

верхности, а также его потенциально более высокое содержание в нижележащих слоях по сравнению с обрабатываемыми полевыми угодьями. Ряд исследований показал, что кормовые травы, высаженные как по всему полю, так и просто полосами, могут значительно уменьшить поверхностный сток воды и, соответственно, смыв почвы. Другие исследования продемонстрировали, что почва под многолетними кормовыми травами обогащается органическим углеродом и азотом, имеет стабильную структуру и большее содержание элементов питания за счет накапливаемого органического вещества. Нитраты, вымытые в дренажную систему при возделывании люцерны или на почвозащитных травяных угодьях, зачастую составляют лишь часть от того количества нитратов, которое теряется с полей, занятых однолетними культурами – кукурузой и соей. Диверсификация севооборотов путем введения видов с разным строением корневых систем, использование почвопокровных культур и сокращение нарушений поверхностного слоя почвы за счет использования минимизированной или нулевой обработки могут снизить интенсивность образования нитратов при разложении органического вещества почвы.

Заключительные соображения

При проектировании сельскохозяйственных систем многолетние кормовые травы должны рассматриваться в качестве важного инструмента, на-

правленного не только на защиту почв в агроландшафтах, но и на расширение производства за счет оздоровления почвы и развития более сильной интеграции растениеводства и животноводства для улучшения экологии системы, а также за счет уменьшения зависимости от программ субсидирования, поддерживающих системы монокультур.

Д-р Францлюбберс – эколог-исследователь Службы сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США (USDA), профессор кафедры растениеводства и почвоведения Университета штата Северная Каролина;
e-mail: alan.franzluebbers@ars.usda.gov.

Литература

- Fike, J.H. et al. 2006. *Biomass Bioenergy* 30:198-206.
Franzluebbers, A.J. 2016. *Agric. Environ. Lett.* 1:150009 doi:10.2134/ael2015.11.0009.
García-Prechac, F. et al. 2004. *Soil Tillage Res.* 77:1-13.
Hoefnages, R. et al. 2010. *Renewable Sustain. Energy Rev.* 14:1661-1694.
Keyser, P.D. et al. 2016. *Crop Sci.* 56:1-10.
Nafziger, E.D., and R.E. Dunker. 2011. *Agron. J.* 103:261-267.
Wang, Z. 2016. *Dissertation at NC State Univ.*

Редактирование перевода с английского и адаптация: В.В. Носов.

Применение удобрений при выращивании высокоурожайной люцерны в штатах Калифорния и Аризона

Н. Кларк, С. Орлофф и М. Оттман

В штатах Калифорния и Аризона (США) получают одни из самых высоких урожаев люцерны в мире с зафиксированным максимумом в 53.8 т сена/га за год.

На примере трех выращивающих люцерну агроэкологических регионов представлены системы применения удобрений, необходимые для получения высоких урожаев.

В штатах Калифорния и Аризона (США) находятся одни из самых высокоурожайных полей люцерны в мире. Средняя урожайность сена, получаемая на площадях в 0.4-0.5 млн га, составляет 12.3-20.2 т/га за год. Здесь сосредоточено 6% посевов данной культуры в США и обеспечивается 10% производства. Надлежащее управление плодородием почвы – ключ к получению высоких урожаев в этих двух штатах. В настоящей статье рассматриваются три заслуживающих внимания региона, выращивающих люцерну: межгорье (штат Калифорния), Центральная долина (штат Калифорния) и пустыня (штаты Калифорния и Аризона).

Хотя природные условия и практикуемые агротехнологии в указанных регионах сильно различа-

ются, для выявления и корректировки недостатка элементов питания используется общий базовый подход. Данная общность объясняется возделыванием одной культуры – люцерны. Для выполнения основных жизненных функций и продуцирования биомассы нормально функционирующим растениям люцерны необходимо одно и то же соотношение элементов питания независимо от места произрастания.

При планировании системы применения удобрений прежде всего необходимо принимать во внимание потенциальную урожайность для каждого поля. Данную величину можно использовать для расчета ожидаемого выноса элементов питания с урожаем и для уточнения рекомендаций по дозам удобрений (табл. 1-2). Проведение по-

Таблица 1. Вынос элементов питания с урожаем сена люцерны.

