

УДК 631.81:632.121:635.051.7

ДЕФИЦИТ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У РАСТЕНИЙ СИРЕНИ (*SYRINGA VULGARIS* L.) ПРИ НЕКОНТРОЛИРУЕМОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И ИЗВЕСТИ

Роман Андреевич Боровик¹, Татьяна Николаевна Большева²

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ф-т почвоведения
119991, Москва, ГПС-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

¹ – аспирант каф. агрохимии и биохимии растений; e-mail: borovik-roman@mail.ru

² – к.б.н., доцент каф. агрохимии и биохимии растений; e-mail: tbolysheva@yandex.ru

*Применение минеральных удобрений и извести под декоративные кустарники должно проводиться на основании данных агрохимического анализа почвы. Необоснованное внесение удобрений и мелиорантов может приводить к дефициту микроэлементов, что, в частности, выражается в развитии хлорозов листьев и снижении декоративных качеств растений. Показано, что симптомы дефицита марганца (хлороз листьев) у сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) в коллекции Ботанического сада МГУ (г. Москва) проявляются при внесении в почву избыточных доз фосфорных удобрений, известковых материалов и органических удобрений. При высоком содержании фосфатов, нейтральной реакции почвенного раствора, увеличении емкости катионного обмена почв уменьшается растворимость соединений марганца. Это приводит к закреплению ионов марганца в почвенном поглощающем комплексе и снижению доступности марганца для растений. Причиной марганцевого хлороза является также нарушение оптимального соотношения Fe:Mn в вегетативных органах растений. Нарушение этого соотношения снижает эффективность использования марганца растениями в метаболических процессах из-за его антагонизма с железом. Для устранения дефицита марганца у растений и коррекции соотношения Fe:Mn в вегетативных органах используется удобный и эффективный метод фолиарной подкормки. Также установлено, что нарушение соотношения обменных форм кальция и магния в почве приводит к дефициту магния у растений сирени обыкновенной. Высокое содержание обменного кальция в почвенно-поглощающем комплексе препятствует поступлению магния в корни растений в результате антагонизма между этими ионами. Научно обоснованное применение известковых материалов может привести к развитию магниевых хлорозов на фоне хорошей обеспеченности почв магнием.*

Ключевые слова: сирень обыкновенная, *Syringa vulgaris* L., хлороз, дефицит микроэлементов.

Сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) – один из наиболее популярных цветущих кустарников, используемых для озеленения городов. Сирень в культуре неприхотлива и удовлетворительно растет в почвенно-климатических условиях различных районов России. Тем не менее, без применения минеральных подкормок и контроля над кислотностью почв невозможно добиться высоких декоративных качеств этого кустарника [2].

Неконтролируемое применение удобрений и мелиорантов может оказывать негативное влияние на питание растений. В частности, возможно возникновение дефицита микроэлементов, проявляющегося в виде хлорозов. Дефицит микроэлементов может возникать при их иммобилизации в почве и/или при нарушении баланса между ними в тканях растений [1]. Для устранения и диагностики дефицита элементов минерального питания используется прогрессивный и удобный метод фолиарной обработки листьев растений [7].

Обзор научной литературы не позволил установить оптимальные уровни содержания пита-

тельных элементов в почве и тканях для сирени обыкновенной. Также отсутствуют данные об оптимальных уровнях содержания макроэлементов в ее вегетативных органах.

Целью работы было изучение причин возникновения хлороза листьев *Syringa vulgaris* L. при неконтролируемом применении минеральных удобрений и извести в условиях г. Москвы под эту культуру.

