

СОДЕРЖАНИЕ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА, ЦИНКА И МЕДИ В ЛУКЕ РЕПЧАТОМ КОЛЛЕКЦИИ ВНИИССОК

Голубкина Надежда Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории применения агрохимических средств в семеноводстве

Надежкин Сергей Михайлович, доктор биологических наук, руководитель лаборатории применения агрохимических средств в семеноводстве

Агафонов Александр Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории луковых культур

Антошкина Марина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории применения агрохимических средств в семеноводстве

Кошеваров Андрей Александрович, научный сотрудник лаборатории применения агрохимических средств в семеноводстве

ФГБНУ ВНИИССОК

143080, Московская обл., Одинцовский р-н, пос. ВНИИССОК, Селекционная, 14; тел: +7-903-118-50-30, e-mail: segolubkina@rambler.ru

Ключевые слова: лук репчатый (*Allium cepa*), железо, цинк, марганец, медь

Изучены сортовые особенности аккумуляции Fe, Mn, Zn и Cu 22 сортами лука репчатого коллекции ВНИИССОК. Показано, что наименьшей сортовой изменчивостью обладает Zn (CV=7%), наибольшей - Mn (CV=30,3%). Выявлена прямая корреляция между содержанием Fe и Mn ($r=+0,94$; $P<0,0001$), Mn и Cu ($r=+0,645$; $P<0,0001$). Установлено, что среди 22 исследованных сортов наибольшей способностью аккумуляции Fe, Mn и Cu обладает сорт Стригуновский. Максимальный уровень цинка обнаружен в луковицах сорта Сигма. Потребление 100 г свежих луковиц сорта Стригуновский обеспечивает организм человека 14% от адекватного уровня Fe, 36% Mn и 14,3% Cu.

Введение

Fe, Mn, Zn и Cu относятся к 4 группе Периодической системы Менделеева и являются эссенциальными микронутриентами для человека и млекопитающих [1]. Все эти элементы имеют не спаренные электроны, что позволяет им участвовать в окислительно-восстановительных реакциях. Биологическая роль элемента определяется его химической структурой и хелатирующей молекулой: Fe может выполнять роль про-оксиданта и антиоксиданта. Хотя в состоянии Zn^{+2} не имеет неспаренных электронов, однако он может выступать в роли антиоксиданта путем замещения металлов, катализирующих свободнорадикальные реакции, например Fe [2]. В биологических системах микроэлементы связаны преимущественно с белками, образуя металлопротеины, значительная часть которых входит в состав ферментных систем. В ферментах микро-

элементы могут входить в активный центр, стабилизировать третичную и четвертичную структуру белка, образовывать слабые комплексы с субстратом, ориентируя последний для успешного протекания соответствующей реакции или стабилизируя заряженные переходные состояния. В качестве компонента активного центра ферментов Fe, Mn, Zn и Cu участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, принимая электроны от субстрата или отдавая их кофактору. Например, супероксид дисмутаза человека восстанавливает супероксид анион до перекиси водорода и молекулярного кислорода с помощью Cu или Mn, присутствующих в активном центре соответственно цитозольного или митохондриального фермента [3].

Известно, что Fe входит в состав гемосодержащих белков, Fe-S содержащих ферментов (например, фумарат редуктаза), белков, предназначенных для хранения или

Таблица 1

Элементный состав лука репчатого (мг/кг сухой массы)