Элемент питания	Годовая урожайность люцерны, т/га				
	13.5	17.9	22.4	26.9	33.6
	Вынос элементов питания, кг/га				
N	403	538	672	806	1008
P (P ₂ O ₅)	35 (80)	47 (106)	58 (133)	69 (160)	87 (200)
K (K ₂ O)	269 (323)	358 (430)	448 (538)	538 (645)	672 (806)
Ca	215	287	358	430	538
Mg	45	59	74	88	111
S	27	36	45	54	67
Fe	2.6	3.4	4.3	5.2	6.4
Mn	1.7	2.2	2.8	3.4	4.3
Cl	1.7	2.2	2.8	3.4	4.3
B	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0
Zn	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8
Cu	0.13	0.18	0.22	0.27	0.34
Mo	0.027	0.036	0.045	0.054	0.067

Адаптировано из: Summers и Putnam (2008).

Таблица 2. Рекомендации по применению удобрений для люцерны.

Элемент питания	Урожайность, т/га	Классы обеспеченности по данным почвенной или растительной диагностики		
		Недостаточный	Пограничный	Достаточный
		Дозы внесения удобрений, кг/га		
P ₂ O ₅	9.0	67-101	34-50	0-22
	17.9	134-202	67-101	0-50
	26.9	202-302	101-146	0-67
K ₂ O	9.0	112-224	56-112	0-56
	17.9	336-448	168-224	0-112
	26.9	448-672	224-336	0-168

Адаптировано из: Summers и Putnam (2008); Orloff (1997).

Таблица 3. Пригодность методов для оценки условий минерального питания люцерны.

Элемент питания	Почвенная диагностика	Растительная диагностика
Фосфор	Хорошая	Отличная
Калий	Хорошая	Отличная
Сера	Очень плохая	Отличная
Бор	Плохая	Отличная
Молибден	Не рекомендуется	Отличная

Адаптировано из: Summers и Putnam (2008).

Таблица 4. Интерпретация результатов почвенной и растительной диагностики при возделывании люцерны.

Элемент питания	Часть растения	Единицы измерения	Содержание в растениях			
			Недостаточное	Пограничное	Достаточное	Высокое
P (P-PO ₄)	Средняя треть, стебли	мг/кг	300-500	500-800	800-1500	> 1500
K	Средняя треть, стебли	%	0.40-0.65	0.65-0.80	0.80-1.50	> 1,50
S (S-SO ₄)	Средняя треть, стебли	мг/кг	0-400	400-800	800-1000	> 1000
B	Верхняя треть	мг/кг	< 15	15-20	20-40	> 200
Mo	Верхняя треть	мг/кг	< 0.3	0.3-1.0	1.0-5.0	5.0-10.0
P	Гидрокарбонат натрия	мг/кг	< 5	5-10	10-20	> 20
K	Ацетат аммония	мг/кг	< 40	40-80	80-125	> 125
	Серная кислота	мг/кг	< 300	300-500	500-800	> 800
B	Насыщенная водой паста	мг/кг	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.4	> 0.4

Адаптировано из: Summers и Putnam (2008).

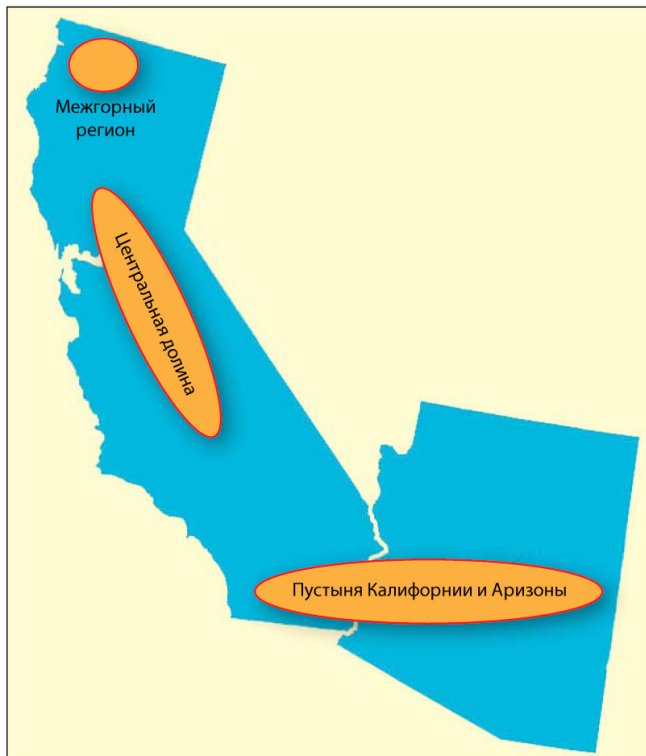
чвенной и растительной диагностики, а также анализ поливной воды – лучший подход, позволяющий определить необходимость корректировки минерального питания люцерны (табл. 3-4). Использование реперных участков для отбора почвенных и растительных образцов (проводится ежегодно с фиксированных участков поля) способствует выявлению тенденций в изменении уровня минерального питания – обогащения или истощения.

