

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-10-15>  
УДК 635.112:581.19

В. М. Колдаев

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии  
Дальневосточного отделения Российской академии наук 690022, РФ, г. Владивосток,  
проспект 100-летия Владивостока, 159

\*Адрес для переписки: kolvm42@rambler.ru

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № 121031000120-9.

**Для цитирования:** Колдаев В.М. Динамика изменения содержания беталаиновых пигментов в корнеплодах красной свеклы в процессе вегетации и хранения. *Овощи России*. 2023;(3):10-15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-10-15>

**Поступила в редакцию:** 24.04.2023

**Принята к печати:** 16.05.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Vladimir M. Koldaev

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
159, avenue of the 100-years Vladivostok, Vladivostok, Russia, 690022

\*Correspondence: kolvm42@rambler.ru

**Conflict of interest.** The author declares no conflicts of interest.

**Funding.** The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on topic No. 121031000120-9.

**For citations:** Koldaev V.M. Dynamics of changes in the content of betalain pigments in red beet roots during the growing season and storage. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(3):10-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-10-15>

**Received:** 24.04.2023

**Accepted for publication:** 16.05.2023

**Published:** 09.06.2023

# Динамика изменения содержания беталаиновых пигментов в корнеплодах красной свеклы в процессе вегетации и хранения



## Резюме

**Цель.** Беталаины растительные пигменты корнеплодов красной свеклы проявляют антиоксидантную активность, снижают риски многих патологических состояний. Однако широкое внедрение беталаинов затрудняется недостаточной изученностью их превращений в процессе вегетации и хранения корнеплодов, что явилось целью работы.

**Методы.** В исследованиях использовали корнеплоды пяти сортов столовой свеклы. Содержание и устойчивость беталаинов определяли спектрофотометрическими методами по числовым показателям спектров поглощения экстрактов из корнеплодов.

**Результаты.** В корнеплодах свеклы в первые 20 дней вегетации после всходов содержание бетаксантинов больше, чем бетацианинов, но к 40-му дню превышают бетацианины над бетаксантином в соотношении 1,26–2,21. На 70–90-й дни вегетации формируется основной пул беталаинов, их содержание достигает 84,5–198,6 мг/100 г, соотношение бетацианины/бетаксантины и устойчивость составляют 2,47–9,76 и 0,82–0,91 соответственно. Наибольшие превышения содержаний бетацианинов над бетаксантинами в 8,11–9,65 раз получены в корнеплодах свеклы сортов Креолка и Веселая Смуглянка. Устойчивость беталаинов при шестимесячном хранении снижается менее, чем в 1,4 раза.

**Заключение.** Разработанный спектрофотометрический метод определения устойчивости беталаинов целесообразно применять в экспресс-анализе корнеплодов свеклы. Беталаины превышают по устойчивости другие растительными антиоксидантами. Корнеплоды свеклы более предпочтительны для общеукрепляющих диет, чем другие продукты с антиоксидантной активностью.

**Ключевые слова:** бетацианин, бетаксантин, устойчивость беталаинов, вегетация, хранение

## Dynamics of changes in the content of betalain pigments in red beet roots during the growing season and storage

### Abstract

**Purpose.** Betalains, plant pigments of red beet roots, exhibit antioxidant activity and reduce the risks of many pathological conditions. However, the widespread introduction of betalains is hampered by insufficient knowledge of their transformations during the growing season and storage of root crops, which was the purpose of the work.

**Methods.** Root crops of five varieties of table beets were used in the studies. The content and stability of betalains were determined by spectrophotometric methods according to the numerical indices of the absorption spectra of extracts from root crops.

**Results.** In the beet roots in the first 20 days of vegetation after germination, the content of betaxanthins is higher than that of betacyanins, but by the 40<sup>th</sup> day, betacyanins exceed betaxanthins over betaxanthin in the ratio of 1.26-2.21. By the 70<sup>th</sup> - 90<sup>th</sup> days of vegetation, the main pool of betalains is formed, their content reaches 84.5-198.6 mg / 100 g, the ratio of betacyanins / betaxanthins and resistance are 2.47-9.76 and 0.82-0.91 respectively. The highest excess of the content of betacyanins over betaxanthins by 8.11 - 9.65 times was obtained in beet root crops of Creolka and Veselaia Smulyanka varieties. The stability of betalains during six-month storage decreases less than 1.4 times.

**Conclusion.** It is advisable to use the developed spectrophotometric method for determining the stability of betalains in the express analysis of beet root crops. Betalains are more stable than other plant antioxidants. Beet roots are more preferred for fortifying diets than other foods with antioxidant activity.

**Keywords:** betacyanin, betaxanthin, resistance of betalains, vegetation, storage

## Введение

Беталаины – водорастворимые растительные пигменты впервые обнаружены в корнеплодах красной свеклы обыкновенной *Beta vulgaris* L., отсюда и тривиальное их название. Беталаины синтезируются в растениях из тирозина, включают азотистое ядро и беталамовую кислоту, при конденсации которой с иминосоединениями или аминами образуются различные фиолетово-красные бетацианины или желтые бетаксантины (рис. 1) с максимумами поглощения в диапазонах 532–550 и 457–485 нм соответственно [1]. К настоящему времени в растениях порядка гвоздикоцветных *Caryophyllales* и некоторых высших грибах идентифицировано 75 разновидностей беталаинов, из них 42 относятся к бетацианинам (БЦ), остальные к бетаксантинам (БК) [2].

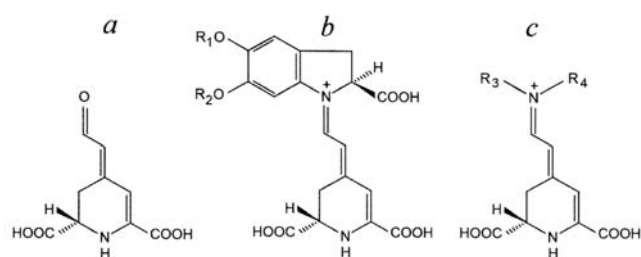


Рис. 1. Структуры беталамной кислоты (а), бетацианинов (b) и бетаксантинов (с). R1, R2, R3, R4 – соединения аминокислот, иминогруппы и другие органические радикалы  
Fig. 1. Structures of betalamic acid (a), betacyanins (b) and betaxanthins (c). R1, R2, R3, R4 – amino acid compounds, imino groups and other organic radicals

В последние годы показано, что беталаины обладают антиоксидантной активностью (АОА) [3], устраняют метаболические нарушения при сахарном диабете [4] и абдоминальном ожирении [5]. Потребление богатых беталаинами продуктов снижает риски сердечно-сосудистых [6], онкологических [7] и нейродегенеративных [8] заболеваний. Красная столовая свекла – важнейшее, известное с IV века до н.э. овощное растение, по существу, единственный пищевой поставщик оксида азота – регулятора многих жизненных процессов [9]. Однако не смотря на широкую распространенность и общеукрепляющие свойства, вопро-

сы накопления в корнеплодах свеклы беталаинов, их устойчивости изучены недостаточно полно.

Цель работы заключалась в исследовании динамики накопления, соотношений содержаний бетацианинов к бетаксантинам и устойчивости беталаинов в корнеплодах разных сортов красной столовой свеклы в процессе вегетации и хранения.

## Методы

В исследованиях использовали корнеплоды красной столовой свеклы 5-ти сортов (табл. 1), выращенных автором на территории садоводческого некоммерческого товарищества «Океан» в урочище Кипарисово, Надеждинского района, Приморского края РФ (43°27'37", 131°58'3") в летний период 2022 г., согласно агротехническим рекомендациям [10, 11].

Корнеплоды собирали в 16–17 час в сухую солнечную погоду в разные сроки (табл. 2) после всходов, урожай хранили в бытовом холодильнике ФР-415В (Океан, Россия) при температуре +(4±6)°C в течение 6 мес. Для всех исследований навески проб брали из центральных частей корнеплодов. Беталаины определяли спектрофотометрическим методом [12, 13]: навеску мелко измельченной свеклы 0,5–0,8 г до обесцвечивания экстрагировали порциями 70% этанола при гомогенизации в фарфоровой ступке под слоем экстрагента, порции фильтровали через бумажный фильтр и собирали в мерную колбу, доводя до метки экстрагентом. Фильтрат фотометрировали относительно экстрагента на спектрофотометре UV-2501PC (Shimadzu, Япония) в диапазоне длин волн 220–650 нм. Суммарное содержание бетацианинов (total content of betacyanins, TC1) в мг/100 г определяли (в пересчете на бетанин) по формуле:

$$TC1 = 100 \frac{A1 \times V \times M1}{E1 \times L \times m},$$

где A1 – абсорбция в максимуме поглощения бетацианинов, V – объем экстракта в мл, M1 – молярная масса бетанина, 550 г/моль, E1 – молярный коэффициент погашения бетацианинов в максимуме поглощения, 60000, L – длина оптического пути, 1 см, m – масса навески.

