

# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛУКОВИЦАХ ЧЕСНОКА ОЗИМОГО (*Allium sativum* L.)



## CORRELATION ANALYSIS OF ACCUMULATION AMONG DIFFERENT CHEMICAL ELEMENTS IN BULBS OF WINTER GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.)

Середин Т.М. – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаб. селекции и семеноводства луковых культур  
Герасимова Л.И. – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаб. селекции и семеноводства луковых культур  
Козарь Е.Г. – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории новых технологий  
Агафонов А.Ф. – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства луковых культур  
Солдатенко А.В. – доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник лабораторно-налитического центра  
Кривенков Л.В. – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства бобовых культур

Seredin T.M., Gerasimova L.I.,  
Kozar E.G., Agafonov A.F.,  
Soldatenko A.V., Krivenkov L.V.

Federal State Budgetary Research Institution  
'All-Russian Research Institute  
of Vegetable Breeding and Seed Production'  
143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district,  
p. VNISSOK, Selectionnaya St, 14  
E-mail: vniissok@mail.ru, tima-seredin@rambler.ru

ФГБНУ «ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур»  
143080, Россия, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИССОК,  
ул.Селекционная, д.14  
E-mail: vniissok@mail.ru, tima-seredin@rambler.ru, alex-soldat@mail.ru

Важная роль в рационе питания человека отводится чесноку озимому, как источнику многих жизненно необходимых макро- и микроэлементов. В связи с этим была проведена оценка корреляционных связей между накоплением основных химических элементов в луковицах данной культуры. Исследования проводили в полевых условиях Московской области на базе ВНИИССОК в 2012-2015 годах на коллекционном питомнике чеснока озимого (30 сортообразцов). По основным микроэлементам достоверно высокие положительные взаимосвязи ( $r=0,71-0,85$ ) были выявлены между средним накоплением в луковицах кальция с магнием, алюминием и бором; между накоплением магния и бора; алюминия и марганца. Корреляционный анализ позволил установить отрицательную взаимосвязь накопления кадмия с медью ( $r=-0,71$ ) и кремнием ( $r=-0,66$ ); значимых стабильных связей между накоплением свинца с другими элементами не выявлено. В отношении радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  выявлены значимые корреляционные связи между их накоплением и содержанием в луковицах алюминия ( $r=0,74$  и  $0,85$ ), кальция ( $r=0,70$  и  $0,78$ ), бора ( $r=0,65$  и  $0,77$ ) и магния ( $r=0,57$  и  $0,72$ ) соответственно. Установлена тенденция - более устойчивые к болезням образцы чеснока озимого накапливают меньше кадмия ( $r=-0,47$ ), но больше свинца ( $r=0,49$ ). Отмечено также, что у образцов с высоким накоплением калия более низкий процент перезимовки луковиц ( $r=-0,57$ ), а при большем накоплении Zn и Fe зимостойкость увеличивается ( $r=0,80$ ;  $r=0,57$ ).

**Ключевые слова:** чеснок озимый, луковица, корреляции, микроэлементы, тяжелые металлы, радионуклиды.

### Summary

Winter garlic as a source of vitally necessary macro and microelements is very important in human's diet. Therefore, correlation links among accumulation the basic chemical elements in bulbs of winter garlic were estimated. It was shown that positive reliable relationship ( $r=0.71-0.85$ ) was discovered between average potassium accumulation and elements, such as magnesium, aluminum and boron, and also between magnesium and boron accumulation, and between aluminum and magnesium. The correlation analysis showed negative relationship between cadmium accumulation with copper ( $r=-0.71$ ) and silicon ( $r=-0.66$ ) accumulations. There is no significant relationship between lead accumulation and other element accumulation. The significant positive correlation was revealed between accumulation of radionuclides  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  in garlic bulbs and accumulations of aluminum, calcium, boron and magnesium with coefficients 0.74 and 0.85; 0.70 and 0.78; 0.65 and 0.77; 0.57 and 0.72, respectively. It was shown that accessions more resistant to diseases accumulated less cadmium ( $r=-0.47$ ), but more lead ( $r=0.49$ ). Moreover, it was noticed that accessions with high accumulation of potassium had the low percent of well-wintered bulbs ( $r=-0.57$ ), but more accumulation of Zn and Fe caused the improved hardiness ( $r=0.80$ , 0.75, respectively).

