



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 64–73

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 1, pp. 64–73

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73>

Научная статья

УДК 631.527.5

Корреляционный анализ признаков, характеризующих урожайность и качество продукции представителей рода *Allium* (подрод *Сера*)



М. И. Иванова ✉, А. Ф. Бухаров, А. И. Кашлева

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства», Россия, 140153, Московская область, Раменский район, д. Веряя, стр. 500

Иванова Мария Ивановна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ivanova_170@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>

Бухаров Александр Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, afb56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>

Кашлева Анна Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, vniioh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1968-5954>

Аннотация. В условиях Московской области изучено 10 образцов представителей рода *Allium* L., в том числе: *A. altaicum* Pall. (л. алтайский), *A. fistulosum* L. (л. батун), *A. galanthum* Kar. & Kir. (л. молочнокветковый), *A. oschaninii* O. Fedtsch. (л. Ошанина) *A. pskemense* V. Fedtsch. (л. пскемский) из секции *Сера* (Mill.) Prokh.; *A. altynolicum* N. Friesen (л. алтынкольский), *A. ledebourianum* Schult. & Schult. f. (л. Ледебур), *A. oliganthum* Kar. & Kir. (л. малоцветковый), *A. schoenoprasum* L. (л. шнитт) из секции *Schoenoprasum* Dum.; *A. komarovianum* Vved. (л. Комаровского) из секции *Sacculiferum* P. P. Gritz. Представленное исследование запланировано для определения корреляции между различными признаками, способствующими повышению урожайности и накоплению биологически активных соединений в листьях. У этих образцов проанализированы морфологические признаки (высота растения, число листьев на растении, число побегов на растении, длина листа, ширина листа и общая урожайность листьев) и биохимические показатели (сухое вещество, нитраты, аскорбиновая кислота, моносахара, хлорофилл, каротин, флавоноиды, гидроксикоричные кислоты). Дисперсионный анализ показал значительные различия между тестируемыми генотипами по всем изучаемым параметрам, а именно фенотипические, биохимические и урожайные признаки. Взаимосвязь между параметрами оценивали с помощью коэффициента Пирсона. Выявлена тесная положительная связь между числом побегов и числом листьев на растении (0,964), шириной листа и общей урожайностью (0,818), содержанием хлорофилла и общей урожайностью (0,608), содержанием хлорофилла и каротина (0,841), длиной листа и содержанием гидроксикоричных кислот (0,859), содержанием сухих веществ и аскорбиновой кислоты (0,756). Выявленные закономерности представляют интерес для построения модели сортов и использования в селекции.

Ключевые слова: *Allium*, морфология, биохимия, коэффициент корреляции, селекция, урожайность

Благодарности. Статья выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ FNRN-2019-0064 «Сформировать генетические коллекции представителей рода *Allium* L. по признакам, обладающих зимостойкостью, ранним и дружным отращиванием листьев, устойчивые к пероноспорозу и ржавчине в условиях Нечерноземной зоны РФ».

Для цитирования: Иванова М. И., Бухаров А. Ф., Кашлева А. И. Корреляционный анализ признаков, характеризующих урожайность и качество продукции представителей рода *Allium* (подрод *Сера*) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 64–73. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Correlation analysis of traits characterizing the yield and product quality of representatives of the genus *Allium* (subgenus *Сера*)

М. И. Иванова ✉, А. Ф. Bukharov, А. I. Kashleva

All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Vegetable Growing”, bldg. 500, village Vereya, Ramensky district, Moscow region 140153, Russia

Mariya I. Ivanova, ivanova_170@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>

Alexander F. Bukharov, afb56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>

Anna I. Kashleva, vniioh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1968-5954>



Abstract. In the conditions of the Moscow region, 10 samples of representatives of the genus *Allium* L. were studied, including: *A. altaicum* Pall., *A. fistulosum* L., *A. galanthum* Kar. & Kir., *A. oschaninii* O. Fedtsch., *A. pskemense* B. Fedtsch from the section *Cepa* (Mill.) Prokh.; *A. altynolicum* N. Friesen, *A. ledebourianum* Schult. & Schult. f., *A. oliganthum* Kar. & Kir., *A. schoenoprasum* L. from the section *Schoenoprasum* Dum.; *A. komarovianum* Vved. from the section *Sacculiferum* P. P. Gritz. The presented study is planned to determine the correlation between various traits that contribute to an increase in yield and the accumulation of biologically active compounds in leaves. These samples analyzed morphological characteristics (plant height, number of leaves per plant, number of shoots per plant, leaf length, leaf width and total leaf yield) and biochemical parameters (dry matter, nitrates, ascorbic acid, monosaccharides, chlorophyll, carotene, flavanoids, hydroxycinnamic acids). Analysis of variance showed significant differences between the tested genotypes for all studied parameters, namely phenotypic, biochemical and yield traits. The relationship between the parameters was assessed using the Pearson coefficient. A close positive relationship was found between the number of shoots and the number of leaves per plant (0.964), leaf width and total yield (0.818), chlorophyll content and total yield (0.608), chlorophyll and carotene content (0.841), leaf length and hydroxycinnamic acid content (0.859), dry matter content and ascorbic acid (0.756). The revealed patterns are of interest for constructing a model of varieties and use in breeding.

Keywords: *Allium*, morphology, biochemistry, correlation coefficient, selection, yield

Acknowledgements: The article was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FNRN-2019-0064 "To form genetic collections of representatives of the genus *Allium* L. according to traits that have winter hardiness, early and friendly growth of leaves, resistant to peronosporosis and rust in the non-chernozem zone of the Russian Federation".