Таблица 1. Посадочный материал  
Table 1. Planting material

№ п/п	Сорт	Показатели сортов*			Поставщик семян
		Характеристика спелости	Сроки созревания, дни	Масса, г	
1	Детройт	Среднеспелый	110 – 115	110 – 210	Зеленый исток, Владивосток
2	Креолка			160 – 235	
3	Бордо-237		80 – 115	230 – 500	
4	Одноростковая	Позднеспелый	120 – 130	190 – 220	
5	Веселая смуглянка	Среднеспелый	115 – 120	240 – 380	Сады России, Челябинск

\* – данные рекламы поставщика семян

Суммарное содержание бетаксантинов (total betaxanthin content, TC2) в мг/100 г, в пересчете на вульгаксантин-I вычисляли по формуле:

$$TC2 = 100 \frac{(A2 - k \times A1) \times V \times M2}{E2 \times L \times m},$$

где A2 – абсорбция в максимуме поглощения бетаксантинов, k коэффициент пересчета, 0,323, M2 – молярная масса вульгаксантина-I, 339 г/моль, E2 – молярный коэффициент погашения бетацианинов на длине волны 469 нм, остальные обозначения по предыдущей формуле.

Общее содержание беталаинов (TCB) находили как сумму:

$$TCB = TC1 + TC2.$$

На абсорбционных спектрах (АС) экстрактов определяли координаты максимумов и точек перегиба контура полосы поглощения по ранее описанной методике [14].

Устойчивость беталаинов определяли спектрофотометрически по изменению интегральной интенсивности поглощения экстрактов из сырых и обработанных теплом («вареных») корнеплодов. При тепловой обработке свежие корнеплоды заливали кипятком 1:10, помещали в кипящую водяную баню на 20 мин, затем извлекали, обсушивали фильтровальной бумагой и охлаждали на воздухе до комнатной температуры. Интегральную интенсивность поглощения (ИИП) определяли как площадь S, ограниченную сверху контуром полосы поглощения АС, снизу горизонтальной осью абсцисс, слева и справа перпендикулярами из точек перегиба, по интегральной формуле Симпсона [14]. Например, ИИП S1 и S2 экстрактов из свежих и «вареных» корнеплодов численно равны площадям фигур *abA1A2cd* и *efA3A4gd* в пределах интегрирования [a; d] и [e; g] соответственно (рис. 2). Коэффициент устойчивости SF (stability factor) вычисляли как отношение указанных площадей:

$$SF = \frac{S_2}{S_1}.$$

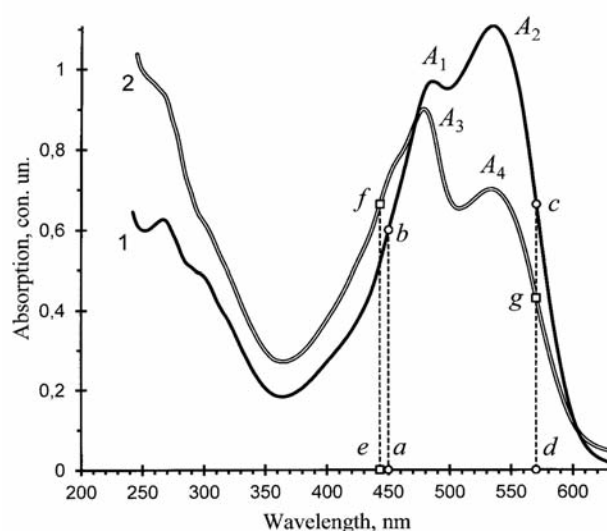
На каждое определение брали по 5 независимых проб, результаты обрабатывали статистическими методами линейной корреляции и малой выборки с представлением результата в формате: среднее ± ошибка среднего (хср ± sx) [15], различия считали достоверными при уровне значимости нулевой гипотезы  $p < 0,05$ .

## Результаты

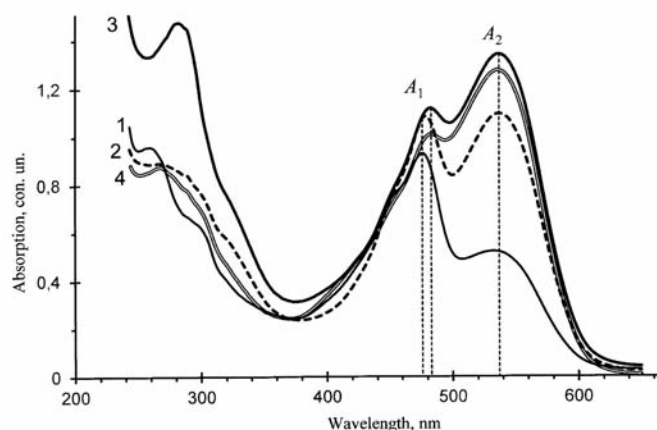
Полученные результаты показывают, что на 120-й день после всходов при сборе урожая наибольшие массы 223 – 289 г (см. табл. 2) имеют Бордо-237, Одноростковая и Веселая Смуглянка, массы других исследованных сортов в 1,21 – 1,57 раза меньше.

В процессе вегетации корнеплоды набирали к 70-му 72–75%, а в последующие 50 дней 25–28% от своих «урожайных» масс. В день сбора урожая наиболее высокое содержание беталаинов 152–227 мг/100 г обнаружено в корнеплодах Креолка и Веселая смуглянка, а в остальных в 1,63–2,64 раза меньше. Из полученных данных видно, что к 70-му дню вегетации в корнеплодах свеклы всех сортов содержание беталаинов достигало 85–94% от значений на день сбора урожая.

Спектрофотометрический анализ показал, что АС экстрактов корнеплодов свеклы в видимой области имеют в диапазонах 478–483 и 536–538 нм по два характерных пика A1 и A2 с изменяющимися высотами по мере развития корнеплодов. К 20-му дню вегетации высота первого пика в 1,78 раза больше, чем второго (кривая 1 на рис. 3), но в последующие 70-й и 120-й дни наоборот второй пик превышает первый в 1,2–1,27 раза (кривые 4 и 3 на рис. 3).



**Рис. 2.** Абсорбционные спектры экстрактов из свежих (1) и «вареных» (2) корнеплодов свеклы Бордо-237. A1, A2, A3, A4 – локальные максимумы поглощения, b, c, f, g – точки перегиба, a, d, e – пределы интегрирования  
**Fig. 2.** Absorption spectra of extracts from fresh (1) and «boiled» (2) beet roots Bordo-237. A1, A2, A3, A4 – local absorption maxima, b, c, f, g – inflection points, a, d, e – integration limits



**Рис. 3.** Абсорбционных спектры экстрактов из корнеплодов свеклы Бордо-237 на 20-й (1), 70-й (4), 120-й (3) дни вегетации после всходов и на шестом месяце хранения (2)  
**Fig. 3.** Absorption spectra of extracts from beet roots Bordo-237 on the 20th (1), 70th (4), 120th (3) days of vegetation after germination and at the sixth month of storage (2)

Таблица 2. Масса корнеплодов и показатели бетаинов столовой свеклы разных сортов при вегетации и хранении  
 Table 2. Mass of root crops and indicators of table beet betalains of different varieties during vegetation and storage

Сорт	Корнеплоды			Показатели бетаинов		
	Сроки забора проб, дни		Общее содержание, мг/100 г	мг/100 г	Соотношение БЦ/БК <sup>d</sup>	SF <sup>f</sup>
Детройт	Вегетация <sup>a</sup>	20	14,2±5,4 <sup>c</sup>	43,4±5,6	0,45±0,07	0,62±0,069
		40	26,4±7,8	56,2±11,2	1,96±0,33	0,75±0,056
		70	139,5±18,6	82,3±24,6	3,67±0,35	0,73±0,063
		90	178,6±21,8	86,7±29,3	3,68±0,41	0,87±0,072
		120	184,1±34,7	87,1±31,4	3,65±0,32	0,87±0,078
	Хранение <sup>b</sup>	90	169,3±26,8	80,7±29,6	2,44±0,45	0,85±0,092
		180	161,9±31,2	74,3±12,7	1,08±0,18	0,71±0,056
Креолка	Вегетация	20	17,2±2,4	51,5±6,7	0,83±0,08	0,62±0,09
		40	29,5±4,5	62,3±7,8	6,26±0,26	0,82±0,09
		70	167,3±22,7	160,4±25,3	9,23±1,12	0,83±0,8
		90	215,6±29,8	171,8±28,2	9,76±0,98	0,91±0,04
		120	220,2±31,4	178,2±26,1	9,88±1,03	0,89±0,08
	Хранение	90	205,3±24,7	163,4±18,8	9,64±0,86	0,75±0,07
		180	198,4±22,7	154,5±16,7	8,54±0,87	0,64±0,08
Бордо-237	Вегетация	20	23,3±5,6	34,2±2,3	0,34±0,04	0,66±0,08
		40	37,5±8,3	52,6±6,2	1,86±0,15	0,78±0,08
		70	184,4±24,7	72,3±8,3	2,58±0,16	0,77±0,08
		90	239,1±31,1	84,5±8,9	2,47±0,19	0,82±0,09
		120	245,2±22,5	86,1±9,2	2,49±0,18	0,83±0,09
	Хранение	90	230,5±23,1	80,2±7,8	1,87±0,12	0,78±0,08
		180	218,2±19,4	72,3±8,7	1,03±0,15	0,75±0,07
Одноростковая	Вегетация	20	24,4±3,2	18,5±2,6	0,67±0,07	0,62±0,07
		40	30,3±3,8	56,2±8,9	2,21±0,19	0,77±0,07
		70	196,3±18,5	76,4±7,3	3,56±0,22	0,78±0,08
		90	255,2±28,6	90,1±7,7	3,57±0,41	0,84±0,09
		120	260,1±29,2	93,8±9,2	3,61±0,28	0,83±0,09
	Хранение	90	244,6±26,7	84,7±9,6	2,56±0,31	0,72±0,09
		180	231,5±25,8	76,9±9,5	2,23±0,29	0,62±0,07
Веселая Смуглянка	Вегетация	20	20,5±5,6	53,1±4,9	0,76±0,08	0,65±0,05
		40	43,8±6,3	65,4±7,8	2,04±0,16	0,76±0,08
		70	183,6±17,2	171,5±21,2	4,67±0,56	0,76±0,08
		90	249,4±23,7	198,6±23,1	8,73±0,92	0,88±0,09
		120	255,3±20,8	202,3±25,3	10,02±1,14	0,91±0,05
	Хранение	90	234,8±25,7	180,1±17,3	9,91±0,96	0,84±0,09
		180	224,7±23,8	163,7±16,8	8,83±0,87	0,64±0,08

