

Формирование кормовой базы на перспективу: обоснование пастбищно-полевых севооборотов

А.Дж. Францлюберс

Кормовые культуры – ключевой компонент сохранения природных ресурсов в агроценозах.

Интеграция систем растениеводства и животноводства способствует росту сельскохозяйственного производства и сохранению качества окружающей среды.

Выращивание аборигенных теплолюбивых злаковых трав обеспечивает гибкость производства кормов и биотоплива.

Кормовые культуры включают в себя злаковые, бобовые и другие крупнолистные травянистые растения с большим разнообразием экологических признаков, необходимых для поддержания устойчивых экосистем – ненарушенных степей, посевов окультуренных трав и других полевых культур, ландшафтных посевов или газонов. Кормовые культуры дают ценную биомассу для производства кормов, волокон и биотоплива и эффективно участвуют в круговороте воды и элементов питания, накоплении энергии и обмене CO_2 с атмосферой. Мы не всегда принимаем во внимание эти функции экосистемы, однако при планировании почвозащитных систем сельскохозяйственного производства жизненно важная роль кормовых культур, связанная с поддержанием рек и ручьев чистыми и свободными от поллютантов – удобрений и пестицидов, становится полностью очевидной.

Кормовые культуры продолжают приносить огромную пользу, заключающуюся в сохранении природных ресурсов в агроценозах, однако имеются широкие возможности для расширения перечня данных преимуществ за счет учета воздействий, более прямо связанных с производством и экономическими результатами.

Интегрированные системы растениеводства и животноводства

В ответ на политические и экономические вызовы сельское хозяйство промышленно развитых стран становилось все более и более специализированным, чтобы соответствовать рыночным требованиям разрастающегося сектора пищевой и текстильной промышленности. Например, в США специализация сопровождалась резким сокращением численности фермерских хозяйств – примерно с 6,5 млн в 1920 г. до почти 2 млн в 2016 г., но при этом происходил поразительный рост продуктивности. Современная продовольственная система промышленно развитых стран свыклась с дешевой энергией, предположительно стабильным климатом и деловой средой, формирующей экологические и социальные затраты. К сожалению, специализированные сельскохозяйственные системы, которые упрощают понимание экосистем и происходящих в них процессов, могут приводить к кумулятивному отрицательному воздействию на окружающую среду.

Почвозащитные системы сельскохозяйственного производства, в которых интегрированы и расте-

ниеводство, и животноводство, дают возможность использовать естественные экологические взаимодействия, делая агроэкосистемы более эффективными в плане круговорота элементов питания. Данные системы производства в большей степени основываются на возобновляемых природных ресурсах, улучшают природное функционирование почв и в то же время позволяют фермерам достичь приемлемого или повышенного уровня экономической отдачи. Хотя потребление калорий и белков из растений экологически более эффективно, чем из мяса, сельскохозяйственные животные чрезвычайно важны для устойчивости агроэкосистем, потому что они потребляют корма и растительные остатки, непригодные в качестве пищи для людей и для получения волокон. При прохождении кормов через рубец жвачных животных связанные растениями элементы питания преобразуются в легкоминерализуемые субстраты, что способствует повышению плодородия почв.

Использование пастбищно-полевых севооборотов – одна из наиболее заслуживающих внимания, но недостаточно используемых стратегий повышения плодородия почвы и увеличения запасов органического углерода в почве на площадях, где традиционно возделываются сельскохозяйственные культуры. В пастбищные периоды содержание органического углерода в почве часто увеличивается благодаря развитию корневых систем многолетних растений, глубже и шире осваивающих почву по сравнению с корневыми системами многих однолетних культур и способствующих накоплению органического углерода за счет отмирания. С другой стороны, при выращивании полевых культур в последующие годы содержание органического углерода в почве часто снижается (García-Prechác и др., 2004). Положительное влияние пастбищного периода на почвенные свойства и продуктивность полевых культур было более сильным и сохранялось более продолжительное время, если при возделывании последующих сельскохозяйственных культур применялась нулевая обработка почвы. Предполагается, что использование систем нулевой обработки почвы при выращивании многолетних кормовых трав в севообороте с однолетними культурами способствует повышению содержания органического углерода и азота в почве, то есть поддерживает плодородие почвы и улучшает качество окружающей среды. Изменение почвенных свойств, происходящее за счет использования пастбищно-полевого севооборота, может помочь в

решении проблем, связанных с увеличением количества и повышением качества производимого продовольствия, поддержанием здоровья людей, сохранением разнообразия дикой природы и баланса между воздействием человека и возможностями природы удовлетворять наши потребности.