For citation: Ivanova M. I., Bukharov A. F., Kashleva A. I. Correlation analysis of traits characterizing the yield and product quality of representatives of the genus *Allium* (subgenus *Cepa*). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 1, pp. 64–73 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Род *Allium* (семейство Amaryllidaceae) – один из крупнейших родов однодольных, включающий около 1200 видов, представляет собой экономически важную группу культур, возделываемых во всем мире для использования в качестве овощей и специй, такие как лук репчатый (*Allium cepa*), шалот (*A. cepa* группа *aggregatum*), батун (*A. fistulosum*), чеснок (*A. sativum*), шнитт (*A. schoenoprasum*), лук китайский (*A. tuberosum*) и лук-порей (*A. porrum*) [1]. Виды *Allium* произрастают в северном полушарии, в основном в семиаридных регионах Северной Америки, Европы, Северной Африки и Азии, регионах с разнообразными экологическими зонами. Результаты последних классификаций предлагают 15 подродов и 56 секций для *Allium* [2]. Биоактивные соединения *Allium* в основном включают сероорганические соединения, полифенолы, пищевые волокна и сапонины. Продемонстрировано, что флавоноиды, особенно флавонолы, обладают антиоксидантной, противоопухолевой, гиполипидемической, антидиабетической, кардиопротекторной, нейропротекторной и антимикробной активностями [3–5].

Виды *Allium* обладают различными физиологическими и морфологическими признаками [6, 7]. Ресурсы *Allium* в России являются потенциальным источником генов для расширения генетической базы сельскохозяйственных культур [8, 9]. Однако несбалансированный отбор селекционерами и фермерами привел к потере многих полезных агрономических свойств луковых культур [10, 11].

Для всестороннего понимания селекционерами и исследователями генетического фона коллекции *Allium* и упрощения выбора целевых

образцов, особенно с высоким урожаем и содержанием биологически активных соединений, необходимо проводить корреляционный анализ между количественными и качественными признаками на малоиспользуемых луковых культурах.

Материалы и методы

В связи с исследованием и поддержанием зародышевой плазмы во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская область, N 55°36' E 38°1') создана коллекция *Allium* L. из 12 подродов, 34 секций, 80 видов *ex situ*: семян и «живые» коллекции в количестве 250 образцов отечественной и иностранной селекции, а также из различных ботанических садов РФ.

Всего *ex situ* исследовано 7 качественных и 6 количественных морфологических признаков 10 видов *Allium* (подрод *Cepa*). Объектами исследования служили растения 5-го года жизни. На каждом участке случайным образом выбирали по десять растений для морфометрического анализа. Проанализированы количественные признаки, включая высоту растения (см), число листьев на растении (шт.), число побегов на растении (шт.), длину листа (см), ширину листа (см) и общую урожайность листьев (кг/м²). Наблюдения регистрировали для всех признаков в трех повторностях для каждого исследуемого параметра. Для определения биохимического состава (сухие вещества, нитраты, аскорбиновая кислота, моносахара, хлорофилл, каротин, флавоноиды, гидроксикоричные кислоты) были использованы образцы свежих листьев сразу после первой срезки.

Содержание сухих веществ, моносахаров, витамина С, нитратов и каротина определяли по общепринятым методикам [12].



Определение суммы гидроксикоричных кислот (ГКК) проводили при длине волны 328 нм. Долю определяемого компонента устанавливали по формуле:

$$X_{\text{ГКК}} = D \cdot V \cdot p / (m \cdot 507), \quad (1)$$

где D – оптическая плотность; V – объем экстракта, мл (100 мл); p – разведение (в 10 раз); m – масса навески, г; величина 507 – удельный показатель поглощения гидроксикоричных кислот в растворах.

Определение суммы флавоноидов проводили в спиртовых экстрактах. Оптическую плотность

измеряли при $\lambda = 338$ нм. Содержание (в %) суммы флавоноидов устанавливали по формуле:

$$X = D \cdot 100 / (m \cdot 353), \quad (2)$$

где D – оптическая плотность раствора; m – масса навески, г; 100 – объем мерной колбы, мл; 353 – удельный показатель поглощения.

Список изученных видов *Allium* L. пищевого направления представлен согласно стандартам, принятым в базе данных International Plant Names Index (IPNI) или The Plant List (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Комплекс видов рода *Allium* L. (подрод *Cepa*) из биокolleкции ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО
Complex of species of the genus *Allium* L. (subgenus *Cepa*) from the biological collection of VNIIO – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTSO**

Подрод Subgenus	Секция Section	Вид / Species	
		латинское название / latin name	русское название / russian name
<i>Cepa</i>	<i>Cepa</i> (Mill.) Prokh.	<i>A. altaicum</i> Pall.	Л. алтайский
		<i>A. fistulosum</i> L.	Л. батун
		<i>A. galanthum</i> Kar. & Kir.	Л. молочнокветковый
		<i>A. oschaninii</i> O. Fedtsch.	Л. Ошанина
		<i>A. pskemense</i> B. Fedtsch.	Л. пскемский
	<i>Schoenoprasum</i> Dum.	<i>A. altynolicum</i> N. Friesen	Л. алтынкольский
		<i>A. ledebourianum</i> Schult. & Schult. f.	Л. Ледебур
		<i>A. oliganthum</i> Kar. & Kir.	Л. малоцветковый
		<i>A. schoenoprasum</i> L.	Л. шнитт
	<i>Sacculiferum</i> P. P. Gritz.	<i>A. komarovianum</i> Vved.	Л. Комаровского

Дисперсионный анализ

Дисперсионный анализ показал значительные различия между тестируемыми генотипами по всем изучаемым параметрам: фенотипическим, биохимическим и урожайным. Исследования показали, что сумма квадратов отклонений от среднего, обусловленная генотипами, оказалась высокозначимой для всех исследуемых признаков (табл. 2).

