

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ. РОСЛИННИЦТВО. ЗЕМЛЕРОБСТВО. СЕЛЕКЦІЯ

УДК 631.847.211
© 2015

И.Х. УЗБЕК,
доктор биологических наук

П.В. ВОЛОХ,
А.А. МЫЦЬК,
кандидаты сельскохозяйственных наук

Днепропетровский государственный
аграрно-экономический университет,
Украина

E-mail: uzbek_ivan@mail.ru

ЗНАЧЕНИЕ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ЛЮЦЕРНЫ И ЭСПАРЦЕТА В ТОЛЩЕ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ

Встановлено, що в середовищі відпрацьованих кар'єрних територій зростають тільки ті види рослин, які володіють високою екологічною пластичністю своїх корневих систем. Це бобові культури, насамперед люцерна і еспарцет, здатні фіксувати азот з атмосфери. Найбільша кількість бульбочок виявлена в насипному шарі ґрунтової маси. У червоно-бурих і сіро-зелених глинах бульбочки люцерни та еспарцету утворювалися здебільшого у верхньому 40-сантиметровому шарі порід (78–98 %). Підраховано, що корені люцерни спільно з бульбочковими бактеріями і вільноіснуючими азотфіксаторами щорічно можуть накопичувати в шарі 0–20 см близько 350 кг/га азоту.

Ключові слова: відвальна маса, рекультивация, екотоп, бульбочки бактерій.

Постановка проблеми. Большая сложность при освоении нарушенных земель заключается в том, что такие новообразования (экотопы) представляют собой смесь геологических пород с различными свойствами и возможностями. В таком случае разработать единую агротехнику, приемлемую для возделывания культур на всех экотопах, практически невозможно. Только со временем в толще отвальной массы поселяются, выживают и развиваются те виды растений, которые обладают высокой экологической пластичностью корневых систем. Она-то и позволяет им приспособиться к жестким условиям техногенной среды. Эти виды растений были установлены специально проведенными геоботаническими исследованиями на разновозрастных отвалах карьеров Орджоникидзевского горно-обогатительного комбината [1].

Оказалось, что, непрерывно накапливаясь и отмирая в толще экотопов, корни насыщают их органическим веществом. К тому же на поверхности корней образуется слизистый

слой, который представляет собой превосходный питательный материал, способствующий интенсивному развитию микроорганизмов. Под воздействием этих двух экологических факторов начинает интенсивно развиваться почвообразовательный процесс и накапливаются элементы почвенного плодородия.

Справедливости ради, следует отметить, что в толще естественно образованных почв корневая система не испытывает такого большого влияния атмосферной среды, как наземная часть растений. Здесь корни функционируют в сравнительно однородных условиях и почти не подвержены воздействию резко изменяющихся экологических факторов. Такая ситуация привела даже к ошибочным высказываниям известного биолога Н. З. Станкова [2], который писал: “Все это дает основание считать корень более примитивным органом по сравнению с наземными частями растения”.

Наши многолетние исследования, проведенные на участках рекультивации, позво-

ляют утверждать, что подземная часть растений не в меньшей степени, чем надземная, является сложным, еще далеко не изученным органом, выполняющим многообразные биологические функции. Например, установлено, что корневая система растений проявляет все свои генетические возможности только в том случае, если она функционирует в сложных почвенно-экологических условиях. Когда растение произрастает на вскрышных горных породах, его рост, развитие и даже внешний вид целиком и полностью зависят от “работоспособности” корневой системы, от того, в какой степени соответствуют своеобразные экологические условия отвалной среды биологическим особенностям растения.

Изучение этих соответствий и особенностей позволило выявить те виды культурных растений, которые способны произрастать в неестественной для них техногенной среде. Это создало возможность рекультивировать отработанные карьерные участки и передавать их в сельскохозяйственное производство. Однако освоение таких земель сильно затруднено. Прежде всего потому, что очень остро ощущается большой дефицит азота. На этот факт указывает то обстоятельство, что культуры, относящиеся к семействам злаковых, гречишных, маревых и тыквенных, при отсутствии азотного питания в экотопе дают очень слабые всходы. Как правило, они быстро погибают. Продолжительность их роста и развития определяется биологией растения и приспособленностью его корневой системы к жестким почвенно-климатическим условиям. На таких землях недостаток азота могут восполнить только бобовые культуры, особенно многолетние бобовые травы. Это подтверждают результаты многолетних исследований [3–6], согласно которым способность бобовых фиксировать азот атмосферы позволяет им на рекультивированных землях получать урожаи, близкие к урожаю на соседних старопахотных участках.