**Keywords:** winter garlic, bulb, correlations, microelements, heavy metals, radionuclides.

**Введение**

При создании и использовании в производстве техногенно устойчивых сортов сельскохозяйственных культур закономерно возникает ряд научных и организационных задач: изучить генофонд культурных растений и выделить доноры, обладающие эффективным поглощением и утилизацией элементов питания, а также накапливающие минимальное количество экотоксикантов в товарной части урожая; выявить биологические особенности сортов, накапливающих максимальное и минимальное количество экотоксикантов (содержание макро- и микроэлементов, толерантность к абиотическим и биотическим стрессовым факторам среды, комбинационная способность, эколого-географическое происхождение, адсорбционная и транспортная активность корневых систем и др.), а затем, используя показатели, высоко коррелирующие с накоплением радионуклидов и тяжелых металлов в растениях, разработать принципы отбора генотипов для создания сортов, накапливающих минимальное количество экотоксикантов [5, 8, 13].

**Цель, материал и методы исследований**

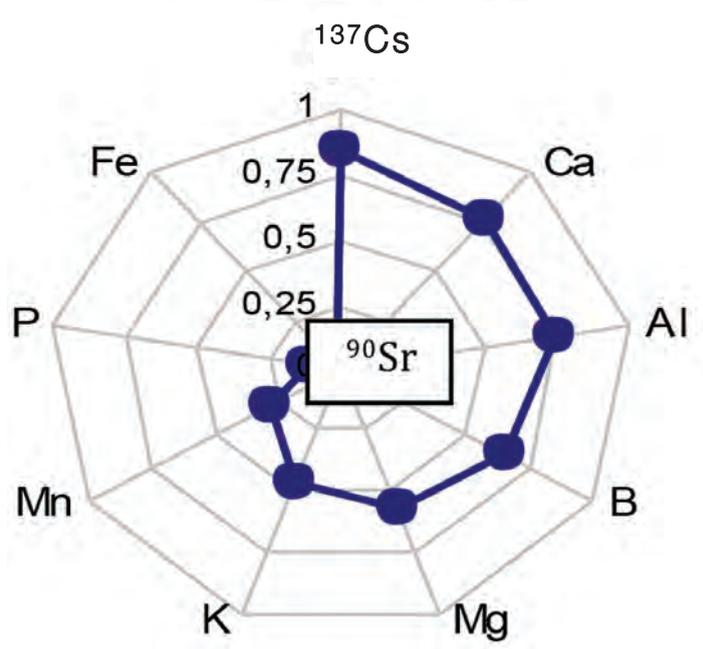
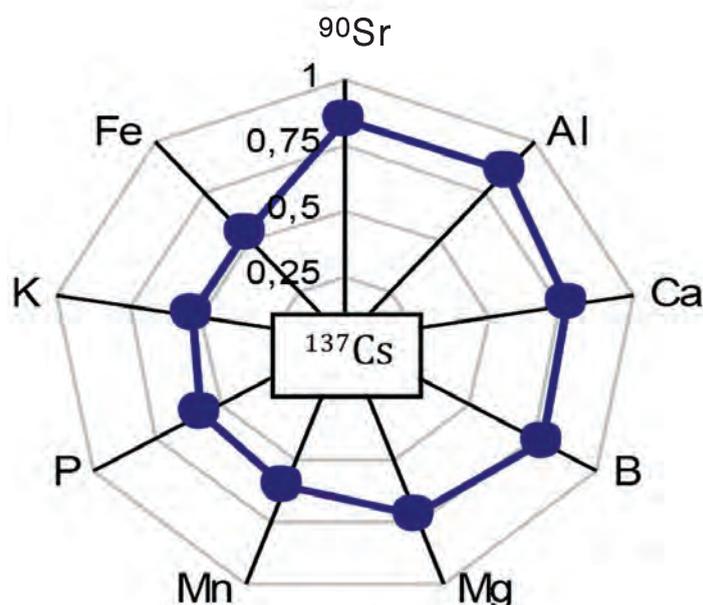
Целью настоящего исследования было выявление корреляционных связей между микроэлементами, тяжелыми металлами и радионуклидами в луковичах чеснока озимого.

**Материалы и методы**

Исследования проводили в полевых условиях Московской области на базе ВНИИССОК в 2012-2015 годах на коллекционном питомнике чеснока озимого (30 сортовобразцов). Луковичи выращивали на дерново-подзолистой почве, тяжелосуглинистой. Изучение образцов проводили в соответствии с ОСТ 46 71- 78, этап I. Лабораторно-полевые опыты по общепринятой методике [6], «Методических указаний по экологическому испытанию овощных культур в открытом грунте» (1987), «Методических указаний по селекции луковых культур» (1997), «Методических указаний по определению содержания <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs (1985). Содержание <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в луковичах определяли в лаборатории Испытательного центра пищевой продукции, продовольственного сырья, кормов, почв, грунтов, агрохимикатов и воды ГЦАС «Московский», с помощью гамма – радиометрического метода определения (ГОСТ 10179-96). Исследования по определению микроэлементов в луковичах чеснока озимого проводили в ООО «МИКРОНУТРИЕНТЫ». Методы анализа: масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП). Аппаратура: Квадрупольный масс-спектрометр Nexion 300 D (Perken Elmer, США); атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 DV (Perken Elmer, США). Значения ПДК токсичных элементов в овощах приведены согласно Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.3.2.560-96 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов». Обработка данных проведена методами статистического и корреляционного анализа по Б.А. Доспехову [6].

