

Таким образом, разработанная экологически безопасная технология переработки свекловичного жома позволяет в едином цикле получить пектин – функциональный продукт для пищевой и фармацевтической промышленности, а также возобновляемое биотопливо (биогаз), решая глобальную экологическую проблему обеззараживания и утилизации отходов.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаева В. В. Исследование кислотного и ферментативного гидролиза пеллет из рапсовой соломы / В. В. Будаева, Е. И. Макарова, Е. А. Скиба и др. // Химия и переработка растительного сырья. – 2013. – № 3. – С. 173–179.

2. Варфоломеев С. Д. Энергоносители из возобновляемого сырья. Химические аспекты. / С. Д. Варфоломеев, И. И. Моисеев, Б. Ф. Мясоедов // Вестн. РАН. – 2009. – Т. 79. – № 7. – С. 595–604.

3. Голубев В. Н. Пектин: химия, технология, применение / В. Н. Голубев, Н. П. Шелухина // Изд-во АТН РФ, М.: 1995. – 387 с.

4. Донченко Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов // М.: ДеЛи, 2007. – 276 с.

5. Миндубаев А. З. Метаногенез: Биохимия, Технология, Применение / А. З. Миндубаев, Д. Е. Белостоцкий, С.Т. Минзанова и др. // Ученые записки КГУ, Серия естественные науки. – 2010. – Т. 152. – Кн. 2. – С. 178–191.

6. Миндубаев А. З. Стимулирующее влияние сухой фитомассы амаранта *Amaranthus cruentus* на биометаногенез в трудноферментируемых субстратах / А. З. Миндубаев, С. Т. Минзанова, Е. В. Скворцов и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 4. – С. 220–226.

7. Минзанова С. Т. Пектины из нетрадиционных источников: технология, структура, свойства и биологическая активность / С. Т. Минзанова, В. Ф. Миронов, А. И. Коновалов и др. – Казань: Изд-во «Печать-Сервис-XXI век». 2011. – 224 с.

8. Офицеров Е. Н. Углеводы амаранта и их практическое использование / Е. Н. Офицеров, В. И. Костин. – Ульяновск, 1999. – 183 с.

9. Харина М. В. Высокотемпературный гидролиз свекловичного жома сернистой кислотой / М. В. Харина, В. М. Емельянов // Башкирский химический журнал. – 2013. – № 3. – С. 54–57.

10. Biogas. Ed by S.Kumar. Publ. by InTechO, Croatia, 2012. – 412 p. (ISBN 978–953–51–0204–5).

УДК 631.95:581.5

РИЗОСФЕРНЫЙ ИНДЕКС КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ БОБОВЫХ ТРАВ В СМЕШАННЫХ ПОСЕВАХ НА КАРБОНАТНЫХ ПОЧВАХ

Думачева Елена Владимировна

доктор биологических наук, доцент, институт управления ФГАОУ ВПО «Белгородский национальный исследовательский университет», **Россия**, 308015; г. Белгород, ул. Победы, 85, dumacheva@bsu.edu.ru

Чернявских Владимир Иванович

доктор сельскохозяйственных наук, ботанический сад ФГАОУ ВПО «Белгородский национальный исследовательский университет», **Россия**, 308015; г. Белгород, ул. Победы, 85, cherniavskih@mail.ru

Авторами разработан относительный показатель – ризосферный индекс (РИ) – соотношение содержания различных химических элементов и pH_{KCl} в ризосфере и вне ризосферы. Ризосферный индекс позволяет выявить общую направленность почвенно-ризосферных процессов у бобовых трав в прикорневой зоне и вне ее. Изучали возможность использования ризосферного индекса для ускоренного выявления устойчивых форм в условиях конкуренции со злаками и без нее на карбонатных почвах. Установлено, что низкие ризосферные индексы основных агрохимических показателей и повышение индекса pH_{KCl} тесно коррелируют с величиной семенной продуктивности и устойчивостью бобовых трав. Отбор по этим показателям может ускорить выделение особей, обладающих конкурентными преимуществами в смешанных посевах на карбонатных почвах.

Ключевые слова: бобовые травы, *Medicago varia*, *Medicago falcata*, *Lotus corniculatus*, смешанные посевы, карбонатные почвы, ризосферный индекс, репродуктивное усилие, адаптивные стратегии

RIZOSFERNY INDEX AS THE INDICATOR OF COMPETITIVENESS OF BEAN HERBS IN THE MIXED CROPS ON CARBONATE SOILS

Dumacheva E. V., Chernyavskih V. I.