Анализ последних исследований и публикаций. К сожалению, за последние десятилетия в научной литературе информации о клубеньковых бактериях практически нет. Поэтому мы вынуждены пользоваться источниками, опубликованными в конце XX века.

Именно тогда профессор Л.М. Доросинский [7] отмечал, что во всех почвах мира азот находится в первом минимуме. Такую ситуацию он объяснял тем, что из общего его количества, исчисляющегося 5–15 тыс. кг/га, использоваться растениями могут только подвижные формы, составляющие приблизительно 1 %. При этом количестве азота, ежегодно связываемого клубеньковыми бактериями, составляет 2 млн тонн, что соответствует 9,5 млн тонн сульфата аммония.

Приведем еще один пример. По расчетам Г.С. Муромцева и Б.Ф. Ванюшина [8], клубеньковые бактерии в симбиозе с бобовыми растениями фиксируют ежегодно из воздуха около 3 млн тонн азота, а свободно живущие азотфиксаторы – не меньше 2 млн тонн.

Механизм этого сложного процесса фиксации азота из атмосферы еще полностью не изучен. З.М. Яковлева [9], например, утверждает, что первым устойчивым продуктом азотфиксации является аммиак. Она пишет: “Образование свободного аммиака в клубеньках гармонично сочетается с активностью ферментной системы клубеньков и корней, осуществляющих его дальнейшие превращения. Ассимиляция аммиака зависит от притока в корни метаболитов фотосинтеза”.

Сейчас уже точно установлено, что в корневые волоски бобового растения проникают подвижные палочковидные клубеньковые бактерии. В тканях корня они быстро размножаются и переходят в форму так называемых бактериоидов. Это крупные, округлые, грушевидные или ветвистые, изогнутые клетки, которые могут усваивать атмосферный азот.

При этом каждая бобовая культура имеет свою группу клубеньковых бактерий, с которой она и осуществляет процесс азотфиксации. Например, в группу люцерны входят бактерии *Rhizobium meliloti*, а в группу эспарцета – *Rhizobium simplex*.

Подчеркнем, что вся информация о клубеньковых бактериях и их роли в земледелии относится к растениям, возделываемым на природных почвах. К сожалению, нам неизвестны публикации по изучению клубеньков у растений, возделываемых на рекультивируемых землях, и поэтому сравнить полученные нами данные с другими ис-

точниками возможности не представляется.

Целью наших исследований было определение количества и массы клубеньков бактерий люцерны и эспарцета как резерва обеспечения горных пород азотом.

Материалы и методы. Исследования проводили на опытных участках Запорожской биоэкологической станции мониторинга техногенных ландшафтов в Никопольском районе Днепропетровской области. Эти участки были сложены лессовидными суглинками, слоем массы южного чернозема, насыпанного на эти суглинки, а также красно-бурыми и серо-зелеными глинами. Участки состояли из делянок, площадью по 200 м². Расстояние между делянками 2 м. Контролем служил участок ненарушенного старопахотного поля южного чернозема, расположенного вблизи карьеров.

Минеральные удобрения вносили из расчета 80 кг действующего вещества на 1 га в виде: азот – аммиачной селитры, фосфор – гранулированного суперфосфата, калий – калийной соли. Повторность вариантов в опытах была пятикратной.

В отвалной массе пород опытных участков содержались незначительные запасы валовых и подвижных форм фосфора, калия и особенно азота. Количество элементов питания сильно варьировало и зависело от гранулометрического состава. Так, содержание легкогидролизуемого азота составляло 0,50–1,24 мг/100 г, подвижного фосфора – 0,31–1,80 мг и обменного калия – 26–84 мг на 100 г навески. Содержание гумуса находилось в пределах 0,05–0,95 %. Понятно, что породы, имеющие такие показатели, создают очень сложную среду, существенно влияющую на жизнедеятельность корневой системы растений. Об этом свидетельствуют наши опыты с люцерной и эспарцетом. Массу их корней определяли рамочным способом Н.З. Станкова [2] в предлагаемой нами модификации [10]. Учет количества и массы клубеньков проводили в фазу массового цветения растений одновременно с учетом массы корней по слоям через каждые 10 см до глубины 2 м.

Заметим, что инокуляцию мы не проводили. Заражение клубеньковыми бактериями корневых систем люцерны и эспарцета про-

исходит в основном через семена при посеве, что подтверждают многие исследователи. Кроме того, клубеньковые бактерии заносятся на рекультивируемые земли и с эоловыми наносами с соседних старопахотных участков вследствие длительного возделывания на них люцерны и эспарцета.