**Результаты исследований**

Корреляции по накоплению различных химических эле-



ментов могут варьировать, и в значительной степени определяются условиями выращивания растений [2, 7, 9]. Это было отмечено и в наших исследованиях – по многим корреляционным парам характер и степень зависимости между накоплением элементов в разные годы существенно различался. В связи с этим, к селекционно-значимым корреляциям были отнесены только те, которые по модулю имели стабильно высокие или средние значения коэффициентов с одним и тем же знаком направленности, как по годам, так и по средним значениям содержания элементов.

Как показал анализ полученных результатов, изученные химические элементы по числу таких взаимосвязей можно расположить в следующем порядке:

по общему числу

$^{137}\text{Cs}$  (9) > Al (8) > Ca (7) > B, Mn (6) >  $^{90}\text{Sr}$ , Mg (5) > Fe, K, Ni (3) > Zn, P, Cd (2) > Si, Cr, Cu (1) > Na, Pb (0)

в т.ч. с высокими коэффициентами

$^{137}\text{Cs}$ , Ca (5) > B (4) > Al, Mg (3) > Mn, Ni, Cd, Cu (1)

По основным макро- и микроэлементам достоверно высокие положительные взаимосвязи были выявлены между средним накоплением в луковичах чеснока озимого Ca и следующих элементов: Mg, Al и B; а также в парах: Mg-B и Al-Mn, а средняя зависимость ( $0,50 < r < 0,70$ ) в десяти парах элементов: K-P, Al-K, Al-Mg, Al-Fe, Al-B, Mn-Mg, Mn-Fe, Mn-B, Cr-Ni (положительная) и в паре Ca-Zn (отрицательная).

Необходимо отметить, что в исследованиях Н.С. Дудченко [7], также была отмечена сильная положительная корреляция между железом и марганцем в овощной продукции многолетних луков. Корреляции между другими элементами были слабыми, либо не стабильны по годам.

Для целевой селекции на низкое накопление экотоксикантов особое значение имеют корреляционные связи между накоплением в луковичах *Allium sativum* L. тяжелых металлов и радионуклидов с другими химическими элементами. Корреляционный анализ не выявил значимых стабильных связей между накоплением свинца и другими элемента-

ми. В отличие от него, в отношении кадмия установлена отрицательная взаимосвязь между его накоплением меди ( $r = -0,71$ ) и кремния ( $r = -0,66$ ).

В отношении радионуклидов, выявлено большее количество значимых корреляционных связей между их накоплением и содержанием в луковичах чеснока других химических элементов (рис. 1). Это высокие положительные корреляционные связи между накоплением  $^{137}\text{Cs}$  с содержанием алюминия ( $r=0,85$ ), кальция ( $r=0,78$ ), бора ( $r=0,77$ ) и магния ( $r=0,72$ ); и средние - с марганцем, фосфором, калием и железом ( $r=0,54-0,61$ ). По накоплению  $^{90}\text{Sr}$  высокие коэффициенты корреляции отмечены только с содержанием кальция ( $r=0,76$ ) и алюминия ( $r=0,74$ ); и средние с бором и магнием ( $r=0,65$  и  $0,57$  соответственно). Между содержанием радионуклидов и накоплением других химических элементов на протяжении всего периода исследований наблюдалась слабая или нестабильная взаимосвязь, либо ее отсутствие. Между накоплением самих радионуклидов

#### Коэффициенты корреляции между средним содержанием химических элементов в луковичах образцов чеснока озимого, 2012-2014 годы

Элемент	Cd	Pb	Cu	Ca	P	K	Mg	Cr	Fe	Zn	Al	B	Ni	Si
Pb	0,17													
Cu	<b>-0,71</b>	0,09												
Ca	-0,41	-0,36	-0,15											
P	0,08	0,04	0,11	-0,16										
K	-0,09	-0,05	0,22	0,37	<b>0,51</b>									
Mg	0,15	0,05	-0,18	<b>0,85</b>	0,08	0,37								
Cr	-0,09	0,30	0,40	-0,02	-0,15	0,11	0,15							
Fe	0,10	0,29	-0,24	0,29	0,40	0,45	0,49	0,06						
Zn	-0,27	0,28	0,49	<b>-0,55</b>	0,43	-0,10	-0,35	-0,02	-0,03					
Al	-0,29	-0,23	-0,04	<b>0,75</b>	0,19	<b>0,62</b>	<b>0,62</b>	0,00	<b>0,56</b>	-0,21				
B	0,09	-0,14	-0,32	<b>0,73</b>	-0,02	-0,01	<b>0,80</b>	-0,03	0,32	-0,25	<b>0,55</b>			
Ni	-0,09	-0,01	0,17	-0,18	0,20	0,03	0,03	<b>0,50</b>	-0,03	0,28	0,03	0,06		
Si	<b>-0,66</b>	-0,15	0,41	0,20	0,08	0,29	0,02	-0,23	0,09	-0,07	0,24	-0,05	-0,39	
Mn	0,08	-0,23	-0,44	<b>0,57</b>	0,25	0,27	<b>0,59</b>	-0,21	<b>0,73</b>	-0,17	<b>0,71</b>	<b>0,53</b>	0,04	-0,11