Примечания: <sup>a</sup> – после всходов, <sup>b</sup> – после сбора урожая, <sup>c</sup> – среднее из 5 проб ± ошибка среднего, <sup>d</sup> – отношение содержащий бетаинов к бетаксантинам, <sup>f</sup> – устойчивость бетаинов, курсивом выделены значения, достоверно отличающиеся от данных на момент сбора урожая при  $p < 0,05$



Соотношения содержаний бетацианинов к бетаксантинам (БЦ/БК) на 20-й день вегетации оказались меньше единицы и составляли от 0,31 до 0,91, но к 40-му дню превышали единицу в 1,86–2,04 раза, и далее наблюдалось их возрастание вплоть до сбора урожая в 8,11–9,65 раз в корнеплодах свеклы сортов Креолка и Веселая Смуглянка соответственно; в корнеплодах других сортов нарастание значений БЦ/БК было менее значительным.

Показатель устойчивости  $SF$  беталаинов, составляющий на 20-й день наблюдения значения 0,62 до 0,78, к 40-му дню возрастает в 1,17–1,24 раза, достигая практически максимального уровня к срокам сбора урожая. Анализ полученных данных показывает, что имеются достоверные взаимосвязи средней силы  $SF$  с содержанием беталаинов и слабые связи  $SF$  с показателем БЦ/БК при коэффициентах корреляции  $0,65 \pm 0,16$  ( $t=4,1$ ,  $p<0,001$ ) и  $0,51 \pm 0,19$  ( $t=2,67$ ,  $p<0,05$ ) соответственно.

К 6-му месяцу хранения постепенно снижаются масса корнеплодов на 10–14%, общее содержание беталаинов на 15–23%, БЦ/БК на 38–70% относительно значений, зафиксированных в начале хранения. Наиболее значительное уменьшение  $SF$  на 15–28% по сравнению с «урожайным» значением получено для беталаинов корнеплодов Креолки и Веселой Смуглянки, а в корнеплодах других исследованных сортов оно еще меньше.

## Обсуждение

Полученные результаты (табл. 2) согласуются с известными данными масс корнеплодов [16] и содержания в них беталаинов [13] различных сортов свеклы, выращенной в других регионах России. Как видно из представленных данных, накопление и формирование пула беталаинов в корнеплодах свеклы происходит, в основном, за счет бетацианинов.

Устойчивости беталаинов, как следует из данных по исследованию, например, сыпучих порошков [17], соков [18], экстрактов и других фитопрепаратов из корнеплодов свеклы [19], зависит от многих факторов, основными из которых являются [20] химическая структура пигмента – бетацианины более устойчивы, чем бетаксантины, кислотность среды и теплоустойчивость беталаинов резко снижается при довольно высоких рН более 8–9 и нагреве свыше 50°C, кроме того, деградация беталаинов усиливается под воздействием света, кислорода, катионов  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  и гидролитических ферментов. Поскольку указанные сведения выявлены в исследованиях на продуктах переработки свеклы, а не на самих хранящихся кор-

неплодах, то возможны только косвенные сопоставления результатов литературы с полученных нами данными по устойчивости беталаинов.

Корнеплоды свеклы в условиях наших исследований сохранялись в бытовом холодильнике в темноте при температурах не более +6°C, поэтому влияние света и тепла на устойчивость беталаинов исключаются. Резкие сдвиги кислотно-щелочного равновесия клеточной среды в сторону увеличения рН согласно биохимии растений [21] маловероятны, и вряд ли можно ожидать значительного защелачивания ( $pH > 9$ ) внутренней среды хранящихся корнеплодов свеклы, в этом случае рН, по-видимому, не является решающим фактором в снижении устойчивости беталаинов. Наиболее вероятно, что снижение устойчивости беталаинов, их деградация в корнеплодах свеклы при длительном хранении обусловлены процессами ферментативного гидролиза.

Согласно полученным данным устойчивость беталаинов при длительном хранении снижается не на много, менее чем в 1,4 раза, т. е. эти пигменты более устойчивы по сравнению, например, с антоцианами, устойчивость которых, как нами было показано нами ранее показано [22], например, на ягодах малины, снижается в несколько раз быстрее при аналогичных условиях хранения. Таким образом, беталаины как довольно устойчивые пигменты с высокой АОА (больше аскорбиновой кислоты в 3–4 раза [23]) имеют несомненные преимущества в качестве пищевых добавок по сравнению с такими известными антиоксидантами как антоцианы.

Следует также отметить, что мировой рынок беталаин-содержащих пищевых компонентов, например, свекольного сока, ежегодно расширяется в среднем на 5%, и эта тенденция по прогнозу многих специалистов [9] будет нарастать и в последующие годы.

## Заключение

Разработанный спектрофотометрический метод определения устойчивости беталаинов целесообразно применять в экспресс-анализе корнеплодов свеклы. Беталаины превышают по устойчивости широко известные растительные антиоксиданты антоцианы и, благодаря биодоступности из-за своей высокой растворимости в воде, более предпочтительны для использования в укрепляющих здоровье диетах. Усилия дальнейших исследователей, по-видимому, должны быть направленными на разработку беталаин-содержащих фитопрепаратов, которых в России производится еще недостаточно.

**Об авторе:**

**Владимир Михайлович Колдаев** – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории лекарственных растений, <https://orcid.org/0000-0002-6206-200X>, Scopus ID 57189999504, адрес для переписки, [kolvm42@rambler.ru](mailto:kolvm42@rambler.ru)

**About the Author:**

**Vladimir M. Koldaev** – Doc. Sci. (Biology), Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Medicinal Plants, <https://orcid.org/0000-0002-6206-200X>, Scopus ID 57189999504, [kolvm42@rambler.ru](mailto:kolvm42@rambler.ru)