Это свидетельствует о наличии существенных различий изменчивости среди генотипов по урожайности листьев и ее составляющим признакам. Значительная средняя сумма квадратов, обусловленная урожайностью листьев и морфологическими признаками, показала наличие выраженной вариабельности в материале, изучаемом для улучшения различных признаков. Эти данные в целом согласуются с выводами предыдущих исследователей [13–15] по *Allium*.

Биохимический анализ

К пищевым растениям, богатым компонентами антиоксидантной защиты, относят луки

многолетние, все многообразие дикорастущих видов которых остается невостребованным современной медициной, что, по-видимому, обусловлено слабой изученностью их химического состава [16]. В группе исследованных луковых культур содержание сухих веществ варьировало от 9,3 (*A. ledebourianum*) до 17,9 (*A. altynolicum*), среднее значение составляло 13,6 %; нитратов – от 111 (*A. altaicum* и *A. fistulosum*) до 237 (*A. ledebourianum*), среднее значение равно 177,6 мг/кг сырой массы; моносахаров – от 2,6 (*A. oschaninii*, *A. altynolicum*, *A. ledebourianum*) до 3,8 (*A. altaicum*), среднее значение равно 3,0 % сырой массы; аскорбиновой кислоты – от 119,2 (*A. pskemense*) до 128,8 (*A. altynolicum*), среднее значение равно 123,5 мг% сырой массы; хлорофилла от 138 (*A. pskemense*) до 287 (*A. komarovianum*) мг/100 г сухой массы, среднее значение равно 209,7 мг%; каротина – от 14,5 (*A. pskemense*) до 29,1 (*A. galanthum*), среднее значение равно 21,4 мг/кг сырой массы; гидроксикоричных

Дисперсионный анализ морфологических и биохимических признаков у малоиспользуемых и культивируемых *Allium L.* (подрод *Cepa*)
Analysis of variance of morphological and biochemical characters in underutilized and cultivated *Allium L.* (subgenus *Cepa*)

Показатель / Indicator	Средняя сумма квадратов Average sum of squares			F _Ф
	повторность repetition	генотип genotype	ошибка error	
	df = 3	df = 9	df = 27	
Морфологические показатели / Morphological indicators				
Высота растения, см / Plant height, cm	32,72	165,77*	12,27	13,51
Число побегов на растении, шт. / The number of shoots per plant, pcs.	22,71	231,65*	13,44	17,24
Число листьев на растении, шт. / The number of leaves per plant, pcs.	32,54	209,34*	15,16	13,81
Длина листа, см / Sheet length, cm	23,89	185,56*	12,15	15,27
Ширина листа, см / Sheet width, cm	0,098	2,77 **	0,033	83,94
Урожайность, кг/м ² / Productivity, kg/m ²	0,32	13,54*	0,52	26,04
Химические показатели / Chemical indicators				
Сухие вещества, % / Dry matter, %	0,56	12,34*	1,53	8,07
Нитраты, мг/кг / Nitrates, mg/kg	98,67	134,65*	19,78	6,81
Моносахара, % / Monosugar, %	0,25	9,41**	0,11	85,55
Аскорбиновая кислота, мг% / Ascorbic acid, mg%	2,98	128,79**	5,22	24,65
Хлорофилл, мг /100 г / Chlorophyll, mg/100 g	34,21	358,4*	21,37	16,77
Каротин, мг/кг / Carotene, mg/kg	18,23	138,54*	9,67	14,33
Гидроксикоричные кислоты, 10 ⁻³ % / Hydroxycinnamic acids, 10 ⁻³ %	3,76	76,51*	3,48	21,98
Флавоноиды, 10 ⁻³ % / Flavonoids, 10 ⁻³ %	1,78	31,83*	1,32	24,11

Примечание / Note. F₀₅ = 6,0, F₀₁ = 27,34.

кислот – от 169,8 × 10⁻³ (*A. oliganthum*) до 174,0 × 10⁻³ (*A. altyncolicum*), среднее значение равно 172,1 × 10⁻³% сухой массы; флавоноидов – от 289,8 × 10⁻³ (*A. oliganthum*) до 302,5 × 10⁻³ (*A. oschaninii*), среднее значение равно 294,2 × 10⁻³% сухой массы (табл. 3). Исследованных представителей рода *Allium L.* можно рассматривать как потенциальные источники биологически активных соединений.

Структура урожая и общая урожайность

Высота растения перед срезкой варьировала от 42,2 (*A. galanthum*) до 56,6 (*A. fistulosum*), в среднем – 49,5 см; число побегов – от 3,4 (*A. komarovianum*) до 84,3 (*A. schoenoprasum*), в среднем – 17,0 шт./растение; число листьев – от 14,2 (*A. komarovianum*) до 501,7 (*A. schoenoprasum*), в среднем – 83,0 шт./растение; длина листа – от 25,1 (*A. oliganthum*) до 47,3 (*A. schoenoprasum*), в среднем – 35,4 см; ширина листа – от 0,3 (*A. oliganthum*) до 2,1 (*A. fistulosum*), в среднем – 1,2 см (табл. 4).

Растения 5-го года жизни сформировали урожайность листьев за 3 срезки от 4,1

(*A. komarovianum*) до 7,8 (*A. pskemense*), в среднем – 5,8 кг/м².