Результаты исследований подвергали математической обработке общепринятыми методами [11], которые позволяют считать полученный нами экспериментальный материал вполне достоверным.

Изложение основного материала исследований. Различные экотопы создают и различные условия для образования клубеньков (таблица). Наибольшее их количество было обнаружено в насыпном слое почвенной массы. В каждом из вариантов опыта в метровой толще экотопа на одном растении 3-го года жизни в среднем насчитывалось: 107–131 клубенек у эспарцета и 71–128 клубеньков – у люцерны. Такое количество клубеньков эспарцета соответственно в 1,5–1,8 и в 2,0–4,0 раза больше, чем их было у таких же растений, возделываемых на зональном полнопрофильном южном черноземе. У люцерны, в отличие от эспарцета, около 60–66 % клубеньков располагалось ниже слоя почвенной массы, т.е. на большой глубине, в лессе. Эта закономерность прослеживалась у люцерны и в вариантах, сложенных сравнительно однородными лессовидными суглинками (таблица).

В третичных отложениях, представленных красно-бурыми и серо-зелеными глинами, клубеньки люцерны и эспарцета образовывались в основном только в верхнем 40-сантиметровом слое пород. Тяжелый гранулометрический состав этих экотопов создает условия, близкие к анаэробным, что, вероятно, и является ограничивающим фактором для поселения клубеньковых бактерий и их развития на корнях бобовых растений. Поэтому здесь 78–98 % клубеньков сосредоточивается в самых верхних слоях. При всех прочих равных условиях количество клубеньков у люцерны всегда было меньше, чем у эспарцета. С глубиной клубеньки становятся все мельче и у эспарцета, а на глубине 150–200 см они практически отсутствуют.

*Количество и масса клубеньков люцерны и эспарцета**

Вариант	Люцерна		Эспарцет	
	на одно растение 3-го года жизни в слое			
	0–40 см	0–100 см	0–40 см	0–100 см
Неудобренный полнопрофильный чернозем южный	$\frac{14}{0,10}$	$\frac{30}{0,17}$	$\frac{56}{0,53}$	$\frac{72}{0,65}$
Неудобренный слой почвенной массы	$\frac{43}{0,09}$	$\frac{128}{0,32}$	$\frac{97}{0,45}$	$\frac{131}{0,60}$
Удобренный $N_{80}P_{80}K_{80}$ слой почвенной массы	$\frac{29}{0,05}$	$\frac{71}{0,23}$	$\frac{92}{0,42}$	$\frac{107}{0,58}$
Неудобренный лессовидный суглинок	$\frac{18}{0,04}$	$\frac{36}{0,11}$	$\frac{69}{0,28}$	$\frac{92}{0,37}$
Удобренный $N_{80}P_{80}K_{80}$ лессовидный суглинок	$\frac{13}{0,03}$	$\frac{23}{0,05}$	$\frac{58}{0,42}$	$\frac{66}{0,56}$
Неудобренная красно-бурая глина	$\frac{40}{0,07}$	$\frac{43}{0,08}$	$\frac{44}{0,31}$	$\frac{45}{0,32}$
Удобренная $N_{80}P_{80}K_{80}$ красно-бурая глина	$\frac{36}{0,06}$	$\frac{40}{0,07}$	$\frac{38}{0,31}$	$\frac{39}{0,32}$
Неудобренная серо-зеленая глина	$\frac{23}{0,05}$	$\frac{31}{0,08}$	$\frac{28}{0,21}$	$\frac{28}{0,21}$
Удобренная $N_{80}P_{80}K_{80}$ серо-зеленая глина	$\frac{19}{0,04}$	$\frac{24}{0,05}$	$\frac{25}{0,17}$	$\frac{28}{0,18}$
НП _{0,95}	3,1	3,4	4,2	5,1

* Здесь: числитель – количество клубеньков, шт.; знаменатель – их масса, г.

Образование клубеньков у люцерны и у эспарцета, их численность и масса зависят от соответствующих физико-химических свойств экотопа, особенно его плотности, скважности (порозности), pH, гранулометрического состава и содержания элементов питания. Таким требованиям наиболее полно отвечают четвертичные отложения. Это массы горизонтов Н, Нр и рН, уложенные на поверхность выровненных лессовидных суглинков, и лессовидные суглинки с верхнего уступа карьера.

Внесение полного минерального удобрения снижает вирулентность клубеньковых бактерий, т.е. их способность проникать через корневые волоски в корень растения и вызывать там образование клубеньков. Это наблюдается в слое 0–40 см при сравнении удобренных и неудобренных однотипных экотопов. В толще горных пород без внесе-

ния удобрений количество клубеньков, приходящихся на одно растение люцерны или эспарцета, всегда превышало их численность в таком же слое удобренных.