**• Литература / References**

- Khan M.I., Giridhar P. Plant betalains: chemistry and biochemistry. *Phytochemistry*. 2015;117:267-295. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.06.008>
- Slimen I.B., Najar T., Abderrabba M. Chemical and antioxidant properties of betalains. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2017;65(4):675-689. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04208>
- Sawicki T., Bączek N., Wiczowski W. Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of functional foods*. 2016;27:249-61. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.004>
- Madadi E., Mazloun-Ravasan S., Yu J.S., Ha J.W., Hamishehkar H., Kim K.H. Therapeutic application of betalains: A review. *Plants*. 2020;9(9),1219:1-27. <https://doi.org/10.3390/plants9091219>
- Song H., Chu Q., Xu D., Xu Y., Zheng X. Purified betacyanins from *Hylocereus undatus* peel ameliorate obesity and insulin resistance in High-Fat-Diet-Fed mice. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2016;64(1):236-244. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05177>
- Rahimi P., Mesbah-Namin S.A., Ostadrahimi A., Separham A., Asghari Jafarabadi M. Effects of betalains on atherogenic risk factors in patients with atherosclerotic cardiovascular disease. *Food and function*. 2019;10(12), 8286-8297. <https://doi.org/10.1039/c9fo02020A>
- Henarejos-Escudero P., Hernández-García S., Guerrero-Rubio M.A., García-Carmona F., Gandía-Herrero F. Antitumoral drug potential of tryptophan-betaxanthin and related plant betalains in the *Caenorhabditis elegans* tumoral model. *Antioxidants*. 2020; 9(8), 646:1-17. <https://doi.org/10.3390/antiox9080646>
- Di S., Yu M., Guan H., Zhou Y. Neuroprotective effect of betalain against Aβ1-25-induced Alzheimer's disease in Sprague Dawley rats via putative modulation of oxidative stress and nuclear factor kappa B (NF-κB) signaling pathway. *Biomedicine and pharmacotherapy*. 2021;137,111369:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111369>
- Milton-Laskibar I., Martínez J.A., Portillo M.P. Current knowledge on beetroot bioactive compounds: Role of nitrate and betalains in health and disease. *Foods*. 2021;10(6),1314:1-14. <https://doi.org/10.3390/foods10061314>
- Новицкий И. Технология выращивания столовой свеклы. *Овощеводство. Статьи и материалы*. 2017. [Novitsky I. Technology for growing canteen beets. *Vegetable growing. Articles and materials*. 2017. (In Russ.)] URL: [обновлено 14 марта 2023; процитировано 17 марта 2023] Доступно: <https://xn--80ajgpcpbhks4a4g.xn--p1ai/articles/tehnologiya-vyrashhivaniya-stolovoj-svekly/>
- Майдурова В. Агротехника выращивания свеклы [Maidurova V. Agrotechnics of beet growing. (In Russ.)] URL: [обновлено 14 марта 2023; процитировано 15 марта 2023] Доступно: <https://www.botanichka.ru/article/agrotehnika-vyrashhivaniya-svyoklyi/>
- Горбунова Н.В., Евтеев А.В., Банникова А.В., Ларионова О.С. Оценка возможности применения ультразвука для получения экстрактов с повышенным содержанием биологически активных веществ из продуктов комплексной переработки растениеводства. *Аграрный научный журнал*. 2018;(1):48-52. [Gorbunova N.V., Evteev A.V., Bannikova A.V., Larionova O.S. Evaluation of the use ultrasound to obtain extracts with higher content of biologically active substances from the products of complex processing of crop production. *Agrarian scientific journal*. 2018;(1):48-52. (In Russ.)] URL: [обновлено 12 марта 2023; процитировано 17 марта 2023] Доступно: <https://agrojr.ru/index.php/asj/issue/view/151>
- Саенко И.И., Тарасенко О.В., Дейнека В.И., Дейнека П.А. Бетацианины корнеплодов красной свеклы. Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2012;3(122),18:194-200. [Saenko I.I., Tarasenko D.V., Deineka V.I., Deineka K.A. Betacyanins of red beetroot root. Scientific statements. *Series of natural sciences*. 2012;3(122)18:194-200. (In Russ.)] URL: [обновлено 14 марта 2023; процитировано 17 марта 2023] Доступно: <https://core.ac.uk/download/pdf/151230685.pdf>
- Колдаев В.М. Метод числовых показателей спектров поглощения в анализе извлечений из растений. М.: ЛЕНАНД, 2021. 160 с. [Koldaev V.M. Numerical indicators of absorption spectra in plant extract analysis. Moscow: LENAND; 2021. 160 p. (In Russ.)]
- Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск: Высшая школа. 1973. 320 с. [Rokitskiy P.F. Biological statistics. Minsk: Vysshaya shkola. 1973. 320 p. (In Russ.)]
- Масленников А.А., Курьянова И.В., Горшков С.И. Сортоиспытание столовой свеклы на сергачском ГСУ Нижегородской области. *Известия ФНЦО*. 2019;1:163-169. [Maslennikova A.A., Kurajnova B.V., Gorshkov S.I. Variety testing of red beet on sergachsky GUS Nizhny Novgorod region. *News of FSVC*. 2019;1:163-169. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-1-163-169>
- Khan M.I. Stabilization of betalains: A review. *Food chemistry*. 2016;197(B):1280-1285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.043>
- Kayın N., Atalay D., Türken Akçay T., Erge H. S. Color stability and change in bioactive compounds of red beet juice concentrate stored at different temperatures. *J food sci technol*. 2019;56:5097-5106. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03982-5>
- Santos, C.D., Ismail, M., Cassini, A.S., Marczak L.D.F., Tessaro I.C., Farid M. Effect of thermal and high pressure processing on stability of betalain extracted from red beet stalks. *J food sci technol*. 2018;55:568-577. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2966-0>
- Fu Y., Shi J., Xie S.-Y., Zhang T.-Y., Soladoye O. Aluko R. E. (2020). Red Beetroot Betalains: Perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. doi:10.1021/acs.jafc.0c04241
- Хелдт Г.-В. Биохимия растений. М.: Бином, 2011. 471 с. [Heldt G.-V. Biochemical of plants. M.: Binom, 2011. 471 p. In Russ]
- Koldaev V.M., Manyakhin A.Yu. Effect of heat treatment and storage on anthocyanins levels in food plants. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):33-38. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-33-38>. EDN BPPQLF.
- Cai, Y., Sun, M., & Corke, H. (2003). Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003;51(8):2288-2294. doi:10.1021/jf030045u

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-16-23>  
УДК 635.11:631.527.51

С.А. Ветрова\*, Е.Г. Козарь, М.И. Федорова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

\*Адрес для переписки: lana-k2201@mail.ru

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Федорова М.И. Морфобиологические особенности генеративных органов фертильных и стерильных растений свеклы столовой и их изменчивость в результате самоопыления (обзор). *Овощи России*. 2023;(3):16-23. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-16-23>

**Поступила в редакцию:** 30.04.2023

**Принята к печати:** 22.05.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Svetlana A. Vetrova\*,  
Elena G. Kozar, Margarita I. Fedorova

Federal State Budgetary Scientific Institution  
Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC)  
14, Selektionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

\*Correspondence: lana-k2201@mail.ru

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors confirm they have contributed to the intellectual content of this paper.

**For citations:** Vetrova S.A., Kozar E.G., Fedorova M.I. Morphobiological features of generative organs of fertile and sterile table beet plants and their variability as a result of self-pollination (review). *Vegetable crops of Russia*. 2023;(3):16-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-16-23>

**Received:** 30.04.2023

**Accepted for publication:** 22.05.2023

**Published:** 09.06.2023

# Морфобиологические особенности генеративных органов фертильных и стерильных растений свеклы столовой и их изменчивость в результате самоопыления (обзор)



## Резюме

Свекла считается сложным селекционным объектом, ввиду биологических особенностей, затрудняющих получение гибридного семенного потомства. У перекрестноопыляемых культур максимальная гибридность достигается при использовании стерильных материнских растений, которые в природе встречаются крайне редко. Одним из способов выделения из сложной гетерогенной популяции генотипов с цитоплазматической мужской стерильностью (ЦМС), которая контролируется рецессивными аллелями ядерных генов и S-фактором митохондриальной ДНК, является инбридинг. Основными отличительными признаками, позволяющими определить растения с мужской стерильностью, являются строение и окраска пыльников, и качественный состав пыльцы. Разнообразие фенотипического проявления маркерной окраски стерильных пыльников определяется соотношением различных пигментов. Разнокачественность пыльцевых зёрен фертильных и стерильных растений обусловлена отличиями их развития на поздних этапах андрогенеза. Степень стерилизации у разных генотипов варьирует, что связано со сложными регуляторными механизмами взаимодействия генетического аппарата ядра и цитоплазмы. Наряду с аномалиями микропопуляций пыльцевых зёрен, при самоопылении возникают морфологические изменения в строении соцветий и числа органов цветков, что оказывает непосредственное влияние на семенную продуктивность растений. Обобщенные в данной публикации исследования актуальны и имеют существенное значение при выборе направления отбора в процессе создания новых селекционно-ценных биотипов.

**Ключевые слова:** селекция, инбридинг, стерильность, самонесовместимость, репродуктивная система, микрогаметофит, гомозиготная линия

## Morphobiological features of generative organs of fertile and sterile table beet plants and their variability as a result of self-pollination (review)

## Abstract

Beet is considered a difficult breeding object due to its biological peculiarities that make it difficult to obtain hybrid seed progeny. In cross-pollinated crops, the maximum hybridization is achieved by using sterile mother plants, which are extremely rare in the nature. Inbreeding is one of the ways to isolate genotypes with cytoplasmic male sterility, which are controlled by recessive alleles of nuclear genes and S-factor of mitochondrial DNA, from a complex heterogeneous population. The main distinguishing features allowing to identify plants with male sterility are the structure and coloring of anthers, and the quality composition of pollen. The diversity of phenotypic manifestation of marker coloration in sterile anthers is determined by the ratio of different pigments. Diversity of pollen grains of fertile and sterile plants is caused by differences in their development at the late stages of androgenesis. The degree of sterilization varies in different genotypes, which is associated with complex regulatory mechanisms of interaction between the genetic apparatus of the nucleus and the cytoplasm. Along with abnormalities of pollen grain micropopulations, self-fertilization results in morphological changes in the structure of inflorescences and number of flower organs, which has a direct impact on the seed productivity of plants. The studies summarized in this publication are relevant and essential for the search of effective ways to control plant development in ontogenesis and universal selection criteria in the process of creating fundamentally new forms of plants, which is especially important for breeding.

**Keywords:** breeding, inbreeding, sterility, incompatibility, reproductive system, microgametophyte, homozygous line



## Введение

Свекла столовая (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.) является древнейшей традиционной овощной культурой в Российской Федерации и выращивается повсеместно. Несмотря на распространенность, считается сложным селекционным объектом, ввиду биологических особенностей, затрудняющих получение гибридного семенного потомства. У перекрестноопыляемых культур, в том числе и у свеклы, максимальная гибридность достигается при использовании стерильных материнских растений, которые могут встречаться с различной частотой (0,03-6%) как в сортах, так и в гибридных популяциях [1, 2].