Производство люцерны в штатах Калифорния и Аризона в основном лимитируется такими макроэлементами, как фосфор, калий и сера. В межгорье штата Калифорния также возможен недостаток молибдена и бора.

Межгорье штата Калифорния

Люцерна – основная орошаемая культура в межгорной зоне на севере штата Калифорния исходя из занимаемых площадей. Она возделывается в высоко расположенных долинах (762-1524 м), разбросанных по всему региону. Из-за широты и высоты эти долины отличаются более коротким и прохладным вегетационным периодом по сравнению с другими регионами возделывания люцерны в штате Калифорния. Годовое производство, как правило, составляет 10.1-17.9 т/га (чаще всего – 11.2-14.6 т/га) при 3-4-х укосах в год. Удобрение люцерны в межгорной зоне связано с большими сложностями, чем в большинстве других регионов ее возделывания в штате Калифорния по нескольким причинам:

1. Для большей части полей нет возможности использовать последствие элементов питания, внесенных под такие интенсивно удобряемые предшественники, как томат, хлопчатник или дыня, поскольку люцерна – доминиру-



Регионы выращивания люцерны в штатах Калифорния и Аризона (США).

ющая культура.

2. Первый укос обычно составляет 4.5-6.7 т/га, что свидетельствует о сравнительно высокой потребности в элементах питания.

3. Низкая температура почвы весной, что влияет на доступность элементов питания в критический период роста.

4. Многие почвы обладают более низким естественным плодородием по сравнению с другими регионами.

Недостаток фосфора встречается чаще всего, и обеспеченность фосфором имеет первостепенную важность для получения высокого урожая. Внесение фосфорного удобрения по крайней мере за 60-90 дней до первого укоса дает лучший эффект. Максимальная отзывчивость на внесение фосфорного удобрения, как правило, наблюдается при первом укосе, так как он обычно более урожайный, и при этом доступность фосфора ниже из-за низкой температуры почвы. Поэтому внесение фосфорных удобрений осенью или зимой более эффективно, чем в середине вегетационного периода.

Следующий элемент по распространенности недостатка – сера. Форма применяемых серосодержащих удобрений зависит от доступности почвенной серы и величины рН почвы. При сильном дефиците данного элемента питания рекомендуется внесение тонкодисперсной элементарной серы для обеспечения ее быстрого окисления до сульфатной формы, усвояемой растениями. Гипс – альтернативный продукт для почв с $pH_{H_2O} < 7$, поскольку в гипсе сера уже находится в сульфатной форме, и он не изменяет рН почв, тогда как внесение элементарной серы – снижает. На нейтральных или щелочных почвах при умеренном дефиците серы элементарная сера – самая экономически выгодная

форма удобрения. Эффективно вносить 224-336 кг S/га, и действие серосодержащих удобрений будет сохраняться в течение нескольких лет.

В отдельных частях межгорной зоны наблюдается недостаток калия. Признаки недостатка калия легко различимы (пятнистость и пожелтение краев листовых пластин).

В межгорье штата Калифорния, особенно на почвах с $pH_{H_2O} < 7$, регистрируется недостаток бора и молибдена. Между дефицитом и токсичностью некоторых микроэлементов (особенно бора) существует довольно тонкая грань, поэтому важно применять надлежащие дозы микроудобрений. Их можно вносить разово на несколько лет. Часто их применяют в жидком виде и распыляют в течение периода покоя.

Центральная долина штата Калифорния

Приблизительно 70% люцерны в штате Калифорния производится в Центральной долине, включающую долину р. Сакраменто на севере и долину р. Сан-Хоакин на юге. Поля простираются от дельт р. Сан-Хоакин и р. Сакраменто, расположенных на уровне моря, до северных и южных границ долины, где высота составляет 152 м. Распространены как перегнойные почвы с высоким содержанием органического вещества – вблизи



Недостаток калия у люцерны.



Недостаток серы у люцерны.