Методика. В качестве объектов исследования использовали посадки сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) Ботанического сада МГУ (г. Москва, Ленинские горы). Выбранные для эксперимента растения сирени находились в основной части экспозиции коллекции «Сирень». В 2013 г. агрономической службой Ботанического сада без предварительных анализов свойств почвы было произведено известкование приствольных кругов всех кустов сирени коллекции доломитовой мукой в дозе 500 г под куст. Кроме того, в приствольные круги было внесено полное минеральное удобрение (нитроаммофоска с

1. Схема опыта № 1

Сорт	Вариант	
	Первая группа	Вторая группа
Дочь Тамара (Колесников, 1986)	Mn	Без обработки
Мулатка (Михайлов, Рыбакина, 1980)	Mn	Без обработки
Toussaint-L'Ouverture (Lemoine, 1898)	Mn	Без обработки
Fürst Bülow (Spath, 1921)	Mn	Без обработки
Condorcet (Lemoine, 1888)	Mn	Без обработки
Снежный ком (Мельник, Рубаник, Дягилев, до 1975)	Fe	Без обработки
Paul Deschanel (Lemoine, 1924)	Fe	Без обработки
Souvenir d'Alice Harding (Lemoine, 1938)	Fe	Без обработки
Партизанка (Смольский, Бибилова, 1964)	Mn+Fe	Без обработки
Защитникам Бреста (Смольский, Бибилова, 1964)	Mn+Fe	Без обработки
Esther Staley (Clark, 1948)	Mn+Fe	Без обработки
Mme Abel Chatenay (Lemoine, 1892)	Mn+Fe	Без обработки

2. Схема опыта № 2

Сорт	Вариант	
	Первая группа	Вторая группа
Toussaint-L'Ouverture (Lemoine, 1898)	Mn+N	Mn
Mme Charles Souchet (Lemoine, 1949)	Mn+N	Mn
Primrose (Maarse, 1949)	Mn+N	Mn
Duc de Massa (Lemoine, 1905)	Fe+N	Fe
Mme Lemoine (Lemoine, 1890)	Fe+N	Fe
Excellent (Maarse, 1938)	Fe+N	Fe
Monique Lemoine (Lemoine, 1939)	Fe+N	Fe
Princesse Clementine (Mathieu, 1908)	Mn+Fe+N	Mn+Fe
Candeur (Lemoine, 1931)	Mn+Fe+N	Mn+Fe
Edith Cavell (Lemoine, 1916)	Mn+Fe+N	Mn+Fe

соотношением N:P:K – 16:16:16) в дозе 300 г на куст под перекопку. Весной 2014 г. под кусты сирени внесли перепревший конский навоз (около 2,5 кг в приствольный круг под перекопку) и нитроаммофоску (300 г на куст). Контролем служили растения тех же сортов за пределами основной экспозиции. Почвы под сиренью на контрольном участке длительное время не удобряли и не известковали.

В 2013 г. для определения содержания питательных элементов в вегетативных тканях растений были отобраны листья с восьми кустов сирени различных сортов в основной экспозиции, где почвы удобряли и известковали, и с четырех кустов в контрольном варианте опыта.

В 2014 г. для изучения влияния минеральных удобрений и известкования на декоративные качества и минеральное питание сирени были выбраны растения следующих сортов: Красавица Москвы (Колесников, 1947), Сумерки (Колесников, 1954), Мечта (Колесников, 1953), Buffon (Lemoine, 1921). При этом один из кустов каждого сорта произрастал на участке основной коллекции, а другой – в контроле.

Для изучения способов регулирования питания растений марганцем в 2014 г. были заложены 2 опыта. В опыте № 1 в первую декаду мая листья растений сирени обрабатывали раствором сульфата марганца, хелата железа и их сочетаниями. Схема опыта №1 представлена в табл. 1.

В опыте № 2 листья растений сирени обрабатывали растворами сульфата марганца и хелата

железа совместно с мочевиной (табл. 2). Согласно литературным данным добавление мочевины в растворы микроэлементов повышает эффективность их применения [6, 8].

В опытах № 1 и № 2 в качестве вариантов были выбраны пары кустов одного сорта, где один куст обрабатывался тем или иным раствором микроэлементов согласно схеме опыта, а второй – не обрабатывался и служил относительным контролем. Оба куста расположены рядом друг с другом на расстоянии 2–3 м. Концентрации компонентов растворов в опытах составляли: 1 г/л сульфата марганца, 4 г/л хелата железа и 5 г/л мочевины [2, 7]. Обработка растений проводилась в нежаркую безветренную погоду в отсутствие прямого солнечного излучения. Использовался садовый опрыскиватель, расход раствора при обработке составлял 2 л на один куст.