По мере затухания действия удобрений вирулентность возрастала. Подтверждением этому может служить то обстоятельство, что в верхнем 40-сантиметровом слое удобренного $N_{80}P_{80}K_{80}$ лессовидного суглинка на корнях эспарцета первого года жизни образовывалось всего 5 клубеньков, причем очень мелких. Ровно через год в этом же варианте уже насчитывалось в среднем на одно растение 32, а еще через год – 63 крупных клубенька коричневого цвета. Следовательно, заражение корневых волосков люцерны и эспарцета клубеньковыми бактериями и интенсивность образования клубеньков зависят от содержания азотистых веществ в

тканях растений. Возделывание люцерны и эспарцета на почти безгумусовых, несодержащих азотистых соединений экотопах приводит к ослаблению сопротивления клеток корневых волосков проникновению в них клубеньковых бактерий. Получается, что в условиях техногенных ландшафтов решающее значение в сложном процессе клубенькообразования имеют физиологическое состояние растения и физико-химические возможности экотопа.

Если принять массу клубеньков, образованных на полнопрофильном черноземе, за эталон естественного совершенства, то очень похожими показателями характеризуется только насыпной слой чернозема. В метровой толще этого варианта в среднем на одно растение эспарцета приходилось 0,23–0,32 г массы клубеньков, у люцерны – 0,58–0,60 г.

Меньше всего клубеньков было в метровой толще третичных глинистых отложений. Здесь в вариантах без внесения удобрений в среднем на одно растение эспарцета приходилось 0,23–0,21 г клубеньковой массы, а у люцерны – только 0,08 г. Неудобренные лессовидные суглинки в сравнении с красно-бурыми и серо-зелеными глинами оказались более пригодным субстратом для развития клубеньковых бактерий. В слое лесса 0–100 см масса клубеньков на одно растение эспарцета в среднем составляла 0,37 г, а у люцерны – 0,11 г.

В третичных глинистых отложениях у люцерны и эспарцета образовывались клубеньки светло-розового и светло-коричневого цвета, но очень мелкие по размеру. Причем основная их часть (75–100 %) располагалась в слое 0–40 см. Так, в неудобренной 40-сантиметровой толще красно-бурых глин в пересчете на одно растение эспарцета образовывалось в среднем 0,23 г клубеньковой массы, а люцерны – 0,07 г. В неудобренной серо-зеленой глине эти показатели уменьшались до 0,21 и 0,05 г соответственно. Следовательно, пригодность экотопов к образованию клубеньков у люцерны и эспарцета растет от серо-зеленых и красно-бурых глин до лессовидных суглинков и насыпного слоя черноземной массы.

Клубеньки у эспарцета во всех вариантах опыта, как правило, сосредоточивались в

слое 0–40 см. У люцерны эта закономерность наблюдалась только в третичных глинистых отложениях. В вариантах с лессовидными суглинками и с насыпным слоем почвенной массы клубеньки у люцерны образовывались и на больших глубинах. Клубеньки у эспарцета, вероятно, более требовательны к физико-химическим свойствам экотопа и поэтому редко и в меньших количествах, чем клубеньки у люцерны, образовывались глубже 60-сантиметровой толщи.

Качественные показатели экотопа оказывают значительное влияние не только на количество образующихся клубеньков и их распределение в толще пород, но и на массу каждого отдельно взятого клубенька. Средняя масса клубенька на корнях одного растения эспарцета в слое 0–40 см была в 1,3–4,0 раза больше средней массы клубенька, снятого с корней люцерны. Отметим, что ни на одном из изучаемых экотопов средняя масса одного клубенька, как у эспарцета, так и у люцерны, не достигала величины той массы, которая характерна для этих культур в толще зональной почвы. Улучшение условий питания растений способствовало повышению этого показателя, т.е. клубеньки оставались мелкими.

На рекультивируемых участках жизнедеятельность корневых систем люцерны и эспарцета проходит при постоянных стрессовых воздействиях таких экологических факторов, как pH, температура, влажность, скважность, гумусированность и т.д. Естественно, что эти факторы оказывают огромное влияние на процесс клубенькообразования у люцерны и эспарцета. Обращает на себя внимание тот факт, что клубеньковые бактерии исследуемых растений быстро адаптировались к экстремальным условиям толщ отвальной массы и приживались там. Причем клубеньковые бактерии эспарцета, в отличие от клубеньковых бактерий люцерны, проявили большую экологическую пластичность, соответствующую качественным показателям экотопа.