Почвозащитные пастбищно-полевые севообороты могут быть жизненно важным шагом в трансформировании сельского хозяйства из оказывающего нагрузку на окружающую среду в такую систему, которая продуцирует разнообразие и изобилие продовольственных культур и в тоже время обогащает один из самых драгоценных природных ресурсов – почву. Для решения существующей дилеммы, связанной с продуктивностью продовольственного сектора и качеством окружающей среды, мы должны рассмотреть все возможные пути создания более здоровой почвы. Практическая осуществимость данных севооборотов, конечно, зависит от таких факторов, как форма землевладения и доступ к рынкам животноводческой продукции.

На примере многолетнего опыта – «Делянок Морроу» (Morrow Plots), проводимого в штате Иллинойс (США), можно проиллюстрировать поддержание продуктивности и улучшение здоровья почвы (Nafziger и Dunker, 2011). В данном исследовании урожайность зерна кукурузы в двух- и трехпольных севооборотах с однолетними и многолетними кормовыми травами была выше, чем в монокультуре. Севообороты с кормовыми травами способствовали увеличению содержания органического углерода в почве и урожайности кукурузы, что может объясняться изменением физических, химических и биологических свойств почвы. Изменение содержания органического углерода в почве на одну единицу (г С/кг почвы) повысило урожайность зерна кукурузы на 0.25 т/га в течение 1905-1967 гг., на 0.31 т/га – в течение 1968-1997 гг. и на 0.69 т/га – в течение 1998-2009 гг. Таким образом, вероятный рост урожайности зерна, связанный с улучшением почвенных свойств, может помочь компенсировать неполучение зерна в годы выращивания кормовых трав в пастбищно-полевом севообороте. Получаемые при этом травы используются для выпаса, кормления скота или производства биотоплива, однако они также жизненно необходимы для формирования более здоровой почвы. Дополнительные преимущества от введения почвозащитного пастбищно-полевого севооборота потенциально значимы, поскольку кормовые травы могут быть скормлены животным или проданы, что обеспечивает экономическую выгоду, а также снижает потребности производственной системы во внешней энергии.

Прогнозируется, что почвозащитные пастбищно-полевые севообороты снизят потребность во внесении азота по сравнению с традиционными высокоинтенсивными системами земледелия, поскольку: а) накопление углерода в почве обычно сопровождается сохранением содержания азота, входящего в состав органического вещества почвы; б) в пастбищную травосмесь могут включаться бобовые культуры, обладающие способностью к биологиче-

ской фиксации N_2 ; в) за счет биологически активного органического вещества поверхностного слоя почвы потери азота должны минимизироваться, так как при этом ограничиваются потери с поверхностным стоком и вымыванием и эмиссия газообразных веществ. Пастбища с бобовыми кормовыми травами (например, люцерной, клевером, горохом и викой) высокоэффективны для повышения питательной ценности кормов для выпасаемых животных, и при этом сокращаются энергетические и финансовые затраты на применение азотных удобрений. Ключевая область научных исследований, требующая дальнейшего изучения, – количественная оценка минерализации органического азота почвы при чередовании пастбищных и полевых культур в севообороте. В настоящее время апробируется способ определения здоровья почвы исходя из оценки биологической активности почвы и ее влияния на минерализацию азота (Franzluebbers, 2016). Метод почвенного анализа с применением модифицированного подхода теперь коммерчески доступен (см. <https://solvita.com/soil>). Если кормовая культура убрана и вывезена с поля, возникает необходимость в возмещении отчуждения фосфора, калия и других элементов питания с урожаем. Необходимы дополнительные исследования для уточнения рекомендаций при анализе почв, отобранных с сельскохозяйственных угодий с разной историей пользования. Это особенно актуально для тех угодий, где исторически произошел переход от выращивания кормовых трав к возделыванию однолетних культур, а также для деградированных земель, где за счет использования пастбищно-полевых севооборотов и выращивания почвопокровных культур стало достигаться большее растительное разнообразие и стал применяться навоз.

