти лет на опытном поле Омского государственного аграрного университета. Почва – лугово-черноземная маломощная среднегумусовая тяжелосуглинистая. В пахотном слое содержится 6,5% гумуса; рН близок к нейтральному (6,8). Сумма поглощенных оснований равна 45 мг.экв/100 г почвы. В составе поглощенных оснований присутствуют  $Ca^{2+}$  (73-95%), с глубиной растет содержание магния. Плотность почвы равна 1,2 г/см<sup>3</sup>, скважность – 53%, аэрация – 34%.

Нитратного азота в почве в период отрастания сильфии пронзеннолистной по годам исследований содержалось от 0,25 до 1,05; подвижного фосфора – от 3,1 до 7,15; обменного калия – от 7,1 до 22,3 мг/100 г почвы (все три элемента определены в 2%-ной уксуснокислой вытяжке).

Предшественником сильфии в 1991 г. был пар. Агротехника в опытах проводилась согласно общепринятой системе земледелия. Минеральные удобрения вносили до посева семян и заделывали культиватором. Посев семян производили с междурядьем 60 см. Уборку урожая зеленой массы производили сплошным учетом со всей делянки – путем скашивания. При выборе конфигурации опытных делянок предпочтение отдавалось вытянутой форме, при которой, более полно охватывается пестрота поля и таким образом обеспечивается большая точность. Размещение делянок в опытах было двухъярусным.

Полевые опыты с удобрениями закладывали по расширенной схеме, все учеты, наблюдения выполняли согласно общепринятым методикам [4-6]. Варианты с удобрениями строили в соответствии с принципом единственного различия.

**Схема опыта № 1 (1991 г.):** 1) контроль; 2)  $N_{90}P_{90}$ ; 3)  $P_{90}K_{90}$ ; 4)  $N_{90}K_{90}$ ; 5)  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ; 6)  $N_{470}P_{100}K_{280}$ .

**Схема опыта № 2 (1994 г.):** 1) контроль; 2)  $N_{90}K_{90}$ ; 3)  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ; 4)  $N_{90}P_{120}K_{90}$ ; 5)  $N_{90}P_{180}K_{90}$ ; 6)  $N_{150}P_{180}K_{90}$ .

Расчет доз удобрений в опыте № 1 (шестой вариант) проводили на планируемую урожайность зеленой массы 100 т/га по формуле Ю.И. Ермохина:

$$D_N = 6,42 \cdot (ПУ - Э_\phi) \cdot 33,4 - 143, \text{ кг/га};$$

$$D_{P_2O_5} = 5 \cdot ПУ - 68 \cdot Э_\phi, \text{ кг/га};$$

$$D_{K_2O} = 7,86 \cdot ПУ - 47,8 \cdot Э_\phi, \text{ кг/га},$$

где ПУ – планируемая урожайность зелёной массы, т/га;

$Э_\phi$  – содержание элемента питания в слое почвы 0-30 см, мг/100 г почвы.

В данные формулы «вмонтированы» коэффициенты использования элементов питания из почвы, удобрений и  $N_T = 100$  кг/га (КИП<sub>N</sub>-0,6; КИП<sub>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></sub>-0,38; КИП-0,93; КИУ<sub>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></sub>-0,2; КИУ<sub>K<sub>2</sub>O</sub>-0,7).

### Экспериментальная часть

Применение удобрений в опытах с сильфией пронзеннолистной позволило установить связь величины урожая с дозами применения удобрений, химическим составом почвы и растений. В данной работе представляем действие и последствие удобрений на урожайность новой кормовой культуры для Сибири – сильфии пронзеннолистной и сравнительно простой метод расчета доз удобрений.

**Действие минеральных удобрений на урожайность сильфии пронзеннолистной.** Применение минеральных удобрений в двойной и тройной комбинациях по-разному проявило действие на урожайность зеленой массы сильфии пронзеннолистной. Так, данные таблицы 1 показывают, что наивысшая урожайность зелёной массы наблюдалась при внесении азотно-фосфорных удобрений в дозе по 90 кг д.в./га и составила 77 т/га, что выше контрольного варианта на 27 т/га, или на 54% (табл. 1.).

