

УДК 631.81.095

ИНДЕКС ЖЕЛЕЗА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ *MEDICAGO VARIA* MART. НА КАРБОНАТНЫХ ПОЧВАХ

Думачева Е.В., Чернявских В.И.

Белгородский государственный научный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»),
e-mail: dumacheva@bsu.edu.ru

Рост и развитие видов *Fabaceae* Lind. в большей мере коррелирует с балансом минеральных элементов в тканях, чем с их абсолютным содержанием. Предыдущими исследованиями установлено, что в результате дифференциации популяций видов *Fabaceae* на градиенте конкуренции за ресурсы экотопа конкурентоспособные формы выделяются в условиях смешанных агрофитоценозов, начиная с 4-6-го года пользования. Целью исследований было изучить содержание микроэлементов в листьях у потомства первого поколения и оценить индекс железа в качестве маркерного признака устойчивости агроценопопуляций *M. varia* Mart. на карбонатных почвах ЦЧР. В связи с тем, что на карбонатных почвах уровень содержания железа является одним из основных лимитирующих факторов. Высокие уровни содержания железа в тканях растений свидетельствуют об определенных конкурентных преимуществах, которые приобретает потомство, полученное в конкуренции, по сравнению с потомством одновидового посева. Индекс железа зависит от наследственных факторов, и у потомства, полученного в конкуренции, значительно выше, чем у потомства, полученного в одновидовых посевах. Поскольку железо в растениях практически не реутилизируется, то его высокое содержание в листьях потомства, полученного в конкуренции, может указывать на более эффективное поглощение элемента растениями в течение всего вегетационного периода, независимо от способа посева. Отбор по индексу железа может в дальнейшем обеспечить потомству конкурентные преимущества при выращивании в смешанных посевах на карбонатных почвах ЦЧР.

Ключевые слова: *Fabaceae*, *Medicago varia* Mart., индекс железа, агроценопопуляции, карбонатные почвы, содержание микроэлементов, конкуренция

INDEX OF IRON AS AN INDICATOR OF THE SUSTAINABILITY OF POPULATIONS *MEDICAGO VARIA* MART. ON CALCAREOUS SOILS

Dumacheva E.V., Cherniavskih V.I.

Belgorod State National Research University, e-mail: dumacheva@bsu.edu.ru

The growth and development of species *Fabaceae* Lind. largely correlates with the balance of mineral elements in tissues than with their absolute content. Previous studies have established that as a result of differentiation of populations of species of *Fabaceae* on the gradient competition for resources ecotope competitive forms stand out in the conditions of mixed agrophytocoenoses, from 4-6-year use. The aim of the researches was to study the content of trace elements in the leaves in the offspring of the first generation and assess the index of iron as a sign of stability populations *M. varia* Mart. on carbonate soils. In connection with the fact that on carbonate soils level of iron content is one of the main limiting factors, high levels of iron in plant tissues testify about certain competitive advantages that acquire the offspring from competition, compared with the offspring of single-species planting. Index of iron depends on genetic factors and in the offspring derived in competition, significantly higher than in the offspring derived in a single crop. Because iron in plants almost reutilization, its high content in leaves offspring obtained in competition, may indicate a more efficient absorption of the element in plants throughout the growing season, regardless of the method of sowing. Selection index of iron may further provide a competitive advantage to offspring when grown in mixed crops on calcareous soils.

Keywords: *Fabaceae*, *Medicago varia* Mart., the index of iron, agrocenopopulations, calcareous soils, the content of trace elements, the competition

Особенности проявления того или иного типа адаптивных стратегий у видов *Fabaceae* 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 [1]. В силу различного поведения минеральных веществ в карбонатных почвах (например, растворимость молибдена с подщелачиванием среды

повышается, растворимость железа, меди, бора, напротив, уменьшается) нарушается баланс питания растений макро- и особенно микроэлементами. Из тяжелых металлов, необходимых растениям, из почвенного раствора на карбонатных почвах в первую очередь выводится железо. Ионы трехвалентного железа начинают осаждаться уже при pH_{KCl} около 3,0 и полностью осаждаются при $pH_{KCl} = 3,4$, ионы двухвалентного железа осаждаются при $pH_{KCl} = 7,0$. На карбонатных почвах, pH_{KCl} которых обычно выше 7,0, не только Fe^{3+} , но и Fe^{2+} становится практически недоступным, что вызывает у растений тяжелое функциональное заболевание – хлороз, следствием которого является резкое угнетение фотосинтетической

деятельности растений, снижение продуктивности [6, 9, 11].