Корреляционный анализ урожайности и морфологических и биохимических признаков

Анализ коэффициента корреляции позволяет установить взаимосвязь между различными характеристиками растений. Оценка генотипических и фенотипических корреляций между признаками помогает инициировать селекционные программы. Если корреляция между двумя признаками положительная и значимая, улучшение одного признака окажет значительное влияние на другой признак.

С целью определения взаимосвязи между признаками коэффициент корреляции оценивали между урожайностью и ее признаками на генотипическом и фенотипическом уровнях (табл. 5).

Выявлена тесная положительная связь между числом побегов и числом листьев на растении (0,964), шириной листа и общей урожайностью (0,818), содержанием хлорофилла и каротина



Таблица 3 / Table 3

Биохимические показатели представителей рода *Allium* L. (подрод *Sera*) из биокolleкции ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО Biochemical parameters of representatives of the genus *Allium* L. (subgenus *Sera*) from the biocollection of VNIIO – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTSO

Представитель вида Representative of the species	Сухие вещества, % Dry matter, %	Нитраты, мг/кг сырого вещества Nitrates, mg/kg (wet matter)	Моносахара, % (сырое вещество) Monosugar, % (raw matter)	Аскорбиновая кислота, мг% (сырое вещество) Ascorbic acid, mg% (raw matter)	Хлорофилл, мг/100 г (сырое вещество) Chlorophyll, mg/100 g (dry matter)	Каротин, мг/кг (сырое вещество) Carotene, mg/kg (raw matter)	Гидроксикоричные кислоты, 10 ⁻³ % (сырое вещество) Hydroxycinnamic acids, 10 ⁻³ % (dry matter)	Флавоноиды, 10 ⁻³ % (сырое вещество) Flavonoids, 10 ⁻³ % (dry matter)
<i>A. altaicum</i>	11,6	111	3,8	122,6	139	19,9	172,5	293,6
<i>A. fistulosum</i>	17,3	111	2,8	127,9	197	24,4	172,4	293,2
<i>A. galanthum</i>	12,8	215	3,4	124,8	283	29,1	172,3	294,1
<i>A. oschaninii</i>	13,9	178	2,6	122,9	146	16,8	172,6	302,5
<i>A. pskemense</i>	11,7	170	2,7	119,2	138	14,5	172,2	292,9
<i>A. atyncolicum</i>	17,9	169	2,6	128,8	252	23,7	174,0	295,2
<i>A. ledebourianum</i>	9,3	237	2,6	121,1	233	21,2	170,6	293,8
<i>A. oliganthum</i>	11,9	187	2,7	122,4	218	19,6	169,8	289,8
<i>A. schoenoprasum</i>	13,6	200	2,8	123,6	204	18,4	173,0	294,6
<i>A. komarovianum</i>	16,3	198	3,7	121,9	287	26,4	171,4	292,1
Среднее / Mean	13,6	177,6	3,0	123,5	209,7	21,4	172,1	294,2
НСР ₀₅ / LSD ₅₀	1,20	4,30	0,23	2,21	4,46	3,01	1,80	1,11

Таблица 4 / Table 4

Структура урожая *Allium* L. (подрод *Sera*) в фазу потребительской спелости в условиях Московской области The structure of the yield of *Allium* L. (subgenus *Sera*) in the phase of consumer ripeness in the conditions of the Moscow region

Представитель вида Representative of the species	Высота растения, см Plant height, cm	Число побегов на растении, шт. The number of shoots per plant, pcs.	Число листьев на растении, шт. The number of leaves per plant, pcs.	Длина листа, см Sheet length, cm	Ширина листа, см Sheet width, cm	Урожайность, кг/м ² Productivity, kg/m ²
<i>A. altaicum</i>	49,2	12,2	45,8	41,1	1,5	6,4
<i>A. fistulosum</i>	56,6	9,4	33,2	34,1	2,1	7,7
<i>A. galanthum</i>	42,2	8,6	38,0	30,1	1,7	6,1
<i>A. oschaninii</i>	43,0	4,6	19,8	34,9	1,6	6,4
<i>A. pskemense</i>	49,6	3,8	25,4	36,4	1,8	7,8
<i>A. atyncolicum</i>	48,8	25,6	47,0	45,3	0,8	5,7
<i>A. ledebourianum</i>	47,1	14,7	88,2	26,4	0,5	4,5
<i>A. oliganthum</i>	49,2	3,6	16,3	25,1	0,3	4,2
<i>A. schoenoprasum</i>	49,5	84,3	501,7	47,3	0,4	5,5
<i>A. komarovianum</i>	50,1	3,4	14,2	33,2	1,1	4,1
Среднее / Mean	48,5	17,0	83,0	35,4	1,2	5,8
НСР ₀₅ / LSD ₅₀	3,38	3,54	3,76	3,37	0,18	0,70



Таблица 5 / Table 5

Корреляционный анализ урожайности и различных изучаемых морфологических и биохимических признаков *Allium* (подрод *Sera*)
Correlation analysis of yield and various studied morphological and biochemical characteristics of *Allium* (subgenus *Sera*)