Основным путём получения исходных стерильных форм является метод инбридинга, позволяющий получать гомозиготные линии и выявлять ценные признаки, имеющие рецессивные аллели [3-6]. Появление мужски стерильных растений свеклы при самоопылении, происходит в результате перехода ядерных генов  $HxZz$  в гомозиготное рецессивное состояние и их взаимодействия с S-цитоплазмой. Впервые стерильные растения на культуре сахарной свеклы обнаружил и описал Ф. Оуэн. Он показал, что растения со стерильной цитоплазмой в потомстве от самоопыления дают расщепление на полностью стерильные, частично стерильные и фертильные [7]. Намного позже, данное явление отмечено и на свекле столовой [2, 8]. Признак ЦМС на семенных растениях свеклы может проявляться по-разному: от отдельных стерильных пыльников в цветке до полностью стерильных растений, что обусловлено наличием двух типов митохондриальной ДНК (гетероплазмия), соответствующей N- и S-типам цитоплазмы [9]. В результате клеточных делений происходит перераспределение митохондрий и возникает разнокачественность тканей. В связи с чем, у свеклы столовой различают три типа растений, отличающихся по морфобиологическим признакам: фертильные (мф), частично-стерильные (чмс), стерильные (мс). Растения с признаком ЦМС в популяциях свеклы столовой встречаются с различной частотой в зависимости от происхождения. В условиях Московской области в сортовых популяциях отмечено от 9 до 12% частично-стерильных растений, в гибридных популяциях иностранного происхождения – 11-25%, а полную стерильность имеют только единичные растения. В инбредных потомствах наблюдается различный

характер наследования и фенотипического проявления признака ЦМС, изменяется диапазон варьирования основных признаков и степени стерильности семенных растений, появляются мс-формы, увеличивается или снижается их доля [8]. Главными отличительными признаками, позволяющими определить в популяциях свеклы столовой растения с мужской стерильностью, является строение и окраска пыльников, и качественный состав пыльцы.

## Особенности развития мужского гаметофита инбредных растений свеклы столовой с разной степенью стерильности

Формирование мужского гаметофита свеклы происходит в результате дифференциации и специализации тканей микроспорангия, пыльника и тычинок. В начале своего развития пыльник у свеклы одногнездный, состоящий из меристематической ткани, покрытой эпидермисом. Позднее формируется связник, разделяющий пыльник на две теки, каждая из которых содержит по два гнезда - микроспорангия [10, 11]. Перед цветением пыльники видоизменяются: становятся двугнездными, на границе бывших гнезд образуются замковые клетки, соединенные тонкой перемычкой. В этом месте пыльник растрескивается в момент цветения [12].

В цветках типичных фертильных растений пыльники крупные ( $h=0,7-1,0$  мм), выпуклой формы, от бледно- до ярко-желтых, быстро растрескивающиеся при созревании, и продуцирующие большое количество жизнеспособной пыльцы (рис. 1 А). В соцветиях частично-стерильных растений наряду с фертильными в различном соотношении присутствуют цветки с полностью или фрагментально-окрашенными пыльниками (преимущественно бордовыми или розовыми), содержащие большое количество стерильной пыльцы диаметром 15-18 мкм. А также пыльники, окрашенные только в зоне связника, в которых наряду со стерильными, в небольшом количестве встречаются жизнеспособные пыльцевые зерна (рис. 1 В). Соотношение стерильной и фертильной пыльцы может меняться под влиянием условий среды. При этом с увеличением степени стерильности растений уменьшаются диаметр и жизнеспособность фертильной пыльцы мф-цветков ( $r = -0,84$  и  $r = -0,88$  соответственно), снижается скорость роста пыльцевой трубки ( $r = -0,85$ ). Пыльники в цветках полностью сте-



Рис. 1. Фертильные (мф) (А), частично-стерильные (чмс) (В) и стерильные (мс) соцветия и пыльники (С) свёклы столовой (авторский)

Fig. 1. Fertile (mf) (A), partially sterile (hms) (B) and sterile (ms) inflorescences and anthers (C) of table beets



рильных растений обычно щуплые, часто вогнутой формы, прозрачные или полностью окрашенные (от розового до коричневого цвета), в большинстве случаев пустые, иногда с малым количеством смятой, деформированной пыльцы, в виде обрывков оболочек пылевых зерен (рис. 1 С). В период цветения пыльники не растрескиваются [13].

У свеклы, как и у многих покрытосеменных растений, процесс формирования пыльника состоит из трех этапов: премейотический, мейотический и постмейотический [10, 14]. Разнокачественность пылевых зёрен мф- и мс-пыльников свёклы столовой определяется поздними этапами их развития. У фертильных растений, в результате развития мужского гаметофита, формируются трёхклеточные пылевые зерна ярко-желтой окраски, диаметром 20-23 мкм, с хорошо развитой экзиной и большим количеством пор для выхода пылевых трубок. Микроспоры содержат питательные вещества, ферменты, каротиноиды и т.д.

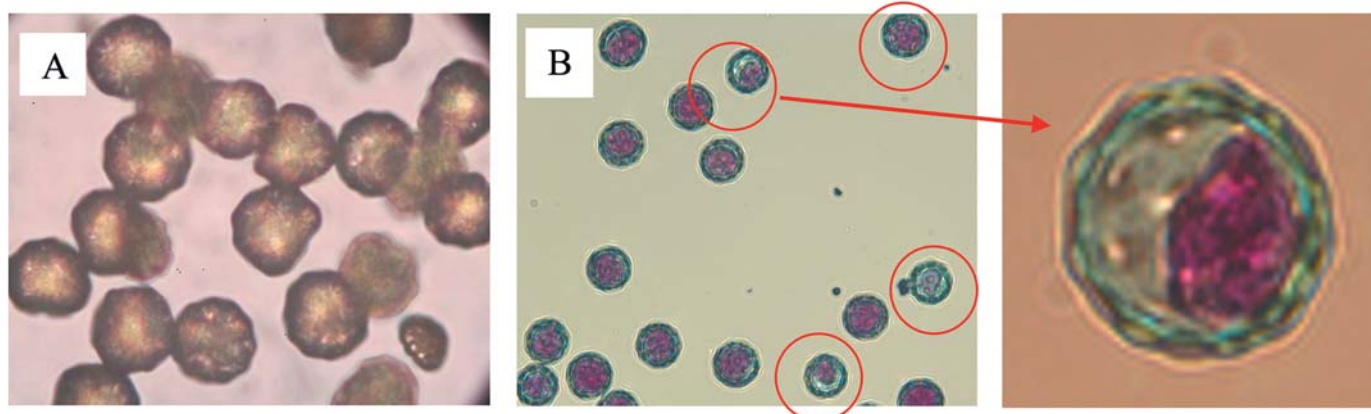
У растений с признаком ЦМС, как и у фертильных, на ранних этапах развития стенки пыльника состоят из эпидермиса, эндотеция, двух средних слоёв и тапетума. Затем, в период мейоза, клетки тапетума увеличиваются, формируются многоядерные клетки или наблюдается появление вакуолей. При выходе микроспор из тетрад происходит отслоение тапетума от остальных клеток пыльника, с дальнейшим образованием периплазмодия с большим числом крупных ядер [15-18]. В результате неспособности периплазмодия поставлять питательные вещества, необходимые для нормального развития пыльцы, и механического воздействия на микроспоры, происходит их дегенерация [18, 19]. Разрушение периплазмодия наблюдается после начала дегенерации микроспор, сопровождается сильной вакуолизацией, и приводит к постепенному сжатию содержимого пыльника. В последствии, у стерильных форм наблюдается резкое отставание роста микроспор сразу после окончания мейоза. Величина их обычно не превышает 9-10 мкм. Они не формируют экзины, их оболочка остается тонкой и прозрачной (рис. 2 А). При нарушении формирования пылевых зерен на более поздних стадиях развития, в стерильных микроспорах видны следы дегенерации: вакуолизация, сжатие цитоплазмы, деформация ядра (рис. 2 В). При этом, степень стерилизации у разных генотипов варьирует, что связано с регуляторными механизмами генетического аппарата [20].

Фенотипическое многообразие проявления ЦМС у

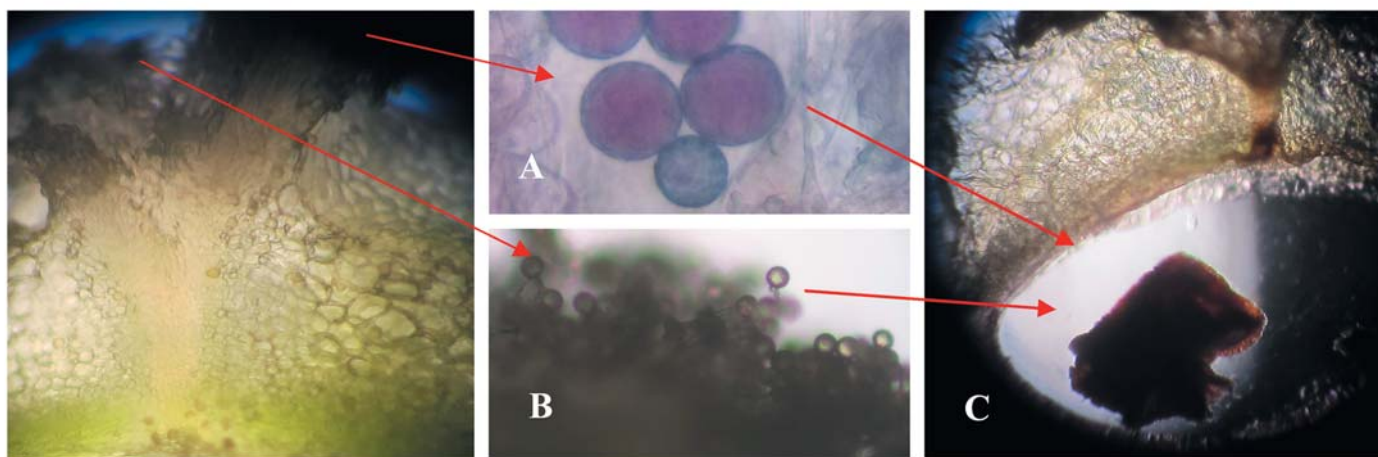
мс-пыльников свеклы столовой обусловлено, в том числе, и соотношением различных пигментов: беталаинов (БТН), бетаксантинов (БКС), каротиноидов (КР) и хлорофиллов (ХЛ). В равномерно окрашенных мс-пыльниках содержание БТН почти в четыре раза выше, чем в мф-пыльниках и сравнимо с уровнем его накопления в корнеплодах. Содержание БКС, напротив, в таких пыльниках снижено, по сравнению с фрагментально-окрашенными, в которых уровень накопления БКС сравним с фертильными пыльниками, и вдвое выше, чем в корнеплодах. Суммарное содержание КР в мс-пыльниках в два раза меньше относительно мф-пыльников, причем наиболее низкое их количество зафиксировано в пыльниках с бордовым связником. Содержание суммы ХЛ в мс-пыльниках свеклы столовой в несколько раз выше, чем в мф-пыльниках, хотя отношение хлорофиллов «а» к «b» такое же, и близко 1:1. То есть, оттенок и интенсивность окрашивания отдельных частей мс-пыльника в момент раскрытия цветка, по-видимому, обусловлены стадией нарушения гаметогенеза, на которой происходит перенастройка биохимических процессов синтеза и накопления пигментов [21].