Сорт	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe/Mn
Черный принц	40,4	16,0	12,0	4,1	2,53
Колобок	50,0	15,4	11,3	4,2	3,25
Ранний розовый	33,8	14,8	10,8	4,4	2,28
Цепариус	43,6	16,5	11,3	4,4	2,64
Глобус	44,9	16,5	13,8	4,4	2,72
Альба	39,4	16,2	13,7	4,5	2,43
Кучум	34,3	16,3	11,1	4,6	2,1
Сигма	43,0	17,6	14,7	4,7	2,44
Одинцовец	32,2	14,1	11,2	4,8	2,28
Мячковский	33,5	15,8	12,7	5,0	2,12
Азелрос	35,7	14,6	12,7	5,1	2,45
Золотые купола	39,7	17,2	11,1	5,2	2,31
Красавец	51,0	20,8	11,8	5,2	2,45
Золотничок	38,0	17,4	12,5	5,7	2,18
Черниговский	34,9	12,4	12,0	5,75	2,81
Бонус	66,9	34,6	12,9	5,9	1,93
Атас	38,1	19,7	12,3	6,1	1,93
Альвина	34,4	14,2	11,7	6,6	2,42
Амбест	75,1	42,2	13,7	6,9	2,25
Oshu	37,5	22,4	12,5	7,4	1,67
Sunday Yellow	40,3	16,1	13,3	7,5	2,50
Стригуновский	86,6	45,0	13,3	8,9	1,92
Среднее (M±SD)	44,24±9,91	19,81±6,00	12,38±0,87	5,52±1,01	2,35±0,26
Интервал	32,2-86,6	14,2-45,0	11,1-14,7	4,1-8,9	1,67-2,81
CV, %	22,4	30,3	7,0	18,3	11,06

переноса Fe (трансферин, лактоферин, ферритин, гемосидерин) и других ферментов (НАДФ-дегидрогеназа, сукцинатдегидрогеназа, алкогольдегидрогеназа, циклооксигеназы). Mn входит в состав различных ферментов, например митохондриальной Mn супероксид дисмутаза, глутамин синтетазы, аргиназы, а также активирует некоторые гидролазы, трансферазы и карбоксилазы. Cu выступает в роли восстановителя в супероксид дисмутазе, цитохромоксидазе, лизилоксидазе, допамин гидроксилазе и некоторых оксидазах, восстанавливающих молекулярный кислород. Zn входит в состав активного центра более 100 ферментов, в частности, РНК-полимеразы, карбонил ангидразы, Cu, Zn-супероксиддисмутаза.

Дефицит этих элементов может привести к анемии (железодефицитная анемия),

нарушению развития костной ткани (Mn, Cu), снижению иммунитета и ослаблению антиоксидантной защиты организма (Zn), нарушению работы мозга (Zn, Mn), процессов кроветворения (Cu) [4].

Значительная часть этих элементов поступает в организм человека с растениями (Cu - огурцы, Zn - семена тыквы, Fe, Mn - фасоль) [5]. Среди овощей лук репчатый является одной из наиболее востребованных сельскохозяйственных культур, и во ВНИИС-СОК за многие годы разработана и внедрена целая серия перспективных сортов [6]. Целью настоящей работы было установление сортовых особенностей накопления Fe, Mn, Cu и Zn луком репчатым коллекции ВНИИС-СОК.

Объекты и методы исследований

22 сорта лука репчатого *Allium cepa*:

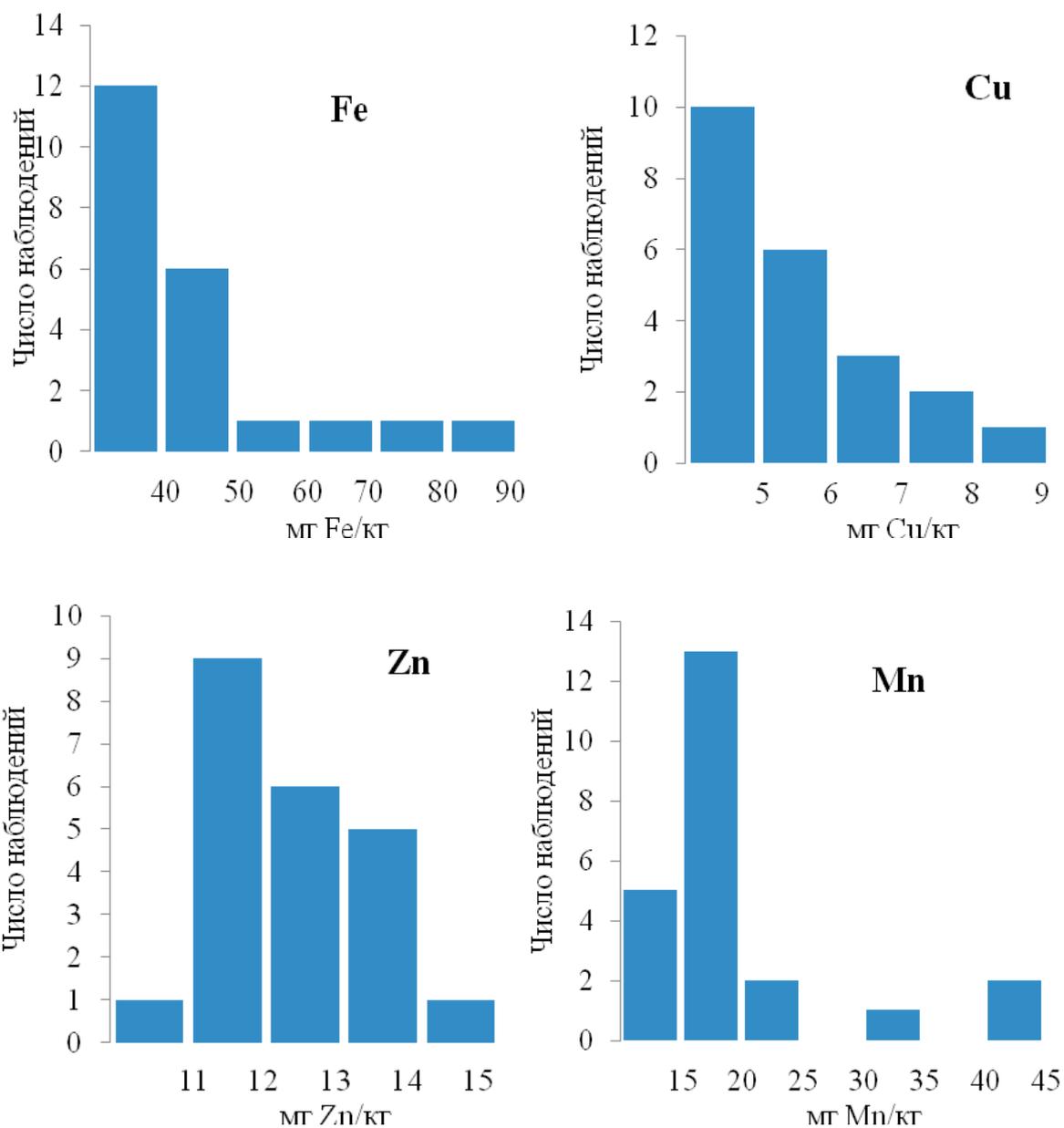


Рис.1 – Гистограммы распределения Fe, Cu, Zn, Mn в *Allium cepa*

Азелрос, Альба, Альвина, Амбест, Атас, Бонус, Глобус, Золотничок, Золотые купола, Колобок, Красавец, Кучум, Мячковский, Одинцовец, Ранний розовый, Сигма, Стригуновский, Цепариус, Черниговский, Черный принц, Oshu и Sunday Yellow, - выращивались на экспериментальных полях ФГБНУ ВНИИССОК. Образцы луковиц очищали, нарезали тонкими ломтиками с помощью пластикового ножа, высушивали до постоянного веса при 70°C и гомогенизировали. Полученный порошок хранили при комнатной температуре в герметически закрытых полиэтиленовых пакетах до начала анализа. Содержание Fe, Cu, Mn и Zn определя-

ли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-7000 после озоления [7]. Содержание сухого вещества устанавливали гравиметрически.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием критерия Стьюдента и статистической компьютерной программы Excel.