Производство биотоплива из многолетних культур

Биотопливо – возобновляемый источник энергии. При этом солнечная энергия преобразуется в энергию, запасаемую в углеводах растений, образование которых идет с поглощением CO_2 из атмосферы, а обратное выделение CO_2 в атмосферу происходит во время сгорания. С учетом относительно низких энергозатрат при производстве многолетних кормовых трав (тракторное топливо, энергозатраты на внесение удобрений и т.д.) биотопливо, полученное из такого лигноцеллюлозного сырья, по уровню энергоэффективности представляет собой перспективную альтернативу другим видам биотоплива. Действительно, при производстве этанола из проса прутьевидного по сравнению с зерном кукурузы выделялось меньшее количество парниковых газов (0.02 против 0.09 г CO_2 /кДж) и производилось большее количество энергии (128 против 36 МДж/га/год) (Hoefnagels и др., 2010).

Многие виды многолетних кормовых трав могут быть пригодны для производства биотоплива. Ключевые виды, которые следует принимать во внимание во многих регионах США, особенно на юге, – это

растения с С4-типом фотосинтеза. Потенциальная продуктивность сформированного травостоя при этом высокая, а потребность в элементах питания – сравнительно низкая. Годовая урожайность биомассы четырех сортов проса прутьевидного, выращиваемых в восьми районах на юго-востоке США, составила 12.8 ± 3.6 т/га (Fike и др., 2006). После формирования травостоя производство длилось в течение 3-5 лет при ежегодном внесении 100 кг N/га, 18-46 кг P_2O_5 /га и 0-76 кг K_2O /га. В восточной части штата Северная Каролина (США) на обогащенных элементами питания полях, орошаемых из отстойников свиноводческих комплексов, годовая урожайность свиной пальчатой составила 6.1 т/га при отчуждении с урожаем 95 кг N/га, 31 кг P_2O_5 /га и 157 кг K_2O /га (Wang, 2016). В связи с высокой продуктивностью и кормовой ценностью для животных, а также высоким выносом элементов питания свиной пальчатый традиционно выращивался на корм на орошаемых сточными водами полях. Однако некоторые альтернативные кормовые растения могут быть еще более ценными, как, например, просо прутьевидное, дававшее в среднем 14.3 т/га при отчуждении с урожаем 125 кг N/га, 40 кг P_2O_5 /га и 260 кг K_2O /га. Соответствующие величины для мискантуса гигантского составили 16.1 т/га, 151 кг N/га, 48 кг P_2O_5 /га и 225 кг K_2O /га.

Хотя формирование травостоя аборигенных теплолюбивых злаковых трав считается трудным, существует множество успешных примеров создания продуктивных травостоев ко второму году пользо-

вания (Keyser и др., 2016). Как показали исследования, за счет внесения большего количества азотных удобрений и проведения частых укосов в начале вегетационного периода получают корма с достаточно высокой питательной ценностью. Аборигенные теплолюбивые злаковые травы могут быть особенно ценными для повышения потенциальной продуктивности малопродуктивных сельскохозяйственных земель, а также для выпаса жвачных животных в лесопастбищных комплексах в сочетании с древесными породами и (или) для производства биотоплива.

Не надо забывать, что кормовые травы – ключевая составляющая почвозащитных мероприятий

Кормовые травы обладают множеством преимуществ, связанных с качеством окружающей среды и защитой почв и способствующих улучшению их здоровья. Глубокопроникающие корневые системы травяных угодий, включая многолетние кормовые травы, и связанные с ними биологические формы жизни (особенно дождевые черви как визуальный индикатор) улучшают структуру и воздухопроницаемость почвы, облегчают инфильтрацию влаги и, таким образом, способствуют поддержанию аэробных условий в почве. Одно из ключевых преимуществ почвы, в течение десятилетий находившейся под многолетними кормовыми травами, – высокое содержание органического вещества вблизи по-



Выпас коров на аборигенных теплолюбивых злаковых травах в лесопастбищном (комбинирующем на одном угодье деревья или кустарники и совместимые кормовые травы) эксперименте вблизи г. Голдсборо, штат Северная Каролина (США).

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/aer2015.11.0009.
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-