Authors developed a relative indicator – the rizosferny index (RI) – a ratio of the content of various chemical elements and рН_{KCl} in a rizosfer and out of rizosfer. The Rizosferny index allows to reveal the general orientation soil ризосферных processes at bean herbs in a radical zone and out of it. Studied possibility of use of a rizosferny index for the accelerated identification of steady forms in the conditions of the competition to cereals and without it on carbonate soils. It is established that low rizosferny indexes of the main agrochemical indicators and increase of the рН_{KCl} index closely correlate with the size of seed efficiency and stability of bean herbs. Selection on these indicators can accelerate allocation of the individuals having competitive advantages in the mixed crops on carbonate soils.

Keywords: bean herbs, *Medicago varia*, *Medicago falcata*, *Lotus corniculatus*, the mixed crops, carbonate soils, a rizosferny index, reproductive effort, adaptive strategy

Введение. Разработка комплексного подхода к созданию смешанных агрофитоценозов с участием многолетних бобовых и злаковых трав с учетом эколого-ценотических особенностей их взаимодействия направлена на восстановление продуктивности карбонатных почв и склоновых земель, широко распространенных на юге Среднерусской возвышенности. Однако возникают сложности при попытках идентификации адаптивных агроценопопуляций бобовых трав, оценки их экологической устойчивости и приспособленности на карбонатных почвах, а также отсутствие четких принципов отбора замедляет создание агроэкосистем с высокой продуктивностью в условиях эрозионных ландшафтов региона. В связи с этим разработка принципов идентификации конкурентоспособных агроценопопуляций многолетних бобовых трав становится важной задачей, решение которой необходимо для создания агроэкосистем с высокой продуктивностью на карбонатных почвах Центрально-Черноземного региона.

Установлено, что у бобовых трав дифференциация агроценопопуляций при конкуренции со злаками за ресурсы экотопа наиболее выражена, начиная с 4-го года жизни [1, 3, 8]. В результате элиминации малолетних и неустойчивых форм выделяются малочисленные агроценопопуляции многолетних бобовых трав, обладающие комплексом признаков устойчивости и конкурентоспособности в этих условиях. Для ускоренного выявления таких форм разработан относительный показатель – ризосферный индекс (РИ) – соотношение содержания различных химических элементов и рН_{KCl} в ризосфере и вне ризосферы. Данный показатель позволяет выявить общую направленность почвенно-ризосферных процессов у бобовых трав в прикорневой зоне и вне ее [1]. Изучали возможность использования ризосферного индекса как показателя экологической устойчивости бобовых трав для ускоренного выявления устойчивых форм в условиях конкуренции со злаками и без нее на карбонатных почвах.

Материалы и методы исследования. Опыты проводились в Ботаническом саду НИУ «БелГУ». Склон северо-восточной экспозиции 3⁰. Почва чернозем типичный карбонатный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на лессовидном суглинке, подстилаемом элювием мела. Содержание гумуса 3,93–4,01 %, рН_{KCl} 7,31–7,33. Опыт был заложен по двухфакторной схеме методом организованных повторений и включал 10 вариантов: 5 – одновидовые посевы бобовых трав и 5 – злаково-бобовые травосмеси. В исследования были включены многолетние бобовые травы (*Medicago varia*, *Medicago falcata*, *Lotus corniculatus*). Травосмесь злаковых трав: райграс пастбищный (*Lolium perenne*) + овсяница красная (*Festuca rubra*) + овсяница овечья (*Festuca ovina*), смешанных равными долями. Повторность в опыте 6-кратная. Посев бобовых трав обычной рядовой с междурядьем 20 см проводили электронной сеялкой «Клен-1», злаковых трав – вручную разбросным способом. Наблюдения и учеты проводили согласно стандартным методикам, принятым в полевых и лабораторных опытах с многолетними травами.

Для выявления направленности почвенно-ризосферных процессов и взаимоотношений в прикорневой зоне и вне ее был разработан относительный показатель «ризосферный индекс» (РИ). Формула расчета ризосферного индекса: $РИ = A / B$, где А – содержание элемента питания (или рН_{KCl}) в ризосферной почве, В – содержание элемента питания (или рН_{KCl}) в неризосферной почве [2].