Результаты исследований

Среди 112 известных элементов только 17 (включая Fe, Mn, Zn и Cu) считаются эссенциальными для растений. Известно, что уровни аккумуляции элементов растениями подвержены влиянию многочисленных взаимосвязанных факторов:

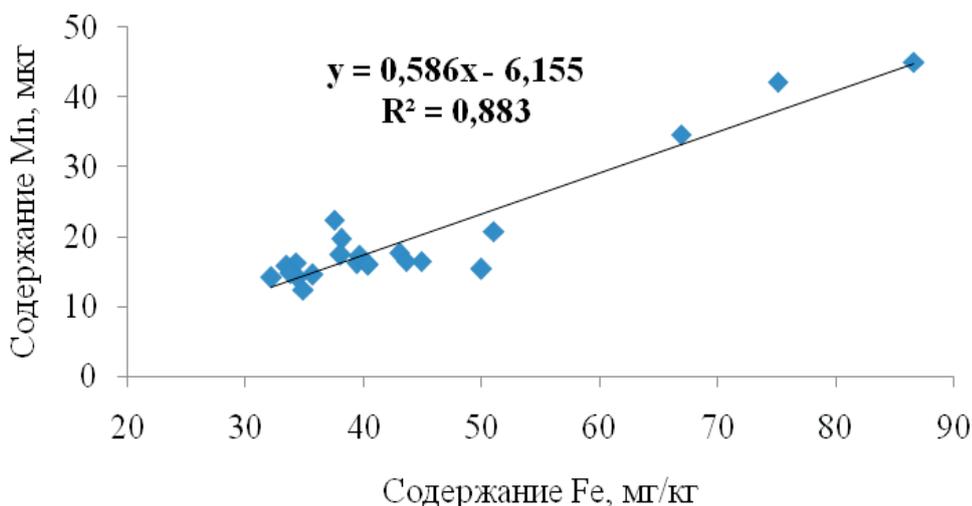


Рис.2 – Взаимосвязь между содержанием Fe и Mn в луке репчатом

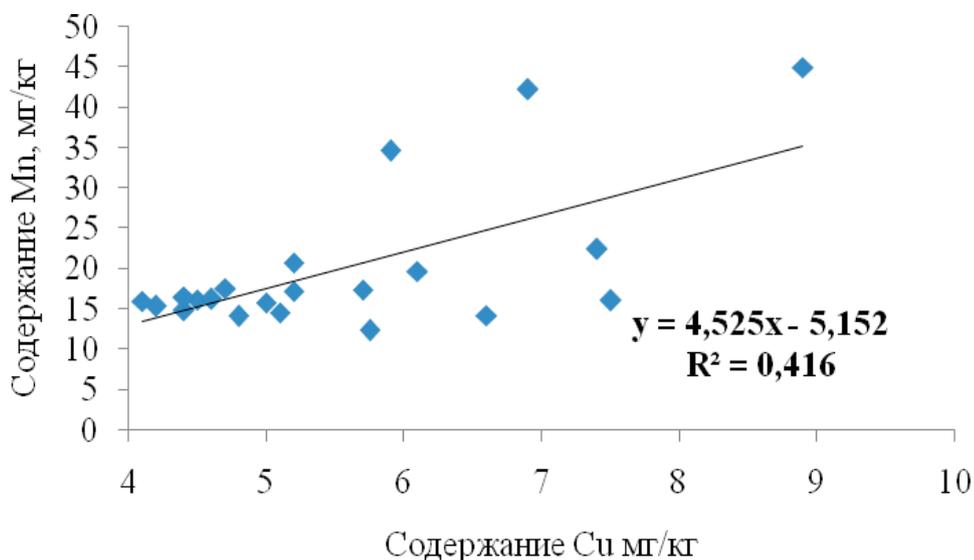


Рис.3 - Взаимосвязь между содержанием Cu и Mn в луке репчатом

географического, климатического, гормонального, взаимного влияния элементов, характеристики почвы и др., а также специфических генов. Сортовые различия в уровнях аккумуляции микроэлементов для растений, выращенных в одинаковых условиях вегетации, являются, таким образом, отражением генетических особенностей организма. Как видно из представленных в табл.1 данных, средние уровни накопления элементов в луке репчатом убывают в ряду: Fe>Mn>Zn>Cu. При этом интервалы наблюдаемых концентраций сильно различались для указанных элементов: наибольшие вариации в содержании были характерны для Mn (CV=30,3%), наименьшие - для Zn (CV=7,0 %).