Высокие прибавки урожая наблюдались также при внесении полного минерального удобрения в дозах  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и  $N_{470}P_{100}K_{280}$ . Однако если сравнить эффективность единицы внесённого удобрения на урожайность зелёной массы, то заметим, что наивысшая окупаемость каждого внесённого кг д.в. удобрений урожаем получена при внесении по 90 кг д.в. азота и фосфора в сочетании 1:1 и составила 1,5 ц, а при внесении полного удобрения  $N_{90}P_{90}K_{90}$  окупаемость составила 1,1. Следовательно, калий, внесённый совместно с азотно-фосфорными удобрениями, не проявил положительного действия на продуктивность сильфии пронзеннолистной.

В полевом опыте исследовалось действие и последствие повышенных расчётных доз удобрений, внесённых один раз в

пять лет, на формирование урожайности зелёной массы силфи́и пронзённолистной.

Опыты показали, что величина урожайности, полученная за счёт применения высоких расчётных доз удобрений на планируемую урожайность, была выше и составила фактически 61%. Однако данную дозу удобрений применяли из расчёта выявить длительность последствий их на формирование величины урожая в течение 5-6 лет.

Действие фосфорно-калийных удобрений было практически одинаковым.

В полевом опыте № 2 при внесении более высоких доз фосфорных удобрений продуктивность силфи́и пронзённолистной была наибольшая при внесении 180 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на N<sub>90</sub>P<sub>90</sub> (табл. 2). По сравнению с контролем прибавка составила 65 т/га, или 47,4%. По сравнению с фоном (N<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) применение P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в дозе

180 кг увеличило урожайность зелёной массы с 158 до 202 т/га, или на 27,8%. Дальнейшее увеличение дозы азота до 150 кг/га на фоне P<sub>180</sub>K<sub>90</sub> не способствовало увеличению урожайности силфи́и пронзённолистной. Окупаемость каждого внесённого кг д.в. удобрений в сочетании 1:2:1 составила 1,80 ц зелёной массы. Снижение или увеличение азотно-фосфорно-калийных удобрений способствовало снижению величины окупаемости единицы удобрения урожаем.

Следовательно, применение минеральных удобрений в оптимальных дозах и сочетаниях под многолетнюю кормовую культуру – силфи́ю пронзённолистную увеличивало урожайность зелёной массы только в год действия удобрений на 47,4-54,0%. Средняя урожайность составила от 80 до 202 т/га.

Таблица 1

Действие минеральных удобрений на урожайность зелёной массы силфи́и пронзённолистной (полевой опыт № 1, 1992 г.)

Варианты опыта	Урожайность зелёной массы, т/га					Окупаемость 1 кг удобрений урожаем, ц/га
	укосы		урожайность за 2 укоса, т/га	прибавка		
	первый	второй		т/га	%	
0	32,0	18,0	50,0	-	-	-
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub>	55,5	21,5	77,0	27	54	1,50
P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	46,0	18,0	64,0	14	28	0,78
N <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	46,0	18,5	64,5	14,5	29	0,80
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	57,5	22,5	80,0	30	60	1,11
N <sub>470</sub> P <sub>100</sub> K <sub>280</sub>	58,5	22,0	80,5	30,5	61	0,36
НСР <sub>05</sub>			10,0 т/га			

Таблица 2

Действие минеральных удобрений на урожайность зелёной массы силфи́и пронзённолистной (полевой опыт № 2, 1995 г.)