Клубеньки люцерны, по-видимому, интенсивно усваивали молекулярный азот, на что показывает их светло-розовая и светло-коричневая окраска. Клубеньки у эспарцета

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ. РОСЛИННИЦТВО. ЗЕМЛЕРОБСТВО. СЕЛЕКЦІЯ

Значение клубеньковых бактерий люцерны и эспарцета в толще техноэкосистем

чаще всего представляли собой светло-коричневые и коричневые образования, располагающиеся в верхнем слое экотопов, у основания главного корня. Они обнаруживались только через 2,5–3 месяца после появления всходов.

Клубеньки люцерны почти во всех вариантах опытов в слое 0–20 см имели светло-розовую окраску. В третичных глинистых отложениях этот цвет клубеньков сохранялся до глубины 30–40 см. В остальной толще они окрашивались в светло-коричневые тона. Клубеньки, обнаруженные в зональной почве, имели такой же цвет, что отражает их активную деятельность по накоплению

элементов питания. Об этом свидетельствуют наши исследования, согласно которым в клубеньках, обитающих в толще отвальной массы, содержится 15–37 кг/га азота, 4–7 кг фосфора, 6–8 кг калия и 15–35 кг/га кальция. В условиях техногенных ландшафтов степной зоны Украины корни, например люцерны, совместно с клубеньковыми бактериями и свободноживущими азотфиксаторами ежегодно могут накапливать в слое 0–20 см в среднем около 350 кг азота на 1 га. Это очень значимый показатель, характеризующий средообразующую роль корневых систем люцерны и эспарцета, возделываемых на рекультивируемых землях.

Выводы

1. В условиях техногенных ландшафтов степной зоны Украины клубеньковые бактерии люцерны и эспарцета легко адаптируются, поскольку обладают большой экологической пластичностью, которая соответствует качественным свойствам экотопа.

2. Образование клубеньков бактерий у люцерны и эспарцета, фиксация ими молекулярного азота является эффективным сред-

ством формирования плодородия молодых почв техногенных экосистем.

3. Корни люцерны 3-го года жизни, совместно с клубеньковыми бактериями и свободноживущими азотфиксаторами, ежегодно накапливают в слое 0–20 см в среднем 350 кг/га азота, что убеждает в средообразующей роли корневых систем люцерны и эспарцета, возделываемых на рекультивируемых землях.

Бібліографія

1. О рекультивации земель в Степи Украины / [Н.Е. Бекаревич, Н.Д. Горобец, А.А. Колбасин и др.]. – Днепропетровск: Промінь, 1971. – 218 с.

2. Станков Н.З. Методы взятия корней в поле / Н.З. Станков // Доклады ВАСХНИЛ. – 1951. – № 11. – С. 121–126.

3. Масюк Н.Т. Изучение растительности, пород и образующихся почв на участках открытых разработок в Никопольском марганцеворудном бассейне (материалы к биологической рекультивации): автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. биол. наук / Н.Т. Масюк. – Днепропетровск, 1968. – 37 с.

4. Узбек И.Х. Возделывание некоторых сельскохозяйственных культур на породах открытых разработок марганца в Никопольском районе Днепропетровской области: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. с.-х. наук / И.Х. Узбек. – Одесса, 1969. – 32 с.

5. Волох П.В. Рекультивация отработанных карьеров Малышевского месторождения полиметаллических руд с возделыванием на них сельскохозяйственных культур: автореф. дис. на соиск.

ученой степени канд. с.-х. наук / П.В. Волох. – Каменец-Подольский, 1985. – 24 с.

6. Мицик О.О. Сільськогосподарське використання рекультивованих земель Керченського залізрудного родовища: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г наук / О.О. Мицик. – Дніпропетровськ, 1998. – 22 с.

7. Доросинский Л.М. Биологический азот и его роль в земледелии / Л.М. Доросинский. – Л.: Колос, 1976. – С. 83–125.

8. Муромцев Г.С. Биотехнология на службе сельского хозяйства / Муромцев Г.С., Ванюшин Б.Ф. – М.: Знание, 1989. – № 11. – 63 с. – (Серия: Сельское хозяйство).

9. Яковлева З.М. Бактероиды клубеньковых бактерий / З.М. Яковлева. – Новосибирск: Наука, 1975. – 172 с.

10. Узбек И.Х. Метод вивчення корневих систем рослин / И.Х. Узбек // Вісник аграр. науки. – 2002. – № 10. – С. 27–30.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 329 с.

Рецензент – доктор сельскохозяйственных наук, профессор О.П. Якунин