Ризосферную и неризосферную почву разделяли, используя механическое встряхивание корней растений. Почву, которая свободно отряхивается с поверхности корней в течение 5 ми-

нут (с целью устранения вариаций между образцами) считали неризосферной, а почву, прилипшую к сегментам корня после встряхивания, – ризосферной [5, 6].

Результаты исследования и обсуждение. Результаты исследования динамики сохранности бобового компонента в агрофитоценозах с одновидовым и смешанным травостоем, показали, что дифференциация изученных популяций по устойчивости и долголетию в наземной сфере происходила с 4-го года жизни. К 7-му году наблюдалась определенная стабилизация, сохранение в травостое наиболее устойчивых и долголетних форм.

На фоне изменений, происходящих в наземной сфере, наблюдалась определенная динамика процессов в подземной сфере. У изученных видов многолетних бобовых трав: *M. varia*, *M. falcata* и *L. corniculatus* в почве была выявлена общая тенденция подщелачивания среды в ризосфере, увеличения содержания общего азота при снижении уровня легкогидролизуемого азота, как в ризосфере, так и вне нее, наиболее динамичная у *M. varia*. В ризосфере *M. varia* наблюдался повышенный по сравнению со смешанным посевом уровень общего и легкогидролизуемого азота, фосфора и калия. У *M. falcata* и *L. corniculatus* динамика по всем химическим элементам, кроме калия, была выражена слабее и разница была несущественной.

На четвертом году жизни в одновидовых посевах у *M. varia* ризосферный индекс кислотности почвенного раствора (PI_{pH}) был минимальным – 0,97, несколько выше у *M. falcata* – 0,98 и *L. corniculatus* – 0,99. Выявленная у особей бобовых трав в смешанных посевах тенденция подщелачивания почвенного раствора в ризосферной зоне по мере старения травостоя усиливалась.

К концу опытов на седьмом году жизни в одновидовых посевах бобовых трав у сохранившихся долголетних форм *M. falcata* и *L. corniculatus* величины ризосферных индексов общего азота ($PI_{No_{общ}}$), ризосферных индексов фосфора и калия ($PI_{P_{2O_5}}$ и $PI_{K_{2O}}$) практически не отличались от форм, которые в смешанных посевах сформировались уже на 4-й год жизни.

По мере старения травостоев у выживших растений в ризосфере, независимо от способа посева, наблюдалось подщелачивание почвенного раствора до уровня pH 7,39–7,40. Вне ризосферы по всем вариантам опыта существенных изменений уровня кислотности отмечено не было. В опытах изучали плотность агроценопопуляций бобовых трав, репродуктивное усилие, определяли общую фитомассу и семенную продуктивность особей. Большинство изученных признаков оказались достаточно тесно связанными с показателями PI. Коэффициенты корреляции, отражающие степень связи основных изучаемых признаков с PI, рассчитанные для отдельных видов бобовых трав, в целом были близки.

В результате обобщения полученных данных были рассчитаны корреляции между основными показателями и ризосферными индексами для всех изучаемых многолетних бобовых трав в целом. Большинство изученных признаков оказались достаточно тесно связаны с показателями ризосферных индексов. При коэффициенте корреляции $r = 0,5–0,6$ связь считается средней, при $r < 0,5$ – на слабая связь, и лишь при $r \geq 0,7$ можно судить о сильной связи (Лакин, 1990).

Показатель плотности агроценопопуляций бобовых трав имел сильную положительную связь с $PI_{No_{общ}}$ (+0,836) и $PI_{K_{2O}}$ (+0,745) и отрицательную с PI_{pH} (-0,839). Связь признака с $PI_{P_{2O_5}}$ (+0,631) и $PI_{N_{лг.}}$ (+0,649) была средней силы. Для репродуктивного усилия была установлена сильная положительная корреляция с $PI_{K_{2O}}$ (+0,836) и PI_{pH} (+0,747), средней силы – с $PI_{N_{лг.}}$ (+0,637) и $PI_{No_{общ}}$ (+0,604). Связь признака с $PI_{P_{2O_5}}$ была несущественной.

Общие тенденции были выявлены при изучении зависимости между общей фитомассой и семенной продуктивностью особей. Как для общей фитомассы, так и для семенной продуктивности особи установлена сильная положительная связь с PI_{pH} (+0,861 для фитомассы и +0,756 для семян) и отрицательная – с $PI_{K_{2O}}$ (-0,862 для фитомассы и -0,669 для семян).