Варианты опыта	Урожайность зелёной массы, т/га					Окупаемость 1 кг удобрений урожаем, ц/га
	укосы		урожайность за 2 укоса, т/га	прибавка		
	первый	второй		т/га	%	
0	111	26	137	-	-	-
N <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	118	40	158	21	15,3	1,17
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	123	44	167	30	21,9	1,11
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>	140	44	184	47	34,3	1,57
N <sub>90</sub> P <sub>180</sub> K <sub>90</sub>	156	46	202	65	47,4	1,80
N <sub>150</sub> P <sub>180</sub> K <sub>90</sub>	130	45	175	38	27,7	0,90
НСР <sub>05</sub>			9,7 т/га			

**Последствие минеральных удобрений на урожайность сильфии пронзеннолистной.** Учёт урожайности в опыте с удобрениями в течение семи лет позволил проследить последствие различных доз и сочетаний минеральных удобрений, внесённых осенью в 1991 году (табл. 3). Исследования показывают, что применение удобрений дало возможность значительно повысить урожайность культуры. В более благоприятные для формирования высокого урожая годы (действие, первый и третий год последствия) наивысшие урожаи были получены при внесении следующих доз и сочетаний удобрений:  $N_{90}P_{90}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , а также  $N_{470}P_{100}K_{280}$ . Наибольшая урожайность зелёной массы была получена на третий год последствия при внесении  $N_{470}P_{100}K_{280}$  (прибавка 79 т/га). На четвертый год последствия удобрений, практически по всем удобренным вариантам прибавки урожая от применения удобрения, где были намного ниже, чем в предыдущие годы.

В вариантах, где использовали азотно-фосфорные ( $N_{90}P_{90}$ ) и полные удобрения ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ), урожайность культуры была одинаковой, что указывает на неэффективность калийных удобрений на фоне  $N_{90}P_{90}$ . Основная причина – высокое содержание обменного калия в почве. Здесь следует отметить положительное последствие всех доз и сочетаний удобрений (кроме  $N_{90}K_{90}$ ) и особенно высоких расчётных доз удобрений на урожайность сильфии пронзеннолистной (вариант  $N_{470}P_{100}K_{280}$ ). Прибавка урожая зелёной массы была в 2 раза выше, чем на других вариантах (15 т/га). На 5-й год послед-

ствия удобрений прибавка урожая была только при использовании повышенных доз удобрений  $N_{470}P_{100}K_{280}$ .

Начиная со второго года последствия удобрений (5 лет последствия) высокие дозы, рассчитанные на ряд лет, давали наибольшие прибавки урожая зелёной массы сильфии пронзеннолистной. В сумме за 7 лет действия и последствия удобрений на урожайность сильфии пронзеннолистной наибольшая прибавка была сформирована при внесении удобрений в запас на ряд лет  $N_{470}P_{100}K_{280}$ . Учёт урожайности сильфии в опыте № 2 позволил проследить действие удобрений, внесённых в 1994 году (табл. 4).

Исследования показали, что удобрения, внесённые в 1994 г., проявили последствие в течение четырех лет на формирование урожая этой кормовой культуры. В более благоприятные годы для формирования урожая (год действия и первый год последствия, вариант  $N_{90}P_{180}K_{90}$ ) прибавка составила, соответственно, 65 и 36 т/га. В условиях второго года последствия наибольшая урожайность зелёной массы была получена при внесении  $N_{150}P_{180}K_{90}$  (прибавка 33 т/га, или 42%). На третий и четвертый год последствия удобрений прибавки урожая сильфии пронзеннолистной снизились. Снижение урожайности данной сельскохозяйственной культуры наблюдалось при внесении азотно-калийных удобрений (-12 т/га). При внесении более высоких фосфорных и азотных удобрений  $N_{150}P_{180}K_{90}$  положительное последствие на урожайность зелёной массы проявлялось на четвертый год (прибавка 24 т/га).