коэффициенты корреляции по годам составили от 0,42 до 0,68, а по средним значениям -  $r = 0,85$ .

Установленные взаимосвязи, по-видимому, можно объяснить известным фактом, что некоторые химические элементы могут являться маркерами накопления радионуклидов и тяжёлых металлов, конкурируя и взаимодействуя с ними на всех этапах метаболизма [1, 10, 11, 12]. С нашей точки зрения, для отбора перспективных образцов для селекции чеснока озимого на низкое накопление радионуклидов наибольший интерес представляет высокая зависимость их накопления с содержанием в луковичах кальция. В данном случае целесообразно отбирать формы с низким содержанием кальция. При селекции на низкое накопление кадмия для предварительной оценки образцов можно использовать отрицательную взаимосвязь с накоплением элементов меди и кремния, отбирая формы с высоким их содержанием [3, 4, 8].

Для селекции важное значение имеет выявление корреляционных связей между другими количественными признаками растений и накоплением химических элементов в луковичах *Allium sativum* L. Однако значимых стабильных взаимосвязей, представляющих ценность по разным направлениям селекции чеснока озимого, не установлено. Хотя прослеживается тенденция – более устойчивые к болезням образцы чеснока озимого накапливают меньше кадмия ( $r = -0,47$ ), но больше свинца ( $r = 0,49$ ). У образцов с высоким накоплением калия может снижаться процент перезимовки лукович ( $r = -0,57$ ), при большем накоплении цинка и железа – зимостойкость увеличивается ( $r = 0,80$ ;  $r = 0,57$ ). Исходя из полученных результатов, для повышения зимостойкости чеснока озимого можно использовать внекорневые подкормки препаратами с высоким содержанием этих элементов.

### Литература

1. Авцын А.П. и др. Микроэлементы человека: этиология, классификация, органопатология. АМН СССР. М.: Медицина, 1991.
2. Алексахин Р.М., Голубев А.В., Черников В.А., и др. Агрэкология. М.: Колос, 2000. – С. 472-479.
3. Гармаш Г.А. Тяжёлые металлы в огородных культурах и почвах// Агрэхимия. – 1994. – №3. – С. 71-75.
4. Голубкина Н.А., Сирота С.М., Пивоваров В.Ф., Яшин А.Я., Яшин Я.И. Биологически активные соединения овощей// ВНИИССОК. – М.: Изд-во ВНИИССОК, 2010. – 200 с.
5. Добруцкая Е.Г., Пивоваров В.Ф. Экологическая роль сорта в XXI веке // Межд. Научно-практическая конференция: Селекция и семеноводства овощных культур в XXI веке, 2000. – Т.1. – С.28-30.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-ое изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. Дудченко Н.С. Разработка элементов технологии для селекции на повышенное накопление химических элементов в овощной продукции многолетних луков. Автореф. дисс. ... к.с.-х.н. – М., 2009.– 26 с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир. – 1989.– 290 с.
9. Краснородова О.В. Оценка исходного материала овощных культур для селекции на стабильный уровень накопления химических элементов. Автореф. дисс. ... к. с.-х.н. М., 2005. – 26 с.
10. Середин Т.М., Кривенков Л.В., Агафонов А.Ф., Герасимова Л.И. Оценка коллекционного материала чеснока озимого на стабильно низкий уровень накопления свинца в условиях Московской области/ Селекция и семеноводство овощных культур: Сборник научных трудов/ВНИИССОК. - М.: Изд-во ВНИИССОК, 2015. – Вып.46. – С.495-499.
11. Середин Т.М., Агафонов А.Ф., Герасимова Л.И., Кривенков Л.В. Элементный состав чеснока озимого селекции ВНИИССОК//Овощи России. – 2015. – №3-4. – С.81-85.
12. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. – М.: Ониск 21 век. – 2004. – С.210.
13. Солдатенко А.В. Экологические аспекты регулирования накопления радионуклидов растениями овощных культур. Автореф. дисс. ... докт. с.-х. н. М., 2016. – 44 с.