С другой стороны, причиной появления растений с окрашенными пыльниками может являться модификационная изменчивость, возникающая в результате реакции генотипов на стрессовые условия [22-25]. В частности, нетипичные условия (высокая температура и влажность воздуха) в изоляторах, при получении инбредных потомств [1]. Под воздействием этих факторов, растение «перестраивается», становится однополым, функционально-женским, хорошо воспринимающим пыльцу. Изменение условий приводит к восстановлению фертильности таких растений и, хотя большинство растений свёклы склонны к самонесовместимости, при самоопылении они способны завязывать семена. Еще одним фактором изменчивости является инбредная депрессия, которая имеет разную степень выраженности, и так же зависит от условий окружающей среды [26, 27, 28, 29].

В связи с этим обязательным условием при создании мс- и мф-линий для селекции свеклы столовой является регулярный визуальный мониторинг развития репродуктивных органов семенных растений и проверка пыльцы на фертильность-стерильность в динамике, чтобы исключить из работы формы с проявлением мужской стерильности, обусловленной модификационной изменчивостью под влиянием внешних факторов.



**Рис. 2. Стерильные пылевые зерна свеклы столовой:**  
**А - мелкие, с тонкой оболочкой; В - обедненные цитоплазмой (авторский)**  
**Fig. 2. Sterile pollen grains of table beet: A - small, with thin shell; B - depleted in cytoplasm**



**Рис. 3. Продольный срез цветка самонесовместимого растения свеклы столовой:**

**A - отсутствие прорастания пыльцевых зерен на поверхности рыльца;**

**B - пыльцевые зерна, формирующие укороченные деформированные пыльцевые трубки; C - неоплодотворенный семязачаток (авторский)**

**Fig. 3. Longitudinal section of the flower of a self-incompatible table beet plant:**

**A - absence of germination of pollen grains on the surface of stigma;**

**B - pollen grains forming shortened deformed pollen tubes; C - unfertilized ovule**

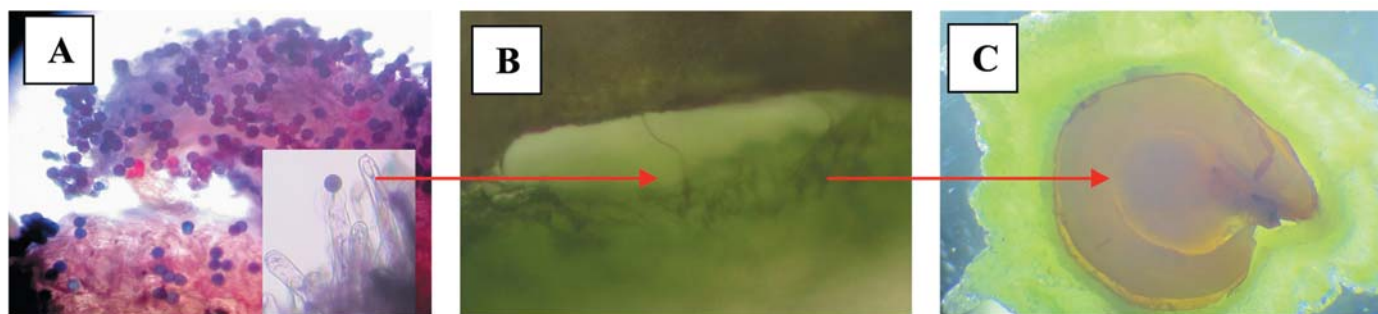
#### **Самонесовместимость и изменчивость репродуктивных органов растений свеклы столовой при инбридинге**

Свекла – однодомное растение, формирующее на цветоносных побегах гермафродитные цветки, которые репродуцируют семенное потомство в результате перекрестного или самооплодотворения. Однако ввиду того, что самооплодотворение в обоеполых цветках свеклы предотвращается системой генов самонесовместимости, эту культуру считают типичным перекрестником [30]. В результате изучения роста пыльцевых трубок в тканях пестика при самоопылении показано, что реакция несовместимости у растений свеклы локализована в тканях рыльца, либо в паренхимном слое завязи, в зоне отложения кристаллов оксалата кальция, что характерно для видов с гаметофитным контролем несовместимости.

В этом случае ингибитор роста активируется при совпадении мономеров собственной пыльцы и пестика непосредственно на рыльце, что вызывает торможение прорастания пыльцевых зерен в течение первых суток, либо образование коротких утолщенных пыльцевых трубок со вздутиями на конце (рис. 3 А, В). Иногда наблюдаются очень тонкие пыльцевые трубки, часто растущие только до слоя кристаллов оксалата кальция, а затем продолжают свой рост в обратном направлении [31-34].

Реакция несовместимости у свеклы проявляется длительно, даже на восьмой день вся поверхность рыльца бывает покрыта многочисленными изогнутыми пыльцевыми трубками. Аномалии при прорастании пыльцы и росте пыльцевых трубок при принудительном самоопылении, напоминают таковое при межвидовой гибридизации. Отдельные пыльцевые трубки, растущие по направлению к завязи, часто образуют боковые выросты, булавовидные утолщения, изгибы, и достигнув семязачатка поворачивают в обратном направлении. В связи с отсутствием оплодотворения отмечается отставание в развитии и дальнейшая гибель семязачатка (рис. 3 С). Сравнительное изучение эмбриогенеза и формирования семени при самоопылении показало, что дегенерация зародышей и семян у самостерильных линий может наблюдаться на разных стадиях развития [33, 35].

В популяциях свеклы наряду с самонесовместимыми растениями, доля которых может достигать 50% и более, присутствуют и самосовместимые, пыльцевые зерна которых при самоопылении прорастают в массовом количестве. При этом пыльцевые трубки растут сначала в направлении прохода в завязь, а затем вдоль семязачатка. Около микропиларного отверстия семязачатка пыльцевые трубки часто скручиваются, после чего одна из них проникает в зародышевый мешок (рис. 4) [36, 37].



**Рис. 4. Проросшие пыльцевые зерна на рыльце пестика самосовместимых растений свеклы столовой (А); проникновение пыльцевой трубки в зародышевый мешок (В); нормально развитый зародыш семени (С) (авторский)**

**Fig. 4. Germinated pollen grains on the stigma of self-compatible table beet plants (A); penetration of pollen tube into the germinal sac (B); normally developed seed embryo (C)**



Последовательное самоопыление оказывает негативное влияние на фертильность пыльцевых зерен инбредных потомств, которая в свою очередь зависит от генотипа инбредных растений [2, 8, 13, 37]. Фертильность пыльцы самосовместимых растений в первых поколениях инбридинга снижается значительно медленнее, чем в потомствах самонесовместимых растений, у которых в процессе гаметогенеза резко возрастает число аномалий при развитии пыльцевых зерен, ведущих к стерилизации микрогаметофита. Наряду с тетрадами микроспор формируются монады, диады, триады, пентады. Микроспороциты диад и триад включают в себя по два, а иногда по три ядра, что приводит в дальнейшем к формированию пыльцевых зерен намного крупнее обычных. В тех случаях, когда цитокinesis не заканчивается, происходит формирование стерильных микроспор [1].