Таблица 3

*Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность зелёной массы сильфии пронзеннолистной (полевой опыт № 1, 1992-1998 гг.)*

Варианты опыта	Урожайность на контроле и прибавка по вариантам опыта, т/га							
	годы действия и последствия							
	1992, действие	1993, 1-й	1994, 2-й	1995, 3-й	1996, 4-й	1997, 5-й	1998, 6-й	в сумме за 7 лет
0	50	122	132	113	52	48	27	544
$N_{90}P_{90}$	27	30	18	42	7	-2	4	670
$N_{90}P_{90}K_{90}$	14	23	6	36	6	-3	-3	623
$N_{90}K_{90}$	14,5	8	7	33	-3	-1	-6	596,5
$N_{90}P_{120}K_{90}$	30	30	20	69	8	0	8	709
$N_{470}P_{100}K_{280}$	30,5	28	29	79	15	5	11	741,5
$НСР_{05}$ т/га	9,3	6,4	4,5	8,2	4,0	3,7	3,0	

**Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность сильфии пронзеннолистной (полевой опыт № 2, 1995-1999 гг.)**

Варианты опыта	Урожайность на контроле и прибавка по вариантам опыта, т/га					
	годы действия и последствия удобрений					
	1995, действие	1996, 1-й	1997, 2-й	1998, 3-й	1999, 4-й	в сумме за 5 лет
0	137	79	78	44	66	404
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub>	21	13	3	0	-12	429
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	30	19	19	11	10	493
N <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	47	24	26	12	17	530
N <sub>90</sub> P <sub>180</sub> K <sub>90</sub>	65	36	26	18	18	567
N <sub>150</sub> P <sub>180</sub> K <sub>90</sub>	38	22	33	21	24	542
НСР <sub>05</sub> т/га	10	6,3	6,0	7,9	5,0	

В сумме за 5 лет действия и последствия удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>180</sub>K<sub>90</sub> способствовало формированию урожая 567 т/га, что выше неудобренного варианта на 163 т/га, или 40,3%. Увеличение дозы до 150 кг/га на фоне P<sub>180</sub>K<sub>90</sub> (по сравнению с N<sub>90</sub>P<sub>180</sub>K<sub>90</sub>) не способствовало получению наивысшего урожая сильфии пронзеннолистной (542 т/га, прибавка 138 т/га). Следовательно, наибольшее положительное влияние в течение 5 лет на урожайность сильфии пронзеннолистной проявили азотно-фосфорные удобрения, внесённые в дозах N<sub>90</sub>P<sub>180</sub>K<sub>90</sub>.

**Диагностика потребности сильфии пронзеннолистной в удобрениях на основе полевого опыта.** Основным способом определения потребности растений в удобрениях служит полевой опыт. Он даёт возможность выяснить роль отдельных питательных веществ в повышении урожая культур, возделываемых в полевых условиях, установить взаимосвязи и закономерности между содержанием элементов питания в почве, растениях и величиной урожая, а затем разработать комплексный метод оптимизации минерального питания сильфии пронзеннолистной.

Многолетние исследования по удобрению сильфии пронзеннолистной показали, что наилучшими сочетаниями и дозами минеральных удобрений под сильфию пронзеннолистную оказались азотно-фосфорные по 90 кг д.в./га. На протяжении 4 лет (1992-1995 гг.) в полевом опыте № 1 лучшей дозой и сочетанием удобрений был вариант N<sub>90</sub>P<sub>90</sub> при содержании в почве нитратного азота от 0,9 до 1,5, подвижного фосфора от 3,5 до 9,5 и обменного калия от 6 до 10,6 мг/100 г почвы (2%-ная уксуснокислая вытяжка).

Известно, что дозы удобрений зависят от ряда факторов и в первую очередь являются функцией содержания элементов питания почвы [7]. Зависимость между дозой удобрений и элементами питания в почве обратно пропорциональная – чем выше содержание азота, фосфора и калия в почве, тем ниже дозы вносимых удобрений. Математически это можно выразить следующей формулой:

$$D_0 - X_0 = D_n - X_n,$$

где D<sub>0</sub> – установленная доза питательных веществ удобрений (кг/га) при соответствующем содержании элементов в почве (X<sub>0</sub> мг/100 г);

D<sub>n</sub> – предполагаемая доза удобрений (кг д.в./га) при содержании соответствующего элемента в почве (X<sub>n</sub> мг/100 г) конкретного поля.