Показатель Representative	Морфометрические показатели								Количественное содержание						
	Число побегов на растении, шт. per plant, pcs.	Число листьев на растении, шт. The number of leaves per plant, pcs.	Длина листа, см Sheet length, cm	Ширина листа, см Sheet width, cm	Урожайность, кг/м ² Productivity, kg/m ²	Сухие вещества, % Dry matter, %	Нитраты, мг/кг Nitrates, mg/kg	Моносахара, % Monosugar, %	Аскорбиновая кислота, мг/% Ascorbic acid, mg%	Хлорофилл, мг/100 г Chlorophyll, mg/100 g	Каротин, мг/кг Carotene, mg/kg	Гидроксикоричные кислоты, 10 ⁻³ % Hydroxycinnamic acids, 10 ⁻³ %	10 ⁻³ % Flavonoids, 10 ⁻³ %		
Высота растения, см Plant height, cm	0,094	0,071	0,178	0,090	0,221	0,405	-0,585	-0,032	0,256	-0,119	-0,018	-0,008	-0,510		
Число побегов на растении, шт. The number of shoots per plant, pcs.	1	0,964	0,669	-0,471	-0,093	0,069	0,166	-0,174	0,181	0,026	-0,158	0,403	0,068		
Число листьев на растении, шт. The number of leaves per plant, pcs.		1	0,552	-0,456	-0,110	-0,063	0,229	-0,150	0,016	-0,021	-0,219	0,265	0,044		
Длина листа, см Sheet length, cm			1	0,014	0,323	0,426	-0,366	0,045	0,347	-0,249	-0,205	0,859	0,279		
Ширина листа, см Sheet width, cm				1	0,818	0,239	-0,557	0,259	0,125	-0,332	0,109	0,351	0,268		
Урожайность, кг/м ² Productivity, kg/m ²					1	0,160	-0,627	-0,124	0,180	0,608	-0,265	0,543	0,283		
Сухие вещества, % Dry matter, %						1	-0,376	0,017	0,756	0,308	0,419	0,559	0,127		
Нитраты, мг/кг Nitrates, mg/kg							1	-0,209	-0,352	0,554	0,137	-0,365	0,007		
Моносахара, % Monosugar, %								1	-0,120	0,205	0,469	-0,007	-0,266		
Аскорбиновая кислота, мг/% Ascorbic acid, mg%									1	0,326	0,531	0,561	0,128		
Хлорофилл, мг/100 г Chlorophyll, mg/100 g										1	0,841	-0,148	-0,336		
Каротин, мг/кг Carotene, mg/kg											1	0,030	-0,252		
Гидроксикоричные кислоты, 10 ⁻³ % Hydroxycinnamic acids, 10 ⁻³ %												1	0,504		



(0,841), длиной листа и содержанием гидрокси-коричных кислот (0,859), содержанием сухих веществ и аскорбиновой кислотой (0,756).

Средняя положительная связь установлена между числом побегов и длиной листа (0,669), числом листьев и длиной листа (0,552), содержанием нитратов и хлорофилла (0,554), содержанием аскорбиновой кислоты и каротина (0,531), между общей урожайностью и содержанием хлорофилла (0,608), общей урожайностью и содержанием гидрокси-коричных кислот (0,543), содержанием сухих веществ и гидрокси-коричных кислот (0,559), содержанием аскорбиновой кислоты и гидрокси-коричных кислот (0,561), содержанием флавоноидов и гидрокси-коричных кислот (0,504).

Отмечена средняя отрицательная связь между содержанием нитратов и высотой растения (-0,585), шириной листа (-0,557) и общей урожайностью (-0,627). Установлена средняя отрицательная связь между высотой растения и содержанием флавоноидов (-0,510).

Результаты и их обсуждение

В ранее проведенных исследованиях [17] высота растений *A. tuberosum*, *A. angulosum*, *A. chinense* и *A. macranthum* в значительной степени и положительно коррелировала с длиной листа (0,86), шириной листа (0,718) и общей урожайностью (0,45). Отмечена значительная отрицательная связь между высотой растения и числом листьев на растении (-0,382), содержанием пировиноградной кислоты (-0,24), содержанием растворимых сухих веществ (-0,329) и наличием аллицина (-0,293). Установлена высокая значимая, но отрицательная связь между высотой растения и содержанием фенола (-0,578) и флавоноидов (-0,506). В наших исследованиях у десяти изученных видов *Allium* (подрод *Cepa*) наблюдалась слабая связь между высотой растения и общей урожайностью (0,221) и средняя отрицательная – между высотой растения и содержанием нитратов (-0,585) и концентрацией флавоноидов (-0,510).

Выявлена тесная положительная связь между числом листьев и числом побегов (0,964), средняя – между числом листьев и длиной листа (0,552), слабая – между числом листьев и содержанием нитратов (0,229), между числом листьев и концентрацией гидрокси-коричных кислот (0,265); слабая отрицательная – между числом листьев и шириной листа (-0,456), между числом листьев и содержанием каротинов (-0,219). В исследованиях других авторов установлена тесная отрицательная связь между числом листьев и

шириной листа (-0,475), длиной листа (-0,276), содержанием фенолов (0,279), содержанием флавоноидов (0,273), концентрацией пировиноградной кислоты (0,177) [17].

Установлена тесная положительная связь между длиной листа и концентрацией гидрокси-коричных кислот (0,859); слабая положительная – между длиной листа и общей урожайностью (0,323), содержанием сухих веществ (0,426), аскорбиновой кислоты (0,347) и флавоноидов (0,279); слабая отрицательная – между длиной листа и содержанием нитратов (-0,366), хлорофилла (-0,249) и каротина (-0,219). В предыдущих исследованиях наблюдали высокую достоверную положительную связь между длиной листа и шириной листа (0,764), общей урожайностью (0,636); высокую значимую отрицательную связь между длиной листа и содержанием фенолов (-0,717), флавоноидов (-0,492), растворимых сухих веществ (-0,518), аллицина (-0,333); отрицательную слабую связь между длиной листа и концентрацией пировиноградной кислоты (-0,285) [17].