Фактически выявленные тенденции указывают на выживание в смешанных посевах долголетних конкурентоспособных форм, обладающих смешанным типом адаптивной стратегии – конкурентно-стресс-толерантной. Особенности проявления того или иного типа адаптивных стратегий в сложных условиях региона во многом зависят от почвенных особенностей. Физико-химические свойства карбонатных почв (pH_{KCl} до 8,0, высокий окислительно-восстановительный потенциал, высокое содержание карбонатов и особенно их мелкой фракции, так называемой активной извести с диаметром частиц менее 20 мкм) определяют своеобразие

поглощения и распределения в тканях растений многих элементов питания, влияя на развитие как подземной, так и надземной сферы.

Структурные и функциональные особенности корневых систем у особей с разными типами адаптивных стратегий в первую очередь проявляются при нарастании ценотического давления [7]. При этом взаимодействие, как между растениями, так и с окружающей средой, происходит по многим каналам, в том числе путем регуляции состояния подземной сферы, особенно в области прикорневой зоны.

Проведенный анализ позволил выявить общие тенденции в направленности почвенно-ризосферных процессов и взаимоотношений в прикорневой зоне и вне нее. Изменение реакции почвенной среды в ризосферной зоне указывает на сдвиг pH_{KCl} в щелочную сторону и снижение в ризосферной почве содержания доступных форм азота, фосфора и калия по сравнению с неризосферной почвой. Складывающиеся в подземной сфере условия затрудняют проникновение в ризосферную зону корневой системы злаковых культур, что делает такие особи более устойчивыми и конкурентоспособными в смешанных посевах.

Полученные данные свидетельствуют о том, что ризосферные индексы отражают отличия, проявляющиеся у конкурентоспособных особей, а также направленность их жизненной стратегии на адаптацию к экотопическим факторам карбонатных почв и смешанных посевов. У конкурентоспособных форм происходит сдвиг реакции среды в щелочную сторону, при этом уровень содержания в прикорневой зоне доступных форм азота, фосфора и калия по сравнению с неризосферной почвой практически не меняется, о чем свидетельствуют низкие ризосферные индексы.

Заключение. Выживание и сохранение в посевах ценопопуляций бобовых трав связано с наличием у них особей, у которых смещение pH_{KCl} почвенного раствора в ризосфере происходит в щелочную сторону, менее благоприятную для высвобождения связанных форм питательных элементов и угнетающую корневую систему видов злаковых трав. В смешанных посевах выделение устойчивых и элиминация малоустойчивых особей происходит значительно быстрее, чем в чистых посевах. Низкие ризосферные индексы основных агрохимических показателей и повышение индекса pH_{KCl} тесно коррелируют с величиной семенной продуктивности и устойчивостью бобовых трав. Отбор по этим показателям может ускорить выделение особей, обладающих конкурентными преимуществами в смешанных посевах на карбонатных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Думачева Е. В. Почвенно-ризосферные взаимодействия некоторых видов *Fabaceae* при возделывании в культуре на карбонатных почвах / Е. В. Думачева, В. И. Чернявских // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9 (часть 2). – С. 351–355.
2. Думачева Е. В. Экологическая устойчивость и продуктивность хозяйственно-ценных видов *Fabaceae* в агрофитоценозах с одновидовым и смешанным травостоем на карбонатных почвах / Е. В. Думачева, В. И. Чернявских // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2012. – № 15 (134), Вып. 20. – С. 51-58.
3. Думачева Е. В. Влияние способа возделывания люцерны гибридной на семенную продуктивность потомства первого поколения на карбонатных почвах ЦЧР / Е. В. Думачева, В. И. Чернявских // Кормопроизводство. – 2014. – № 2. – С. 23–26.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. школа, 1990. – 352 с.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии [Текст] / под. ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
6. Сеги Й. Методы почвенной микробиологии / Й. Сеги. – М.: Колос, 1983. – 296 с.
7. Усманов И. Ю. Концепция типов адаптивных стратегий растений и ценотическая регуляция минерального питания / И. Ю. Усманов. // Ионный транспорт и усвоение элементов минерального питания растениями. – Киев: Наукова думка, 1991. – С. 145–147.
8. Чернявских В. И. Семенная продуктивность многолетних бобовых трав при выращивании в чистых и смешанных посевах на карбонатных почвах Белгородской области / В. И. Чернявских, Е. В. Думачева // Кормопроизводство. – 2012. – № 2. – С. 34-37.