Через месяц после обработки у всех растений были измерены биометрические показатели и отобраны листовые пластины (вторая верхняя пара на побегах текущего года) и соцветия для химиче-



Рис. 1. Поражение листовой пластины *Syringa vulgaris* L. сорта Сумерки (Колесников, 1954), вызванное дефицитом марганца.

3. Агрохимическая характеристика почв приствольных кругов сирени (2014 г.)

Показатель	Коллекция	Контроль
pH	6,5–6,7	5,8–6,5
Гумус, %	6,1–7,0	3,6–5,0
P ₂ O ₅ , мг/100 г	59–96	22–45
K ₂ O, мг/100 г	26–49	3–10
Ca, ммоль экв/100 г	29–33	22–31
Mg, ммоль экв/100 г	3–5	3–6
Ca : Mg	6,8–9,5	5,0–8,3
Mn, ppm	2,2–3,2	1,1–5,4
Fe, ppm	18,4–19,8	12,7–22,7
Zn, ppm	88,3–119,8	55,0–170,0

Примечание: здесь и в табл. 2 приведены достоверные интервалы при уровне значимости 0,05.

4. Содержание элементов минерального питания в листовых пластинках сирени обыкновенной (2014 г.)

Элемент	Соцветия	Листья
N, %	2,27–4,71*	2,53–3,17
	2,54–3,96 **	2,74–3,44
P ₂ O ₅ , %	0,90–1,84	0,57–1,21
	1,02–1,43	0,73–1,10
K ₂ O, %	1,91–3,47	1,98–3,15
	2,21–3,79	1,97–2,50
Mg, %	0,07–0,12	0,10–0,15
	0,05–0,13	0,12–0,15
Mn, ppm	16,1–24,7	26,6–54,4
	14,3–23,6	20,7–63,6
Fe, ppm	38,9–120,6	57,5–81,3
	60,4–97,1	50,2–72,3
Zn, ppm	28,9–73,7	38,6–60,0
	29,4–104,3	18,6–80,5

* – растения коллекции;
** – контроль

ского анализа. Определялись следующие биометрические показатели: длина и ширина соцветий, прирост побегов текущего года, средневзвешенные массы влажных и воздушно-сухих соцветий, и листовых пластин. По совокупности биометрических показателей и наличию или отсутствию поражения листовых пластин хлорозом оценивались декоративные качества растений.

Оценка обеспеченности растений элементами минерального питания проводилась на основании данных химического анализа листовых пластин. В растительном материале после мокрого озоления по Гинзбург определяли: содержание общего азота (метод Кьельдаля), фосфора (метод фотоколориметрии после окрашивания по Дениже), калия (метод пламенной фотометрии) и магния (метод атомной адсорбции). После сухого озоления и растворения золы было определено содержание марганца, железа и цинка методом атомной абсорбции на приборе ААС Hitachi-1981 (Япония) [4].

Почвенные пробы были отобраны в конце августа 2014 г. из приствольного круга и из периферии корнеобитаемой зоны. В почвенных пробах были определены: pH водной вытяжки потенциометрически, содержание гумуса методом Тюрина в модификации ЦИНАО, содержание доступных форм фосфора и обменного калия в вытяжке по Кирсанову, кальция и магния в вытяжке 1 М NaCl, марганца и железа в вытяжке 1 М KCl, кислоторастворимые формы цинка в вытяжке 1М HNO₃ [4].