Отмечена тесная положительная связь между шириной листа и общей урожайностью (0,818); слабая положительная – между шириной листа и содержанием сухих веществ (0,239), моносахаров (0,259), гидрокси-коричных кислот (0,351) и флавоноидов (0,268); средняя отрицательная – между шириной листа и содержанием нитратов (-0,557); слабая отрицательная – между шириной листа и содержанием хлорофилла (-0,332). В аналогичных исследованиях [17] ширина листа показала значительную положительную связь с общим урожаем (0,427), в то время как обнаружена значимая отрицательная связь с содержанием фенолов (-0,647), флавоноидов (-0,386), растворимых сухих веществ (-0,437), пировиноградной кислоты (-0,21), аллицина (-0,207).

Между общей урожайностью листьев и концентрацией гидрокси-коричных кислот (0,543) и хлорофиллов (0,608) наблюдалась средняя положительная связь; между урожайностью листьев и содержанием флавоноидов (0,283) – слабая положительная связь. Между общей урожайностью листьев и содержанием нитратов (-0,627), хлорофилла (-0,608) отмечена средняя отрицательная связь, слабая – каротином (-0,265). В исследованиях других авторов общая урожайность листьев показала значительную отрицательную связь между содержанием фенолов (-0,629), растворимых сухих веществ (-0,688), аллицина (-0,312) и концентрацией пировиноградной кислоты (-0,267). Между тем урожайность имела значимую положительную



связь с содержанием серы (0,371) [17]. Аналогичные результаты получены в исследованиях на чесноке [18, 19]. Более ранние полученные данные подтвердили достоверную положительную связь между урожайностью и высотой растения, массой луковицы, диаметром луковицы, массой зубков [20]; высотой растения, массой луковицы и числом зубков на луковицу [21]; массой луковицы, диаметром луковицы и высотой растения чеснока [22]. В другом исследовании наблюдали значимую положительную связь между урожайностью и массой луковиц ($r = 0,99$), диаметром луковиц ($r = 0,73$), высотой луковиц ($r = 0,53$), числом зубков ($r = 0,52$), шириной листа ($r = 0,52$). Выявлена положительная слабая связь между диаметром ложного стебля и содержанием аллицина ($r = 0,23$) [23].

Таким образом, у 10 изученных видов *Allium* (подрод *Cepa*) более высокие корреляции установлены между урожайностью и шириной листа, числом листьев и числом монокарпических побегов, содержанием сухих веществ и аскорбиновой кислоты, содержанием хлорофиллов и каротина, длиной листа и концентрацией гидроксикоричных кислот. В конечном счете это дает возможность формализации ключевых этапов построения перспективных моделей растений видов *Allium* при использовании различных селекционных индексов и маркеров, что позволит повысить эффективность отбора по селекционируемому признаку посредством введения информации о других признаках.

Заключение

Представители рода *Allium* – в основном многолетние растения, имеющие широкую амплитуду экологической валентности в отношении условий произрастания, относящиеся к разным жизненным формам, обладающие размерной, морфологической, ритмологической, временной поливариантностью онтогенеза, поливариантностью способов размножения и т.д. Знание взаимосвязи между урожаем и составляющими его компонентами позволит повысить эффективность выполнения селекционных программ за счет использования соответствующих статистических показателей. С помощью корреляционного анализа можно получать значительный объем данных для различных видов лука, что поможет понять ключевые особенности луковых культур, такие как урожайность и содержание биологически активных веществ. Полученные в ходе исследований данные показали, что каждый из изученных видов *Allium* характеризуется своей специфичной системой взаимосвязей признаков.

Можно сделать вывод, что признаки «ширина листа» и «содержание хлорофилла» могут рассматриваться как критерии отбора для повышения урожайности, а «длина листа» – для накопления в них гидроксикоричных кислот. При установлении корреляции между признаками обнаруживается связь, определяющая влияние одного признака на другой, с одной стороны, с другой – создается база для прогноза результатов отбора и оптимизации селекционного процесса. Эти подходы приведут к разработке новых стратегий селекции для улучшения рода *Allium*. Такая информация в конечном итоге поможет ускорить выращивание луковых культур.

Список литературы

1. Teshika J. D., Zakariyyah A. M., Zaynab T., Zengin G., Rengasamy K. R., Pandian S. K., Fawzi M. M. Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.) : A systematic review // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2019. № 59. P. 39–70.
2. Brullo S., Brullo C., Cambria S., del Galdo G. G., Salmeri C. *Allium albanicum* (Amaryllidaceae), a new species from Balkans and its relationships with *A. meteoricum* Heldr. & Hausskn. ex Halácsy // PhytoKeys. 2019. № 119. P. 117–136. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.119.30790>
3. Kothari D., Lee W.-D., Kim S.-K. *Allium* Flavonols: Health Benefits, Molecular Targets, and Bioavailability // Antioxidants. 2020. № 9. P. 888. <https://doi.org/10.3390/antiox9090888>
4. Dabeek W. M., Kovinich N., Walsh C., Ventura Marra M. Characterization and Quantification of Major Flavonol Glycosides in Ramps (*Allium tricoccum*) // Molecules. 2019. № 24. P. 3281.
5. Poojary M. M., Putnik P., Kovačević D.B., Barba F. J., Lorenzo J. M., Dias D. A., Shpigelman A. Stability and extraction of bioactive sulfur compounds from *Allium* genus processed by traditional and innovative technologies // J. Food Compos. Anal. 2017. № 61. P. 28–39.
6. Putnik P., Gabrič D., Roohinejad S., Barba F. J., Granato D., Mallikarjunan K., Lorenzo J. M., Kovačević D. B. An overview of organosulfur compounds from *Allium* spp.: From processing and preservation to evaluation of their bioavailability, antimicrobial, and anti-inflammatory properties // Food Chem. 2019. № 276. P. 680–691.
7. Солдатенко А. В., Иванова М. И., Бухаров А. Ф., Кашлева А. И., Балеев Д. Н., Разин О. А. Зимостойкость представителей рода *Allium* L. в условиях Московской области в зависимости от степени суровости зимнего периода // Овощи России. 2018. № 3. С. 22–26. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-3-22-26>
8. Солдатенко А. В., Иванова М. И., Бухаров А. Ф., Кашлева А. И., Середин Т. М. Перспективы введения в культуру дикорастущих видов рода *Allium* L. пищевого направления // Овощи России. 2021. № 1. С. 20–32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-20-32>