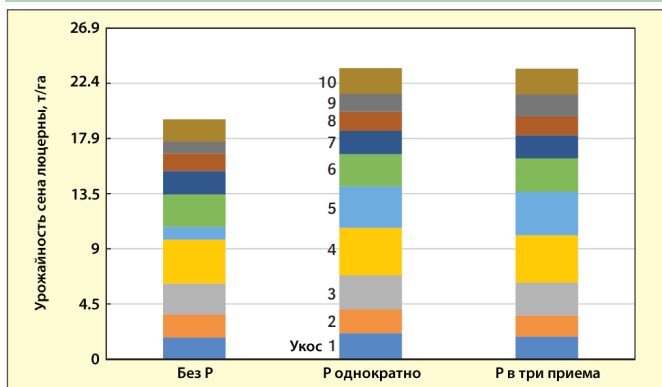


Рис. 1. Урожайность сена люцерны за 10 укосов без внесения фосфорных удобрений, при однократном (131 кг P_2O_5 /га) и трехкратном (по 44 кг P_2O_5 /га) применении аммофоса: г. Бакай, штат Аризона (США), 2015 г. Исходное содержание подвижного фосфора в почве (метод Олсена) – 4 мг Р/кг почвы (Ottman, неопубликованные данные).

дельты рек, так и аллювиальные почвы с высоким содержанием минеральной части, залегающие у подножия горных хребтов и на дне древнего моря. Продолжительный вегетационный период позволяет получать 7-9 укосов за год. Средняя урожайность составляет 17.9 т/га за год, а некоторые производители сообщают о получении до 33.6 т/га. У большинства сортов, выращиваемых в данном регионе, индекс наступления состояния покоя (fall dormancy rating, FDR) составляет 4-9, а в долине р. Сакраменто возделываются сорта с более ранним наступлением состояния покоя.

Наиболее распространен недостаток таких элементов питания, как фосфор, калий и сера. Недостаток фосфора менее характерен для регулярно удобряемых навозом полей в севооборотах с кормовыми культурами, выращиваемыми для молочного скота, поскольку фосфор имеет тенденцию к накоплению в почве, если потребности растений в азоте покрываются за счет использования навоза крупного рогатого скота. Однако при низком содержании фосфора в почве необходимо применение фосфорных удобрений. При переходе в севообороте к люцерне ленточное внесение фосфорных удобрений одновременно с посевом повышает эффективность использования фосфора из удобрений растениями. В сформированных травостоях люцерны гранулированные фосфорные удобрения обычно вносят вразброс в конце зимы перед первым укосом.

Может также наблюдаться и недостаток калия, хотя значительно реже, чем недостаток фосфора. Дефицит калия чаще всего встречается на опесчаненных почвах в восточной части долины р. Сакраменто и северной части долины р. Сан-Хоакин. Для большей части Центральной долины калийные удобрения не требуются. На полях, где плодородие почвы повышается за счет регулярного внесения навоза крупного рогатого скота, недостаток калия маловероятен, но может наблюдаться избыток калия, который отрицательно сказывается на качестве люцернового корма.

Недостаток серы вызывает задержку роста и



Недостаток бора у люцерны.

общее пожелтение растений, но с помощью визуальной диагностики недостаток серы бывает трудно распознать. Он чаще встречается на полях с орошением тальми водами, которые обычно имеют низкое содержание солей. Растительная диагностика – единственный надежный способ выявления недостатка серы. К тому же при подозрении на дефицит серы растительная диагностика должна проводиться в конце зимы после первого укоса, когда пониженная температура почвы замедляет процесс окисления серы до сульфатной формы. При наличии недостатка серы это как раз то самое время года, когда он вероятнее всего выявляется.

Пустыни штатов Калифорния и Аризона

Пустыни штатов Калифорния и Аризона характеризуются жарким сухим климатом, щелочными ($pH_{H_2O} > 7$) и карбонатными (содержащими свободный карбонат кальция – известняк) почвами. В данном регионе чаще всего наблюдается недостаток фосфора из-за высокой фосфатфиксирующей способности почв, в которых водорастворимый фосфор легко переходит в нерастворимые минеральные соединения. Дефицит фосфора наиболее вероятен в течение более прохладных периодов года. Недостаток других элементов питания, например, калия, также возможен в этом регионе, но наблюдается редко.