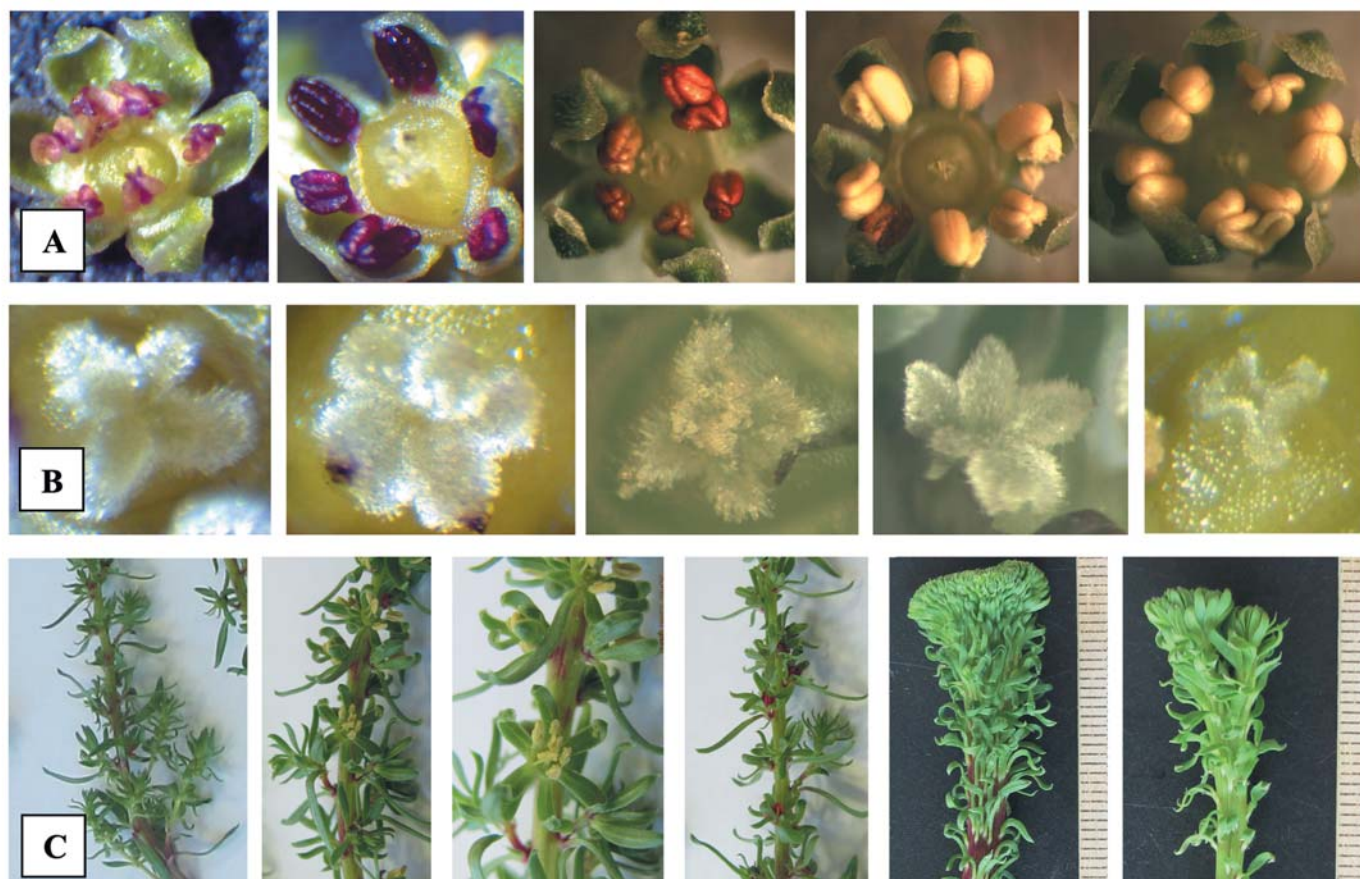
Помимо стерилизации пыльцы в процессе инбредного размножения фертильных растений в пыльниках наряду с нормальными пыльцевыми зернами встречаются микроспоры, обедненные цитоплазмой, сильно вакуолизированные и часто имеющие несколько ядер, не дифференцированных на вегетативные и генеративные. Также в популяциях микроспор отмечено присутствие конгломератов и цепочек из соединенных 2-4 пыльцевых зерен, по-видимому, образованных в результате отсутствия процесса распада тетрад на отдельные микроспоры. Данное явление охарактеризовано как своеобразная цитологиче-

ская мутация, получившая название «accreting pollen», т.е. сросшаяся пыльца [38].

В результате самоопыления наряду с аномалиями микропопуляций пыльцевых зерен, наблюдаются морфологические изменения в строении соцветий и изменчивость числа органов цветков. На отдельных растениях свеклы столовой зафиксировано увеличение числа чашелистиков и тычинок до 6-7 штук, лепестков рыльца до 4-6 с различной степенью опушения. Кроме этого, отмечено срастание пыльников, как в стерильных, так и в фертильных цветках (рис. 5 А, В). В инбредных потомствах присутствуют растения с фасцированными стеблями соцветий, на которых формируются единичные бутоны в пазухах густо расположенных прицветников. На ветвях соцветия отдельных частично-стерильных растений, полученных в результате самоопыления, в пазухах прицветников вместо сидячих цветков могут формироваться дополнительные боковые веточки с редкими стерильными или фертильными цветками (рис. 5 С). В результате, как в первом, так и во втором случае растения имеют очень низкую семенную продуктивность.

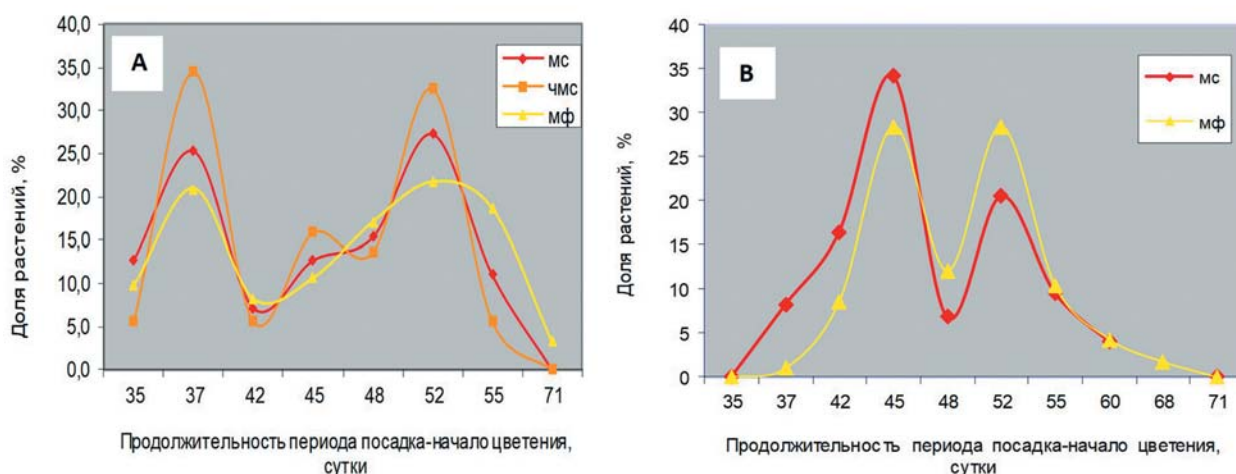
## Изменчивость морфобиологических признаков семенных растений свеклы при инбридинге

Семенные растения свеклы столовой разнообразны и сложны по архитектонике. Фертильные семенные растения свеклы столовой составляют большую часть



**Рис. 5. Возможные изменения морфологических признаков цветка (А); пестика (В); стеблей соцветия (С) свеклы столовой при самоопылении (авторский)**  
**Fig. 5. Possible changes in morphological features of flower (A); pistil (B); inflorescence stems (C) of table beet during self-pollination**





**Рис. 6. Структура отдельных выборок фертильных, частично-стерильных, полностью стерильных растений по продолжительности периода «посадка маточников – бутонизация» (А – исходные популяции; В – инбредные потомства) (авторский)**  
**Fig. 6. Structure of individual samples of fertile, partially sterile, and completely sterile plants by duration of "planting of uteri - budding" period (A - initial populations; B - inbred progenies)**

исходных популяций, и могут быть маловетвистыми с ярко выраженным центральным побегом и многоветвистыми, имеющими побеги замещения с различной силой роста и развития. Изменчивость растений в пределах потомств по данному признаку, не зависимо от поколения инбридинга, значительная и составляет более 50%, при этом большинство растений формируют от 6 до 10 стеблей диаметром 1,4-1,6 см, и лишь небольшая часть (около 30%) более 10 стеблей. В зависимости от угла отхождения ветвей первого и второго порядка по отношению к центральному стеблю семенные растения могут быть компактными (прямостоячими) или раскидистыми. Строение куста определяет его высоту, которая в пределах популяции варьирует от 90 до 175 см. По строению семенного куста частично-стерильные растения практически не отличаются от фертильных. Полностью стерильные растения в равных соотношениях формируют 6-10 и более 10 стеблей, диаметром 1,0-1,3 см [39].

Габитус семенного куста свеклы столовой во многом определяется скороспелостью, размером маточников и их строением, режимом зимнего хранения и в меньшей степени наследственностью. Есть мнение, что наиболее скороспелые растения характеризуются компактным строением куста [40]. В результате фенологических наблюдений показано, что в исходных популяциях свеклы столовой большинство растений с различным проявлением признака ЧМС вступают в фазу «начало цветения» на 38 и 52 сутки после посадки (рис. 6 А).

Среди фертильных, встречаются отдельные, наиболее позднеспелые растения, вступившие в фазу «начало цветения» на 71 сутки. Такие растения отличаются крупным габитусом куста и формируют большое число (до 20) сильнооблиственных стеблей. При дальнейшем инбридинге, как у стерильных, так и у фертильных растений, наблюдается также два пика начала цветения, но с меньшей разницей между ними: на 45 и 52 сутки (рис. 6 В). При этом, как и в исходных популяциях, наиболее позднеспелые биотипы встречаются в группе фертильных растений (зацветают на 68 сутки) [39, 41].