Таким образом, наиболее стабильным

показателем в луке репчатом является содержание Zn, наиболее лабильным - содержание Mn.

Данные гистограмм распределения уровней микроэлементов (рис.1) показывают, что накопление Fe и Cu луковицами *Allium сера* является процессом не специфическим, в отличие от Zn и особенно Mn, для которых четко проявляется максимум, соответствующий 11,5 мг/кг для Zn и 16,5 мг/кг для Mn. При этом в случае Mn выделяются три сорта: Бонус, Амбест и Стригуновский с уровнем микроэлемента более 35 мг/кг.

Предполагают, что в растениях Zn связан преимущественно с растворимыми низкомолекулярными белками

и в меньшей степени присутствует в виде фитатов и нерастворимых комплексов [8]. Следует отметить, что невысокие уровни аккумуляции Zn луковицами *Allium сера* (табл.4) свидетельствуют о наличии дефицита микроэлемента в почве [8], что подтверждается результатами анализа (содержание Zn в почве составило $1,35 \pm 0,05$ мг/кг). Тем не менее среди 22 исследованных сортов можно было выделить Амбест с наибольшей способностью аккумуляции Zn.

Что касается Mn, то следует отметить, что этот элемент отличается активным поглощением и переносом, участвуя в нескольких метаболических процессах, в частности в фотосинтезе и в качестве антиоксиданта - кофактора в ряде ферментов [9].

Таблица 2

Потребление Fe, Mn, Zn и Cu со 100 г лука репчатого (% от адекватного уровня потребления-АУП)

Сорт	Fe	Mn	Zn	Cu
АУП	10 мг/день	2 мг/день	12 мг/день	1 мг/день
Азелрос	3,8	10,7	1,6	7,9
Альба	6,7	13,8	1,9	7,6
Альвина	5,8	12,1	1,7	11,2
Амбест	6,4	17,9	1,0	5,9
Атас	5,9	15,4	1,6	9,5
Бонус	5,8	14,9	0,9	5,1
Глобус	6,2	11,3	1,6	6,0
Золотничок	6,1	13,9	1,7	9,1
Золотые купола	6,2	13,4	1,4	8,1
Колобок	7,4	11,3	1,4	6,2
Красавец	6,3	13,5	1,3	6,8
Кучум	5,2	12,4	1,4	7,0
Мячковский	5,6	13,2	1,8	8,4
Одинцовец	5,1	11,2	1,5	7,6
Ранний розовый	5,3	11,5	1,4	6,9
Сигма	7,0	14,3	2,0	7,7
Стригуновский	13,9	36,2	1,8	14,3
Цепариус	6,9	13,0	1,5	7,0
Черниговский	4,8	8,5	1,4	7,9
Черный принц	5,6	11,1	1,4	5,7
Oshu	3,4	10,2	0,9	6,7
Sunday Yellow	3,8	7,6	1,0	7,1
Интервал	3,4-13,9	7,6-36,2	0,9-2,0	5,1-14,3

Известная взаимосвязь метаболизма Mn и Fe [8] проявляется в луке репчатом прямой корреляцией между содержанием этих микроэлементов (рис.2).

Высокий коэффициент корреляции между содержанием этих элементов ($r=+0,94$; $P<0,0001$) определяет постоянство соотношения Fe/Mn, составившее интервал (1,67-2,81) при уровне вариабильности 11%. Принято считать, что величина соотношения Fe/Mn в интервале от 1,5 до 2,5 является необходимым и достаточным для нормального роста растений [10, 11]. Следует особенно отметить, что среди 22 сортов лука репчатого сорт Стригуновский отличается уникальной способностью аккумулировать одновременно высокие концентрации Fe и Mn, а также Cu.