9. Иванова М. И., Бухаров А. Ф., Балеев Д. Н., Бухарова А. Р., Кашлева А. И., Середин Т. М., Разин О. А. Биохимический состав листьев видов *Allium* L. в условиях Московской области // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 33 (5). С. 47–50. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10511>
10. Khandagale K., Krishna R., Roylawar P., Ade A.B., Benke A., Shinde B., Singh M., Gawande S. J., Rai A. Omics approaches in *Allium* research: Progress and way ahead // PeerJ. 2020. Vol. 8. P. e9824. <https://doi.org/10.7717/peerj.9824>
11. Abdelrahman M., Hirata S., Ito S.-I., Yamauchi N., Shigyo M. Compartmentation and localization of bioactive metabolites in different organs of *Allium roylei* // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2014. № 7. P. 1112–1122.
12. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Смирнова-Иконникова М. И., Ярош Н. П., Луковникова Г. А. Методы биохимического исследования растений. Л. : Колос, 1972. 456 с.
13. Gedam P. A., Thangasamy A., Shirsat D. V., Ghosh S., Bhagat K. P., Sogam O. A., Gupta A. J., Mahajan V., Soumia P. S., Salunkhe V. N., Khade Y. P., Gawande S. J., Hanjagi P. S., Ramakrishnan R. S., Singh M. Screening of Onion (*Allium cepa* L.) Genotypes for Drought Tolerance Using Physiological and Yield Based Indices Through Multivariate Analysis // Front. Plant Sci. 2021. 09 February. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.600371>
14. Pujar U. U., Jagadeesha R. C., Gangadharappa P. M., Chavan M. L., Shankarappa S., Jayappa J. Assessment of Genetic Variability in Onion (*Allium cepa* L.) Genotypes // Ind. J. Pure App. Biosci. 2019. № 7 (6). P. 152–156. <https://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.7889>
15. Jafari S., Hassandokht M. R., Taheri M., Kashi A. Genetic Diversity and Taxonomic Studies of *Allium akaka* and *Allium elburzense* Native to Iran Using Morphological Characters // Journal of Horticultural Research. 2017. № 25 (1). P. 99–115.
16. Ширишова Т. И., Бешлей И. В., Голубкина Н. А., Голубев Ф. В., Клюйков Е. В., Черемушкина В. А. Эссенциальные микронутриенты – компоненты антиоксидантной защиты в некоторых видах рода *Allium* // Овощи России. 2019. № 1. С. 68–79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-68-79>
17. Rathore N., Gayen R., Mahajan V., Thangasamy A., Ghodke P. Studies on leaf yield and association analysis in underutilized and cultivated *Allium* species // International Journal of Chemical Studies. 2020. № 8 (3). P. 57–61. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3a.9467>
18. Shri Dhar. Genetic variability and character association in garlic. Progressive Horticulture. 34 (1) : 88–91. Fluids // J. Agric. Food Chem. 2002. № 43. P. 2332–2338.
19. Agrawal A., Tiwari R. S. Character association and path analysis in garlic (*Allium sativum* L.) // Vegetable Science. 2009. № 36 (1). P. 69–73.
20. Kalloo G., Pandey V. C., Lal S., Pandita M. L. Correlation and path analysis Studies in Garlic (*Allium sativum* L.) // Haryana Journal of Horticultural Science. 1982. № 11. P. 97–101.
21. Lokhande G. D., Pawar B. B. Correlation studies in garlic // Journal of Maharashtra Agriculture University. 1988. № 13 (1). P. 110–111.
22. Sharma D. P., Verma B. K., Mehta A. K., Shrivastava R. K. Correlation and path analysis in garlic (*Allium sativum* L.) // Harayana J. Hort. Sci. 1998. № 27 (4). C. 277–280.
23. Wang H., Li X., Shen D., Oiu Y., Song J. Diversity evaluation of morphological traits and allicin content in garlic (*Allium sativum* L.) from China // Euphytica. 2014. № 198. P. 243–254. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1097-1>