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакетов MS Excel 2010 и StatSoft Statistica 8.0. Расчёт достоверных интервалов для выборок производился с использованием критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. В июле 2013 г. на листьях кустов сирени, под которые были внесены минеральные удобрения и доломитовая мука, начали проявляться признаки пожелтения и усыхания листовых пластин (рис. 1). Химический анализ листьев показал, что все растения испытывали недостаток марганца. Содержание этого элемента в листьях составляло в среднем 10–25 ppm, в то время как в листьях декоративных древесных пород оптимальное количество марганца составляет в среднем 25–300 ppm [1]. Дефицит марганца проявился на фоне повышенного содержания фосфора и органического вещества в почве и близком к нейтральному значению pH водной вытяжки.

Результаты агрохимического анализа почв из приствольных кругов сирени Ботанического сада МГУ свидетельствовали о том, что почвы в коллекции отличаются меньшей кислотностью и значительно большим содержанием гумуса, доступных для растений форм фосфора и обменного калия, чем почвы контроля (табл. 3). Все изученные почвенные образцы характеризовались неблагоприятным соотношением обменных форм кальция и магния, которое составляет в среднем Ca:Mg от 5 до 10. Оптимальным для большинства растений является соотношение Ca:Mg от 1 до 5 [10, 12]. В соответствии с классификацией почв по содержанию тяжелых металлов в пробах почв из приствольных кругов сирени отмечается повышенное и высокое содержание цинка, но уровень загрязнения достигнут не был [3]. Уровень содержания обменных форм железа и марганца не может служить надежной характеристикой обеспеченности растений этими элементами из-за их сложного и динамичного поведения в почве [1].



Рис. 2. Эффект после обработки раствором сульфата марганца растений сорта Дочь Тамара. А – без обработки (2013 г.); Б – этот же куст после обработки (2014 г.).

Биометрические показатели и химический состав листьев сирени контрольного варианта значимо не отличались от этих показателей для удобренных кустов сирени в основной коллекции. (табл. 4).

Обработка растений раствором сульфата марганца предотвратила развитие марганцевого хлороза в 2014 г. (рис. 2).

Результаты биометрических измерений показали, что длина соцветий двух из пяти изучаемых сортов (сорта Дочь Тамары и Condorcet) значимо увеличилась при обработке листьев растений сульфатом марганца в опыте № 1 ($p = 0,1$) (рис. 3). Для всех сортов обработка привела к достоверному увеличению средневзвешенной массы влажных и массы сухих соцветий (коррелированные выборки значимо различаются по критерию Стьюдента при $p=0,05$) (рис. 4, 5).

У растений, обработанных раствором марганца с мочевиной (опыт № 2), по сравнению с растениями, обработанными только раствором марганца, отмечалось увеличение массы сухих листовых пластинок (коррелированные выборки значимо различались по критерию Стьюдента при $p=0,05$) (рис. 6). Согласно литературным данным, добавление мочевины в растворы микроэлементов по-

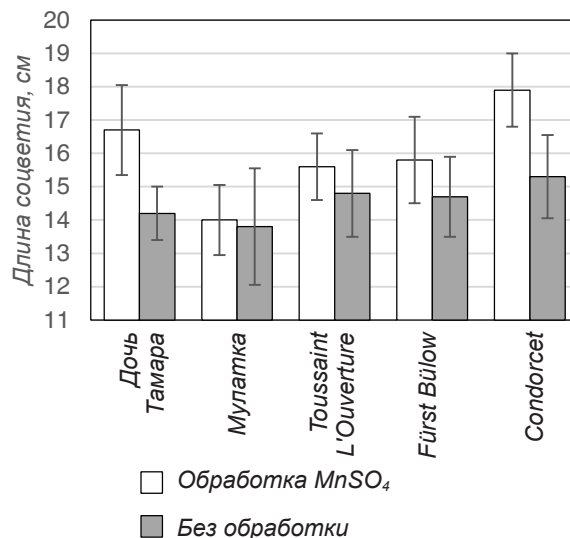


Рис. 3. Влияние фолиарной обработки сирени раствором сульфата марганца на длину соцветий (показаны 0,95 доверительные интервалы, объемы выборки $n = 15$).