Установленная прямая корреляция между содержанием в луке репчатом Cu и

Mn ($r=+0,645$; $P<0,0001$) (рис.3) находится в хорошем соответствии с известными данными о том, что оптимальное поступление Mn в растения усиливает аккумуляцию Cu [12]. Способностью аккумулировать высокие концентрации Cu, помимо сорта Стригуновский, обладали также сорта Черниговский и Цепариус (табл.1).

Расчет суточных уровней потребления микроэлементов со 100 г лука репчатого показывает значимость этой сельскохозяйственной культуры как источника Fe, Mn и Cu для человека [13,14] (табл.2). Действительно, уровни потребления в % от адекватного уровня составили (3-14) % для Fe, (8-36) % - для Mn и (5,1-14,3)% - для Cu. Очевидно, что как пищевой источник этих микроэлементов для человека сорт Стригуновский занимает первое место.

Выявленные закономерности в аккумуляции

мулировании луком репчатым Fe, Mn, Cu и Zn могут быть использованы в селекции на повышенное содержание этих элементов

Библиографический список

1. Fraga CG Tolerance, essentiality and toxicity of trace elements in human health// Mol.Aspects Med.-2005.-Vol.26.-P.235-244.
2. Oteiza, P.I. Metals in neyrodegeneration:involvement of oxidants and oxidant-sensitive transcription factors / P.I. Oteiza, Gg Mackenzie, S.V. Verstraeten // Mol. Aspects Ned.-2004.-Vol.25.-P.103-115.
3. Авцын, А.П. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. - М.: Медицина, 1991. - 496с.
4. Голубкина, Н.А. Биологически активные соединения овощей / Н.А. Голубкина, С.М. Сирота, В.Ф. Пивоваров, Я.И. Яшин. - М.-2010-ВНИИССОК-С.135-139.
5. Gundersen, V Comparative Investigation of Concentrations of majorand trace elements in organic and conventional Danish agricultural crops.1.Onions (Allium cepa Hysem) and peas (Pisumsativum Ping Pong)/ Gundersen V., Vechmann IE., Behrens A., Sturup S. // J.Agric. Food Chem.-2000.-Vol.48.-P.6094-6102.
6. Пивоваров, В.Ф. Луковые культуры / В.Ф Пивоваров, И.И. Ершов, А.Ф. Агафонов // М.-2001-ВНИИССОК-С.75-94.
7. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище-М. Минздрав-2004-С.243-248.
8. Kabata-Pendías A. Trace Elements in Soils and Plants / Kabata-Pendías A. Pendías H. - 3rd Edition, CRC Press LCL, Boca Raton-2001-P.127-145.
9. Millaleo, R. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanism / R Millaleo, M. Reyes-Diaz, A.G. Ivanov, M.L. Mora, M. Alberdi // J. Soil Sci. Plant Nutr.-2010.-Vol. 10 (4).-P. 470 – 481.
10. Tanaka, A. Interaction between iron and manganese in the rice plant / A. Tanaka Navasero S. A. //Soil Sci. Plant Nutr.-1966.-Vol. 12 (5).-P. 29-33.
11. Moralejo, M.P. The transfer of Cu, Zn, Mn and Fe between soils and Allium plants (garlic and onion) and tomato in the Southwest of the Buenos Aires Province, Argentina / M.P. Moralejo, S.G. Acebal //Am.J.Plant Sci.-2014.-Vol.5.-P.480-487.
12. Ranade-Malvi, U. Interaction of micronutrients and major nutrients with special reference to potassium / U. Ranade-Malvi // Karnataka. - J.Agric.Sci.-2011.-Vol.24 (1).-P.106-109.
13. Глобальный экологический кризис. Проблемы и решения / Н.А. Голубкина, В.Ф. Пивоваров, С.М. Надежкин, Т.А. Лосева, А.Я. Соколова // М.ВНИИССОК. -2013. -С.44-49.
14. Скальная, М.Г. Химические элементы – микронутриенты как резерв восстановления здоровья жителей России / М.Г. Скальная, Р.М. Дубовой, Скальный, А.В. - Оренбург. ГОУОГУ, 2004. -С.122-128.