References

1. Teshika J. D., Zakariyyah A. M., Zaynab T., Zengin G., Rengasamy K. R., Pandian S. K., Fawzi M. M. Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.): A systematic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2019, no. 59, pp. 39–70.
2. Brullo S., Brullo C., Cambria S., del Galdo G.G., Salmeri C. *Allium albanicum* (Amaryllidaceae), a new species from Balkans and its relationships with *A. meteoricum* Heldr. & Hausskn. ex Halácsy. *PhytoKeys*, 2019, no. 119, pp. 117–136. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.119.30790>
3. Kothari D., Lee W.-D., Kim S.-K. *Allium* Flavonols: Health Benefits, Molecular Targets, and Bioavailability. *Antioxidants*, 2020, no. 9, pp. 888. <https://doi.org/10.3390/antiox9090888>
4. Dabeek W. M., Kovinich N., Walsh C., Ventura Marra M. Characterization and Quantification of Major Flavonol Glycosides in Ramps (*Allium tricoccum*). *Molecules*, 2019, no. 24, pp. 3281.
5. Poojary M. M., Putnik P., Kovačević D.B., Barba F. J., Lorenzo J. M., Dias D. A., Shpigelman A. Stability and extraction of bioactive sulfur compounds from *Allium* genus processed by traditional and innovative technologies. *J. Food Compos. Anal.*, 2017, no. 61, pp. 28–39.
6. Putnik P., Gabrič D., Roohinejad S., Barba F. J., Granato D., Mallikarjunan K., Lorenzo J. M., Kovačević D. B. An overview of organosulfur compounds from *Allium* spp.: From processing and preservation to evaluation of their bioavailability, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. *Food Chem.*, 2019, no. 276, pp. 680–691.
7. Soldatenko A. V., Ivanova M. I., Buharov A. F., Kashleva A. I., Baleev D. N., Razin O. A. Winter hardiness of representatives of the genus *Allium* L. in the conditions of the Moscow region, depending on the severity of the winter period. *Vegetable Crops of Russia*, 2018, no. 3, pp. 22–26 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-3-22-26>
8. Soldatenko A. V., Ivanova M. I., Buharov A. F., Kashleva A. I., Seredin T. M. Prospects for the introduction of wild-growing species of the genus *Allium* L. into the culture of the food direction. *Vegetable Crops of Russia*, 2021, no. 1, pp. 20–32 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-20-32>



9. Ivanova M. I., Buharov A. F., Baleev D. N., Buharova A. R., Kashleva A. I., Seredin T. M., Razin O. A. Biochemical composition of leaves of *Allium* L. species in the conditions of the Moscow region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 2019, no. 33 (5), pp. 47–50 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10511>
10. Khandagale K., Krishna R., Roylawar P., Ade A. B., Benke A., Shinde B., Singh M., Gawande S. J., Rai A. Omics approaches in *Allium* research: Progress and way ahead. *PeerJ*, 2020, vol. 8, pp. e9824. <https://doi.org/10.7717/peerj.9824>
11. Abdelrahman M., Hirata S., Ito S.-I., Yamauchi N., Shigyo M. Compartmentation and localization of bioactive metabolites in different organs of *Allium roylei*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 2014, no. 7, pp. 1112–1122.
12. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Smirnova-Ikonnikova M. I., Jarosh N. P., Lukovnikova G. A. *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenii* [Methods of Biochemical Research of Plants]. Leningrad, Kolos Publ., 1972. 456 p. (in Russian).
13. Gedam P. A., Thangasamy A., Shirsat D. V., Ghosh S., Bhagat K. P., Sogam O. A., Gupta A. J., Mahajan V., Soumia P. S., Salunkhe V. N., Khade Y. P., Gawande S. J., Hanjagi P. S., Ramakrishnan R. S., Singh M. Screening of Onion (*Allium cepa* L.) Genotypes for Drought Tolerance Using Physiological and Yield Based Indices Through Multivariate Analysis. *Front. Plant Sci.*, 2021, 09 February. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.600371>
14. Pujar U. U., Jagadeesha R. C., Gangadharappa P. M., Chavan M. L., Shankarappa S., Jayappa J. Assessment of Genetic Variability in Onion (*Allium cepa* L.) Genotypes. *Ind. J. Pure App. Biosci.*, 2019, no. 7 (6), pp. 152–156. <https://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.7889>
15. Jafari S., Hassandokht M. R., Taheri M., Kashi A. Genetic Diversity and Taxonomic Studies of *Allium akaka* and *Allium elburzense* Native to Iran Using Morphological Characters. *Journal of Horticultural Research*, 2017, no. 25 (1), pp. 99–115.
16. Shirshova T. I., Beshlej I. V., Golubkina N. A., Golubev F. V., Klyujkov E. V., Cheremushkina V. A. Essential micronutrients – components of antioxidant defense in some species of the genus *Allium*. *Vegetable Crops of Russia*, 2019, no. 1, pp. 68–79 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-68-79>
17. Rathore N., Gayen R., Mahajan V., Thangasamy A., Ghodke P. Studies on leaf yield and association analysis in underutilized and cultivated *Allium* species. *International Journal of Chemical Studies*, 2020, no. 8 (3), pp. 57–61. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3a.9467>
18. Shri Dhar. Genetic variability and character association in garlic. *Progressive Horticulture.*, 34 (1) : 88–91. *fluids. J. Agric. Food Chem.*, 2002, no. 43, pp. 2332–2338.
19. Agrawal A., Tiwari R. S. Character association and path analysis in garlic (*Allium sativum* L.). *Vegetable Science*, 2009, no. 36 (1), pp. 69–73.
20. Kalloo G., Pandey V.C., Lal S., Pandita M. L. Correlation and path analysis Studies in Garlic (*Allium sativum* L.). *Haryana Journal of Horticultural Science*, 1982, no. 11, pp. 97–101.
21. Lokhande G. D., Pawar B. B. Correlation studies in garlic. *Journal of Maharashtra Agriculture University*, 1988, no. 13 (1), pp. 110–111.
22. Sharma D. P., Verma B. K., Mehta A. K., Shrivastava R. K. Correlation and path analysis in garlic (*Allium sativum* L.). *Harayana J. Hort. Sci.*, 1998, no. 27 (4), pp. 277–280.
23. Wang H., Li X., Shen D., Oiu Y., Song J. Diversity evaluation of morphological traits and allicin content in garlic (*Allium sativum* L.) from China. *Euphytica*, 2014, no. 198, pp. 243–254. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1097-1>

Поступила в редакцию 07.04.21; одобрена после рецензирования 15.05.21; принята к публикации 21.05.21
 The article was submitted 07.04.21; approved after reviewing 15.05.21; accepted for publication 21.05.21