вышает эффективность их применения [6, 8]. При этом обработка раствором сульфата марганца не повлияла на содержание азота, фосфора и калия в соцветиях и листьях.

Обработка растворами, содержащими железо, негативно сказалась на растениях: появились стойкие признаки усыхания, побурения листовых пластинок, то есть, был спровоцирован марганцевый хлороз (рис. 7).

Симптомы дефицита марганца при обработке листьев растворами, содержащими железо, проявились и при оптимальном уровне содержания марганца в тканях листьев сирени. Известно, что дефицит марганца у древесных пород растений наблюдается при концентрации менее 25 ppm [9, 11]. Однако многие авторы указывают на то, что

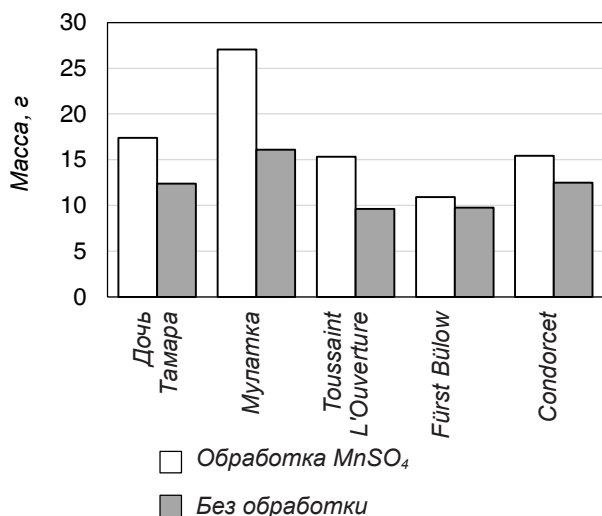


Рис. 4. Влияние обработки сирени раствором сульфата марганца на среднюю массу листовой пластины при естественной влажности.

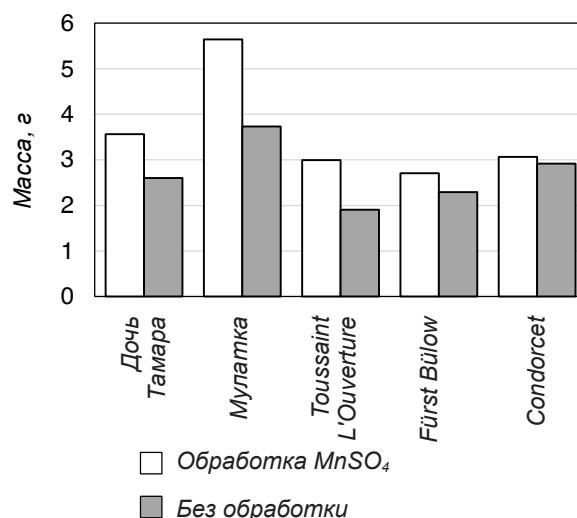


Рис. 5. Влияние обработки сирени раствором сульфата марганца на среднюю массу сухой листовой пластины.

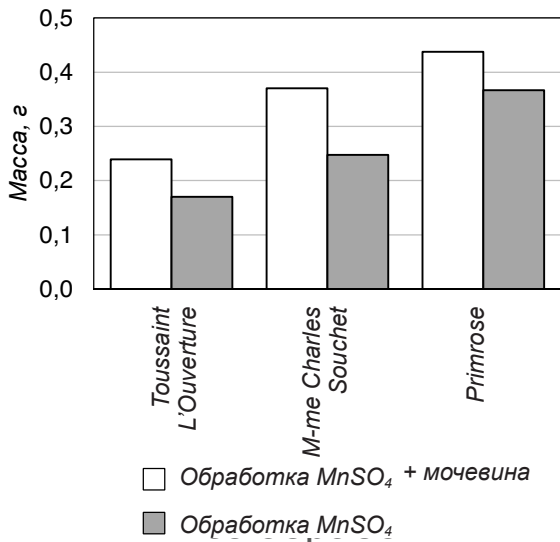


Рис. 6. Влияние добавления мочевины к раствору $MnSO_4$ при опрыскивании на среднюю массу сухой листовой пластинки.