Дефицит железа на карбонатных почвах связывают как со снижением подвижности элемента из-за высокого уровня pH, так и с отрицательным влиянием бикарбонатов на транспорт железа из апопласта корня в симпласт, а также по ксилеме [10]. Появлению дефицита способствуют тонкодисперсные фракции карбонатов, существенно влияющие на pH и концентрацию бикарбонатов [9].

В литературе широко обсуждается видовая и генотипическая эффективность растений при адаптации к дефициту железа, а также способы ее оценки [11]. Полагают, что рост и развитие представителей *Fabaceae* в большей мере коррелирует с балансом минеральных веществ в тканях, чем с их абсолютным содержанием [5]. Однако при обилии литературных сведений о минеральном составе *Medicago varia* Mart. отсутствует сравнительная оценка по этому показателю не только агроценозов в разных географических районах, но и в пределах одного региона. Представленные в отдельных работах корреляционные зависимости между показателями кормосеменной продуктивности и содержанием основных биогенных элементов в тканях указывают на возможную связь этих процессов у бобовых трав с проявлением адаптивных свойств в различных условиях экотопа [7].

Преыдушими исследованиями установлено, что в результате дифференциации популяций видов *Fabaceae* на градиенте конкуренции за ресурсы экотопа устойчивые конкурентоспособные формы выделяются, начиная с 4-5-го года пользования [1, 2, 8]. Целью исследований было изучить содержание микроэлементов в листьях у потомства первого поколения и оценить индекс железа в качестве признака устойчивости агроценопопуляций *M. varia* на карбонатных почвах ЦЧР.

Материалы и методы исследования

Двухфакторный полевой опыт по изучению содержания основных микроэлементов в листьях *M. varia* и их соотношения с уровнем железа проводили в 2008-2011 гг. Высевали семена, полученные от растений *M. varia* 5-6 года пользования, произраставших в условиях смешанного посева со злаковыми травами (популяция 1) и в чистом посеве без конкуренции (популяция 2). Исходным материалом служили сортопопуляции люцерны, ранее полученные в селекционном питомнике путем поликросса и переопыления [7]. *M. varia* выращивали в чистом виде и в составе злаково-бобовой травосмеси с компонентами: райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L.). Почва – чернозем типичный карбонатный среднемогучный малогумусный тяже-

лосуглинистый на элювии мела. Содержание гумуса перед закладкой опыта 3,12-3,56%, $pH_{KCl} = 7,35-7,42$. Способ посева – широкорядный с шириной междурядий 45 см. Площадь учетных делянок первого порядка – 20 м², второго – 10 м². Общая площадь делянок первого порядка – 50 м², второго порядка – 25 м². Повторность – 4-х кратная. Листья среднего яруса для химического анализа отбирали в период полного плодообразования *M. varia*. Разработан относительный показатель «индекс железа» для микроэлементов. Формула расчета индекса железа: A / B , где А – содержание железа (мг/кг абс. сух. в-ва), В – содержание микроэлементов (мг/кг абс. сух. в-ва). Химический анализ листовой массы проводили по стандартным методикам в сертифицированной испытательной лаборатории БелГСХА им. В.Я. Горина. Наблюдения, учеты, химический анализ листовой массы и математическую обработку данных проводили по стандартным методикам [3, 4].

Результаты исследования и их обсуждение

На юге Среднерусской возвышенности высокая карбонатность почвы определяет не только сложный режим питания растений макроэлементами, но еще в большей степени микроэлементами. Важной особенностью действия всех микроэлементов является способность давать комплексные соединения с органическими веществами, при этом между собой они могут выступать как антагонисты. В опытах максимальным было содержание железа в листьях люцерны у агроценопопуляции ПК при всех способах посева (в среднем 405,7 против 233,5 мг/кг у ПБК) (табл. 1). В условиях смешанного посева уровень железа в листьях особой популяции 1 превышал соответствующий показатель у популяции 2 на 43,1%, в одновидовом посеве – на 41,9%. В условиях конкуренции содержание железа в листьях особой было выше, чем при их выращивании в одновидовых посевах. Низкий коэффициент вариации показателя указывает на однородность совокупности.

Содержание цинка и марганца в среднем имело слабую тенденцию к повышению в листьях особой популяции 1 по сравнению с популяцией 2. Внутри самих популяций прослеживался тренд повышения содержания цинка в одновидовых посевах по сравнению со смешанными: у популяции 1 на 18,2%, у популяции 2 – на 8,2%. Для марганца существенной разницы в содержании в зависимости от способа посева не обнаружено.

Уровень меди в листьях популяции 1 в среднем имел тренд в сторону снижения по сравнению с популяцией 2. При этом у обеих агроценопопуляций в условиях конкуренции содержание меди в листьях имело тенденцию к снижению по сравнению с одновидовыми посевами.