$$\text{Отсюда } D_n = \frac{D_0 X_0}{X_n} [7].$$

Для сильфии пронзеннолистной на лугово-черноземной почве дозы удобрений рассчитывают по следующим формулам:

$$D_N = \frac{D_{90} \cdot 1,2}{X_{N-NO_3}} = \frac{108}{X_{N-NO_3, \text{ мг/100гр}}}, \text{ кг/га};$$

$$D_{P_2O_5} = \frac{P_{90} \cdot 6,3}{X_{P_2O_5}} = \frac{567}{X_{P_2O_5, \text{ мг/100гр}}}, \text{ кг/га}.$$

Что касается обменного калия, то можно отметить, что в почве его было достаточно для получения урожая сильфии пронзеннолистной в пределах 136 т/га. Ориентировочно эта величина находилась в пределах 8,6 мг/100 г почвы.

Фактически внесённые дозы N<sub>90</sub>P<sub>90</sub> положительно влияли на величину урожая в течение 6 лет.

**Выводы**

1. Наилучшими сочетаниями и дозами минеральных удобрений под силфию пронзеннолистную на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири оказались азотно-фосфорные по 90 кг д.в/га.

2. На основе многолетних полевых опытов с удобрениями для силфии пронзеннолистной на лугово-черноземной почве дозы азотных и фосфорных удобрений предлагаем рассчитывать по формулам:

$$D_N = \frac{108}{X_{N-NO_3, \text{ мг/100 гр.}}}, \text{ кг/га};$$

$$D_{P_2O_5} = \frac{567}{X_{P_2O_5, \text{ мг/100 гр.}}}, \text{ кг/га}.$$

**Библиографический список**

1. Косторной В.Ф. О распространении в Сибири новых кормовых культур / В.Ф. Косторной // Науч.-техн. бюл. СО ВАСХНИЛ. 1979. Вып. 5. С. 27-30.

2. Степанов А.Ф. Многолетние нетрадиционные кормовые культуры в Запад-

ной Сибири: монография / А.Ф. Степанов; ОмГАУ. Омск, 1996. 60 с.

3. Утеуш Ю.А. Новые перспективные кормовые культуры. АН УССР. Центральный республиканский ботанический сад / Ю.А. Утеуш. Киев: Наукова думка, 1991. 192 с.

4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

5. Митрофанов А.С. Методика полевых опытов с кормовыми культурами / А.С. Митрофанов, Ю.К. Новоселов, Г.Ю. Харьков. ВНИИ кормов. М., 1971. 158 с.

6. Новоселов Ю.К. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новоселов. М.: ВИК, 1983. 198 с.

7. Ермохин Ю.И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмсХИ» минерального питания, эффективности удобрений величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю.И. Ермохин. Ом. гос. аграр. ун-т. Омск, 1995. 208 с.



УДК 631.84:631.445.53(574.2)

**Ю.И. Ермохин,  
А.А. Сарсенова**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ  
НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЧЕРНОЗЕМНЫХ МЕЛКИХ  
МАЛОНАТРИЕВЫХ СОЛОНЦАХ  
СОПОЧНО-РАВНИННОЙ ЗОНЫ  
СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

**Введение**

Солонцы и засоленные почвы в Казахстане занимают 94 млн га, что составляет около 40% от общей площади сельскохозяйственных угодий. Урожайность в степной зоне на них не превышает 2 ц/га сена. Многими научными учреждениями Северного Казахстана и Северного Зауралья разработаны приемы и методы химической мелиорации и удобрения почв, позволяющие повысить продуктивность солонцов в 2-5 раз и более. Применение фосфогипса – местного отхода промышленности в качестве химического мелио-

ранта имеет большую экологическую значимость, так как решается вопрос утилизации твердых отходов производства, а оптимизация доз азотного удобрения в сочетании с ним приводит к снижению затрат на мелиоративные работы. В связи с этим целью исследований являлось установление эффективности химической мелиорации и удобрения черноземных мелких малонатриевых солонцов сопочно-равнинной зоны Северного Казахстана в специализированном почвенно-мелиоративном кормовом севообороте. Задачи исследований: 1) установить мелиоратив-