на развитие марганцевого хлороза в значительной степени влияет соотношение Fe:Mn в тканях растений [1,5]. Применение растворов, содержащих железо, способствовало его накоплению в листьях, что привело к смещению соотношения Fe:Mn в сторону преобладания железа. Оптимальным соотношением Fe и Mn в тканях большинства растений считается 1,5–2,5 [1,5]. В 2013 г. отношение железа к марганцу в тканях листьев колебалось в диапазоне от 2,3 до 4,3, что выходит за рамки оптимальных значений. Вероятно, нарушение этого соотношения в 2013 г. привело к развитию обширного марганцевого хлороза, чему способствовало неконтролируемое внесение минеральных удобрений и извести (рис. 8). В 2014 г. в листьях коллекционной сирени, пораженной хлорозом, соотношение Fe:Mn составляло в среднем от 2,1 до 3,1, а у здоровых – от 1,6 до 2,2.

В конце августа 2014 г. на многих растениях начали проявляться признаки поражения листьев, вызванные дефицитом магния (межилковый хлороз). Появление этого хлороза не обнаруживало связи со способом обработки растений железом и марганцем. Согласно литературным данным для большинства растений оптимальное содержание магния в листьях составляет от 0,2 до 0,6% [9, 11]. Химический анализ листовых пластинок показал, что содержание магния во всех изученных образцах было меньше 0,17%, то есть ниже оптимума. Причиной пониженного содержания магния в листьях сирени, по-видимому, является неблагоприятное соотношение между кальцием и магнием в почве.

Заключение. Причиной развития марганцевого хлороза листьев сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) в 2013 г. стало нарушение соотношения железа и марганца в листьях на фоне неконтроли-

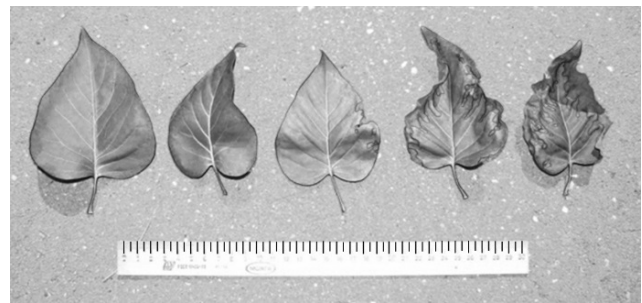


Рис. 7. Динамика развития поражений листа сирени обыкновенной при обработке раствором хелата железа.

руемого применения минеральных удобрений и извести. Фолиарная обработка сирени раствором сульфата марганца и сульфата марганца с мочевиной способствовала улучшению ее декоративных качеств и устранила хлороз листовых пластинок. Применение хелата железа как в отдельности, так и в сочетании с марганцем привело к нарушению соотношения Fe:Mn в листьях и развитию острого марганцевого хлороза.

Для устранения симптомов марганцевого голодания у сирени обыкновенной целесообразно применение фолиарной обработки раствором сульфата марганца с мочевиной. Этот способ позволяет улучшить внешний вид и декоративные качества сирени.

Причиной дефицита магния в тканях сирени является неблагоприятное соотношение обменных форм кальция и магния в почве.

Для известкования почв под посадками сирени необходимо использовать материалы с повышенным содержанием магния, а подкормку растений минеральными удобрениями следует проводить, основываясь на агрохимических свойствах почвы.