Таблица 1

Количество микроэлементов в листьях среднего яруса особей *M. varia* в период полного плодообразования (в среднем за 2009-2011 гг.)

Содержание, мг/кг	Популяция 1				Популяция 2			
	смешанный посев	Cv, %	одновидовой посев	Cv, %	смешанный посев	Cv, %	одновидовой посев	Cv, %
Железо	436,2 ± 6,1	1,7	375,2 ± 8,5	2,8	248,2 ± 7,3	3,6	218,7 ± 6,5	3,7
Цинк	22,0 ± 2,1	11,7	26,9 ± 4,6	19,3	22,4 ± 4,5	20,4	24,4 ± 4,7	19,6
Марганец	31,5 ± 1,3	5,2	31,3 ± 1,9	7,8	30,4 ± 1,4	5,9	30,8 ± 1,2	4,9
Медь	9,5 ± 0,8	11,4	9,7 ± 0,8	13,7	9,4 ± 1,4	15,2	10,2 ± 1,4	14,4

Примечание: Cv – коэффициент вариации показателя

У потомства, полученного в конкуренции, в отличие от потомства одновидового посева значительно возросло содержание железа, в то же время содержание цинка и марганца у особей повышалось незначительно, а уровень меди имел тренд в сторону снижения.

Поскольку на карбонатных почвах уровень железа в тканях определяет стабильность процессов роста и развития растений, то установленная зависимость позволяет считать потомство, полученное в конкуренции, более адаптированным к условиям экотопа, по сравнению с потомством одновидового посева.

Для выявления зависимости между содержанием железа и уровнем основных микроэлементов в тканях люцерны было рассчитано отношение содержания железа к содержанию основных микроэлементов в листьях («индекс железа»). Этот относительный показатель позволил сравнить уровни накопления минеральных веществ в условиях высокой карбонатности почвы. Были выявлены общие закономерности соотношения содержания железа и макроэлементов в листьях агроценопопуляций люцерны в зависимости от наследственных факторов и условий посева (табл. 2).

Таблица 2

Индекс железа в листьях среднего яруса особей *M. varia* в период полного плодообразования (в среднем за 2009-2011 гг.)

Потомство (фактор А)	Способ посева (фактор В)	Индекс железа		
		Fe/Zn	Fe/Cu	Fe/Mn
Популяция 1	смешанный	19,9	46,0	13,9
	одновидовой	13,9	38,7	12,0
	в среднем	16,9	42,3	12,9
Популяция 2	смешанный	11,1	26,5	8,2
	одновидовой	9,0	21,4	7,1
	в среднем	10,0	24,0	7,6
НСР ₀₅		3,1	8,6	2,7

Анализ результатов указывает, что индекс железа у особей популяции 1 значительно превышал соответствующие показатели у популяции 2 как в среднем, так и по вариантам способов посева. При этом был выявлен тренд в сторону увеличения индекса железа в конкуренции по сравнению с одновидовыми посевами в обеих агроценопопуляциях.

На карбонатных почвах, где содержание железа выступает в качестве одного из основных лимитирующих факторов, установленная тенденция указывает на наличие у потомства, полученного в конкуренции, определенных эндогенных изменений, на-

правленных на лучшую адаптацию к условиям экотопа и повышение экологической устойчивости в условиях высокой карбонатности почвы.

Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта методом организованных повторений позволили выявить долю влияния изучаемых факторов на отношение содержания железа к микроэлементам. Доля участия фактора А, т.е. наследственных характеристик особей, была существенной и максимальной (62,3 – 91,5%) для индекса железа по всем изученным микроэлементам. Влияние условий конкуренции, несмо-

тря на невысокую долю участия в изменчивости показателей (6,5 – 20,1%), было существенным для индекса железа цинка и меди, исключение составил марганец. Влияние взаимодействия факторов АВ было несущественным, а влияние неучтенных факторов не превышало 19,0%.

Заключение

Таким образом, на карбонатных почвах уровень содержания железа является одним из основных лимитирующих факторов. Высокие уровни содержания железа в тканях растений популяции 1 на карбонатных почвах свидетельствуют об определенных конкурентных преимуществах, которые приобретает потомство, полученное в конкуренции, по сравнению с потомством одновидового посева.

Индекс железа зависит от наследственных факторов, и у потомства, полученного в конкуренции, значительно выше, чем у потомства, полученного в одновидовых посевах. Поскольку железо в растениях практически не реутилизируется, то его высокое содержание в листьях потомства, полученного в конкуренции, может указывать на более эффективное поглощение элемента растениями в течение всего вегетационного периода, независимо от способа посева. Отбор по индексу железа может в дальнейшем обеспечить потомству конкурентные преимущества при выращивании в смешанных посевах на карбонатных почвах ЦЧР.