Была показана неэффективность дробного внесения фосфорных удобрений (рис. 1). Лучший срок для их применения – конец зимы или начало весны, когда растения выходят из состояния покоя, поскольку фосфор вероятнее всего потребуется при относительно низкой температуре почвы весной. При дробном внесении дозы удобрений за каждый прием должны быть настолько высокими, чтобы достигался достаточный уровень обеспеченности почвы подвижным фосфором.

В пустынях штатов Калифорния и Аризона люцерна может по-разному отзываться на разные формы фосфорных удобрений. Фосфор может быть более доступен из подкисляющих почву удобрений, например, из фосфорной кислоты, поскольку при этом меньшее количество фосфора быстро фиксируется почвой. Кроме того, фосфор, внесенный в органической форме, такой как на-

воз, не фиксируется минеральной частью почвы, как это происходит с неорганическими фосфорными удобрениями. Было показано, что для питания люцерны гранулированный аммофос несколько более эффективен, чем внесение полифосфатов аммония с поливной водой (Ottman и др., 2006). При использовании аммофоса наблюдалась тенденция к миграции фосфора в почве на большую глубину, хотя удобство применения полифосфатов аммония с поливной водой также следует принимать во внимание.

В штатах Калифорния и Аризона обеспеченность пустынных почв калием обычно высокая. Однако недостаток калия у люцерны может наблюдаться на песчаных почвах и на почвах, где прежде выращивались культуры, отчуждающие с урожаем большое количество калия, включая саму люцерну и хлопчатник. Недостаток калия легко корректируется за счет применения гранулированных калийных удобрений.

Выводы

Различия в плодородии почв и климате, наблюдаемые при переходе от северной границы штата Калифорния к пустынным долинам штата Аризона, подразумевают использование разных систем применения удобрений, адаптированных к условиям каждого региона. Однако, определение потребности растений в элементах питания на основе потенциальной урожайности и почвенно-растительной диагностики, позволяющей выявить их недостаток, остается неизменным. Знание и

использование потенциальной урожайности для каждого поля в качестве ориентира для установления потребности растений в элементах питания представляет собой универсальный подход. Анализ почвы и растений на содержание фосфора и калия и анализ растений на содержание серы, молибдена и бора – лучшие способы выявления недостатка элементов питания и выработки мер по его коррекции. Это испытанные и действенные методы, способствующие поддержанию высокой урожайности травостоев люцерны в данном регионе.

Г-н Кларк (e-mail: neclark@ucanr.edu) и г-н Орлофф – сельскохозяйственные консультанты Кооперативной консультационной службы Университета штата Калифорния (США).

Д-р Оттман – консультирующий агроном Университета штата Аризона (США) (e-mail: mottman@ag.arizona.edu).

Литература

Orloff, S. 1997. *Intermountain Alfalfa Management*. UCANR Publ 3366.

Ottman, M.J. et al. 2006. *Agron. J.* 98:899-906.

Summers, C. and D. Putnam. 2008. *Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones*. UCANR Publ. 3512.

Редактирование перевода с английского и адаптация: В.В. Носов.

Признаки дефицита элементов питания у люцерны*

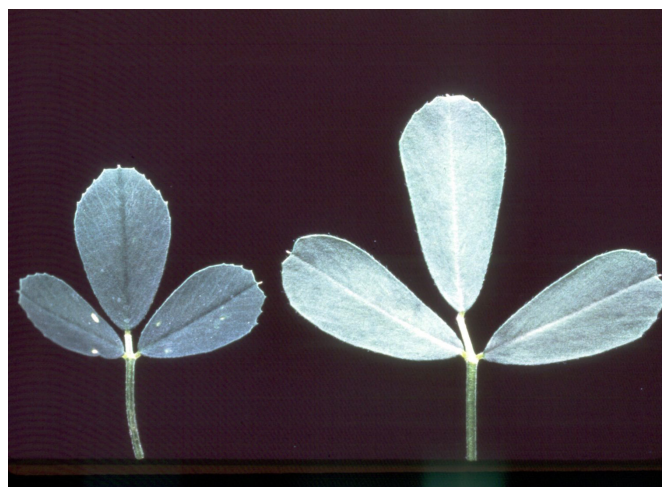
Азот



Недостаток азота у люцерны.

Автор: M. Bagavathiannan, University of Manitoba

Фосфор



Мелкий лист растения при дефиците фосфора и лист здорового растения (справа).

* Фотографии из коллекции Международного института питания растений (IPNI)