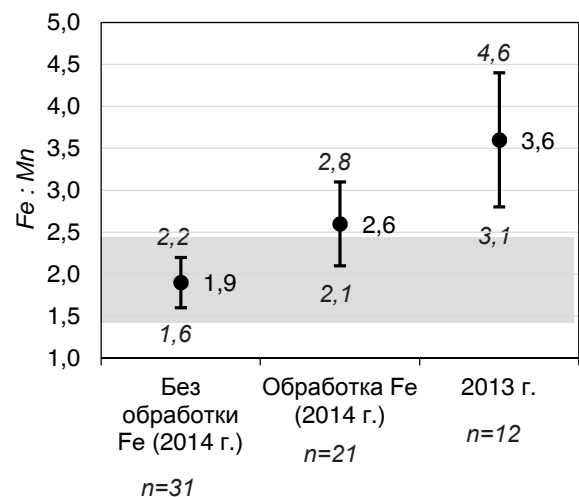


Рис. 8. Влияние обработки сирени препаратами железа на соотношение Fe:Mn в листьях (среднее \pm 0,95 дов. интервал; n - объем выборки). Закрашенная область соответствует оптимальному соотношению Fe:Mn в тканях растений.

Литература:

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Лунева З.С., Михайлов Н.Л., Судакова Е.А. Сирень. – М.: Агропромиздат, 1989. – 256 с.
3. Обухов А. И. Методические основы разработки ПДК тяжелых металлов и классификация почв по загрязнению / Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Научные труды. – 1992. – С. 13–20.
4. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. [Под ред. В.Г. Минеева]. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
5. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л: Наука, 1974. – 324 с.
6. El-Fouly M.M., Fawzi A.F.A., Mobarak Z.M., Aly E.A., Abdalla F.E. Micronutrient foliar intake by different crop plants, as affected by accompanying urea // Plant nutrition – physiology and applications. – Kluwer Academic Publ., London, 1990. – P. 267–273.
7. Foliar nutrition. – Omaha.: Midwest laboratories, Inc., 1994. – 81 p.
8. Perveen S., Rehman H. Effect of foliar application of zinc, manganese and boron in combination with urea on the yield of sweet orange // Pakistan J. Agric. Res. – Vol. 16., No.2. – 2000. – P. 135–141.
9. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. – Raleigh.: North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services Agronomic Division, 2000. – 134 p.
10. Schulte E.E., Kelling K.A. Soil calcium to magnesium ratio – Should you be concerned? / Understanding plant nutrients. – 1993. – A2986. – URL: <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a2986.pdf>. Дата обращения: 4.08.15.
11. Thomas H.Y., Dewayne L.I. Use of tissue analysis in woody ornamental nurseries. University of Florida – 1992. URL: <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/32/48/00001/CN00100.pdf>. Дата обращения: 4.08.15.
12. Wortmann C.S. Calcium and magnesium / NebGuide. – 2014. – p. 32–37.

Borovik R.A., Bolysheva T.N.

**MICROELEMENTS DEFICIENCY IN SYRINGA VULGARIS PLANTS
UNDER UNCONTROLLABLE APPLICATION OF FERTILIZERS AND LIME**

Mineral fertilizers and lime application for ornamental shrubs should be coordinated with soil agrochemical status. Unfounded entering of fertilizers and ameliorants may cause the lack of microelements that was manifested in the development of leaf chlorosis and restricting plant ornamental quality. Syringa vulgaris L. plants grown in the collection of MSU Botanic garden (Moscow) manifested the symptoms of manganese deficiency (leaf chlorosis) after entering excess rates of phosphorus fertilizers, lime materials and organic fertilizers to the soil. At high phosphorus content, neutral pH values and expanded cation exchange capacity the manganese availability for the plants was reduced. As the result the optimal Fe:Mn ratio in vegetative organs of plants decreased. The disturbance (alteration) of this ratio declined the efficiency of manganese metabolic utilization by plants due to its antagonism with iron utilization. For eliminating manganese deficiency in plants and improving Fe:Mn ratio in green parts of Syringa vulgaris the convenient and effective method of foliar dressing was used. The bias in exchangeable forms of calcium and magnesium in the soil may result in magnesium deficiency in Syringa vulgaris plants. High calcium content in soil exchange complex prevented magnesium uptake by the roots owing to antagonism between these ions. Unjustified application of lime materials may lead to magnesium chlorosis development despite high magnesium supply.

Keywords: *Syringa vulgaris L., chlorosis, microelements deficiency.*