Список литературы

1. Думачева Е.В., Чернявских В.И. Почвенно-ризосферные взаимодействия некоторых видов Fabaceae при возделывании в культуре на карбонатных почвах // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 9 (часть 2). – С. 351–355.
2. Думачева Е.В., Чернявских В.И. Семенная продуктивность разновозрастных посевов многолетних видов Fabaceae на черноземах карбонатных в условиях юга Среднерусской возвышенности // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 3; URL: www.science-education.ru/103-6384.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. школа, 1990. – 352 с.
4. Методические указания по проведению научных исследований на сенокосах и пастбищах. – М.: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 1996. – 152 с.
5. Минько И.Ф., Буткевич Т.А., Кауров И.А. Минеральное питание и функциональная активность корневой системы. В: *Физиология плодобразования*. – Мн.: Наука и техника, 1989 – С. 51–70.
6. Островская Л.К. Железо в растительном мире и карбонатный хлороз. – Київ: Наукова думка, 1993. – 146 с.

7. Ткаченко И.К., Сурков Н.А., Чернявских В.И. и др. Селекция и семеноводство люцерны и других многолетних трав. – Белгород: Крестьянское дело, 2005. – 378 с.

8. Чернявских В.И., Думачева Е.В. Семенная продуктивность многолетних бобовых трав при выращивании в чистых и смешанных посевах на карбонатных почвах Белгородской области // *Кормопроизводство*. – 2012. – № 2. – С. 34–37.

9. Benitez M.L., Pedrajas V.M., Campillo M.C. del, Torrent J., Iron chlorosis in olive in relation to soil properties // *Nutr. Cyc. Agroecosystems*. – 2002. – vol. 62. – PP. 47–52.

10. Kosegarten H., Koyro H.-W. Apoplastic accumulation of iron in the epidermis of maize (*Zea mays*) roots grown in calcareous soil // *Physiol. Plantarum*. – 2001. – vol. 113. – PP. 515–522.

11. Pestana M., Faria E.A., Varennes A. de Lime-induced iron chlorosis in fruit trees. In: *Production practices and quality assessment of food crops. 2. Plant mineral nutrition and pesticide management*. Do drecht: Kluwer Acad. Publ., 2004. – PP. 171–215.

References

1. Dumacheva E.V., Cherniavskih V.I. Fundamental'nye issledovaniya, 2012, no 9 (chast' 2), pp. 351–355.
2. Dumacheva E.V., Cherniavskih V.I. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2012, no 3, available at: www.science-education.ru/103-6384
3. Lakin G.F. Biometriya [Biometrics]. Moscow, Vyssh. shkola, 1990, 352 p.
4. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju nauchnyh issledovaniy na senokosah i pastbiwah [Guidelines for the conduct of research on the hayfields and pastures]. Moscow: VNIИ kormov im. V.R. Viljamsa, 1996, 152 p.
5. Minko I.F., Butkevich T.A., Kaurov I.A. Fiziologiya plodoobrazovaniya [Physiology fruiting], Minsk: Nauka i texnika, 1989, pp. 51–70.
6. Ostrovskaya L.K. Zhelezo v rastitelnom mire i karbonatnyj xloroz [Iron in the plant world and carbonate chlorosis]. Київ: Naukova dumka, 1993, 146 p.
7. Tkachenko I.K., Surkov N.A., Cherniavskih V.I. i dr. Selekcija i semenovodstvo lyucerny i drugix mnogoletnix trav [Breeding and seed-growing Lucerne and other perennial grasses]. Belgorod: Krestyanskoe delo, 2005, 378 p.
8. Cherniavskih V.I., Dumacheva E. V. Kormoproizvodstvo, 2012, no 2, pp. 34–37.
9. Benitez M.L., Pedrajas V.M., Campillo M.C. del, Torrent J. Nutr. Cyc. Agroecosystems. 2002, vol. 62, pp. 47–52.
10. Kosegarten H., Koyro H.-W. Physiol. Plantarum. 2001, vol. 113, pp. 515–522.
11. Pestana M., Faria E.A., Varennes A. de Lime-induced iron chlorosis in fruit trees. In: *Production practices and quality assessment of food crops. 2. Plant mineral nutrition and pesticide management*. Do drecht: Kluwer Acad. Publ., 2004, pp. 171–215.

Рецензенты

Сорокопудов В.Н., д.с.-х.н., профессор ФГОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород;

Сорокопудова О.А., д.с.-х.н., профессор, профессор биолого-химического факультета ФГОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 24.06.2014.