### Заключение

Таким образом, в процессе инбридинга перекрестноопыляемых культур, в частности свеклы столовой, селекционер имеет дело с различной изменчивостью, обусловленной рядом факторов. В результате, появляются новые формы, отличные от типичных, изучение которых дает возможность оценить их ценность в зависимости от направления использования в селекционном процессе при создании сортов и гибридов. Это полностью стерильные ЧМС-формы и самосовместимые фертильные формы, продуцирующие большое количество жизнеспособной пыльцы и завязывающие семена при самоопылении. При выделении стерильных форм помимо использования маркерной окраски пыльников важно проводить лабораторный анализ пыльцы на фертильность-стерильность в динамике и исключать из работы формы с проявлением модификационной мужской стерильности под влиянием внешних факторов.

Использование метода рекуррентной селекции по способности завязывать семена при самоопылении повышает выход форм с потенциально высокой самосовместимостью в потомстве. Тем не менее, у фертильных форм репродуктивная способность при самоопылении зависит также от уровня инбредной депрессии, которая влияет на формирование микрогаметофита и зародыша семени, вызывает появление форм с аномалиями в развитии репродуктивных органов, которые исключаются из селекционного процесса.

В настоящее время в «Федеральном научном центре овощеводства» создана коллекция линейного материала свеклы столовой с различной степенью стерильности и сочетанием хозяйственно-значимых признаков. Однако, учитывая сложность получения константных линий для селекции на гетерозис, и ввиду того, что исследования на культуре свеклы столовой в данном направлении немногочисленны, существует необходимость разработки и включения современных молекулярных методов, для поиска форм с требуемым сочетанием генов ядра и цитоплазмы для ускорения и повышения результативности селекционного процесса.

## Об авторах:

**Светлана Александровна Ветрова** – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-9897-0413>, автор для переписки, HYPERLINK "mailto:ana-k2201@mail.ru" ana-k2201@mail.ru

**Елена Георгиевна Козарь** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, [kozar\\_eg@mail.ru](mailto:kozar_eg@mail.ru)

**Маргарита Ивановна Федорова** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства столовых корнеплодов, <https://orcid.org/0000-0002-7533-5185>, 12-mif-03@mail.ru

## About the Authors:

**Svetlana A. Vetrova** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory molecular immunological research, <https://orcid.org/0000-0002-9897-0413>, Correspondence Author, ana-k2201@mail.ru

**Elena G. Kozar** – Cand. Sci. (Agriculture), leading researcher head of the laboratory molecular immunological research, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, [kozar\\_eg@mail.ru](mailto:kozar_eg@mail.ru)

**Margarita I. Fedorova** – Dr. Sci. (Agriculture), professor, Principal Scientist of the laboratory of breeding and seed production of table root crops, <https://orcid.org/0000-0002-7533-5185>, 12-mif-03@mail.ru

## • Литература

1. Балков И.Я. Селекция сахарной свеклы на гетерозис. Москва: 1990.
2. Заячковский В.А., Старцев В.И., Балашова Н.Н. Разработка элементов гетерозисной селекции столовой свеклы. *Гавриш*. 1999;(3):24-25.
3. Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы;1935.
4. Budar F., Berthomé R. Cytoplasmic male sterilities and mitochondrial gene mutations in plants. *Plant Mitochondria*. 2007;(31):278–307. DOI:10.1002/9780470986592.ch9
5. Буренин В.И. Использование инбридинга у свеклы. *Сахарная свекла*. 2015;(1):11-14. EDN UGALVV.
6. McGrath J.M., Panella L. Sugar Beet Breeding. In: Goldman I. *Plant Breeding Reviews*. 2018;(42):167-218. DOI: 10.1002/9781119521358.ch5
7. Owen F.V. Inheritance of cross- and self-sterility and self-fertility in *Beta vulgaris* L. *Journal of Agricultural Research*. 1942;(64):679-698.
8. Федорова М.И., Ветрова С.А., Козарь Е.Г. Особенности фенотипического проявления признака ЦМС семенных растений свёклы столовой. *Овощи России*. 2011;(3):18-23. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2011-3-18-23>. EDN OZMDRD.
9. Малецкий С.И. Варьирование цитоплазматически контролируемой стерильности пыльца у сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) и ее связь с гетероплазмией митохондрий в клетках. *Генетика*. 1995;(31):1461-1467.
10. Жужжалова Т.П., Знаменская В.В., Подвигина О.А., Ярмолюк Г.И. Репродуктивная биология сахарной свеклы. Воронеж: 2007.
11. Зайковская Н.Э. Биология цветения, цитология и эмбриология сахарной свеклы. Биология и селекция сахарной свеклы. Москва; Колос: 1968.
12. Жужжалова Т.П. Репродуктивная биология свеклы (цитология и эмбриология). Эмбриология сахарной свёклы. Развитие мужского гаметофита. В: Малецкий С.И., редактор. Энциклопедия рода Beta: биология, генетика и селекция свеклы. Новосибирск: ООО «Издательство Сова»; 2010: 87.
13. Fedorova M.I., Kozar E.G., Vetrova S.A., Zayachkovskiy V.A., Stepanov V.A. Factors to affect inbred beet plants while developing material for linear selection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;4(23):439-447. DOI 10.18699/VJ19.512. EDN KFNMAT.
14. Купцов Н.С. Ультраструктура клеток тычинки фертильной и стерильной (ЦМС) форм сахарной свеклы разного уровня плоидности. Исследования по теоретической и прикладной генетике. Минск: Наука и техника; 1975.
15. Artschwager E. Pollen degeneration in male sterile sugar beet with special reference to the tapetal plasmodium. *Journal of Agricultural Research*. 1947;75(7/8):191-197.
16. Brooks J., Brooks M., Chien L. The anther tapetum in cytoplasmic-genetic male sterile Sorghum. *American Journal of Botany*. 1966;53(9):902-907. DOI:10.2307/2439813
17. Зайковская Н.Э., Жужжалова Т.П. Развитие пыльцевых трубок у самофертильных и самостерильных линий сахарной свеклы при изоляции. *Цитология и генетика*. 1976;10(1):57-61.
18. Голубева Е.А. Развитие пыльников фертильных и стерильных растений сахарной свеклы. *Труды по прикладной ботанике генетике и селекции*. 1983;(74):56-64.
19. Rohrbach U. Beiträge zum Problem der Pollensterilität bei *B. vulgaris* L. I. Untersuchungen über die Ontogenese des Phänotyps. *Pflanzenzücht*. 1965;53(2):105-124.
20. Matsuhira H., Shinada H., YuiKurino R., Hamato N., Umeda M., Mikami T. et al. An anther-specific lipid transfer protein gene in sugar

- beet: its expression is strongly reduced in male-sterile plants with Owen cytoplasm. *Physiologia Plantarum*. 2007;(129):407–414. DOI:10.1111/j.1399-3054.2006.00813.x
21. Козарь Е.Г., Фёдорова М.И., Ветрова С.А., Заячковский В.А. Связь пигментного состава с маркерной окраской стерильных пыльников ЦМС растений свеклы столовой. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2015;(11):221-225.
22. Norman J. K., Sakai A.K., Weller S.G., Dawson T. E. Inbreeding depression in morphological and physiological traits of *Schiedea lydgatei* (Caryophyllaceae) in two environments. *Evolution*. 1995;(49):297–306. DOI:10.2307/2410340
23. Cmokrak P., Roff D. A. Inbreeding depression in the wild. *Heredity*. 1999;(83):260-270. DOI:10.1038/sj.hdy.6885530
24. Kristensen T. N., Dahlgaard J., Loeschcke V. Effects of inbreeding and environmental stress on fitness - using *Drosophila buzzatii* as a model organism. *Conservation Genetics*. 2003;(4):453–465. DOI:10.1023/A:1024763013798
25. Armbruster P., Reed D. Inbreeding depression in benign and stressful environments. *Heredity*. 2005;(95):235-242. DOI:10.1038/sj.hdy.6800721
26. Souza C.L., Fernandes J.S. Predicting the range of inbreeding depression of inbred lines in cross-pollinated populations. *Brazilian Journal of Genetics*. 1997;20(1):e3790. DOI:10.1590/S0100-84551997000100007
27. Cheptou P., Donohue K. Environment-dependent inbreeding depression: its ecological and evolutionary significance. *New Phytologist*. 2011;189(2):395–407. DOI:10.1111/j.1469-8137.2010.03541.x
28. Angeloni F., Ouborg N., Leimu R. Meta-analysis on the association of population size and life history with inbreeding depression in plants. *Biological Conservation*. 2011;(144):35-43. DOI:10.1016/j.biocon.2010.08.016
29. Cheptou P.O., Imbert E., Lepart J., Escarre J. Effects of competition on lifetime estimates of inbreeding depression in the outcrossing plant *Crepis sancta* (Asteraceae). *Journal of Evolutionary Biology*. 2000;13(3):522-531.
30. Малецкий С.И. Репродуктивная биология свеклы (цитология и эмбриология). Семенное размножение сахарной свеклы. В: Малецкий С.И., редактор. Энциклопедия рода Beta: биология, генетика и селекция свеклы. Новосибирск: ООО «Издательство Сова»; 2010: 52 с.
31. Жужжалова Т.П. Репродуктивная биология свеклы (цитология и эмбриология). Влияние инбридинга на формирование генеративных органов сахарной свеклы. В: Малецкий С.И., редактор. Энциклопедия рода Beta: биология, генетика и селекция свеклы. Новосибирск: ООО «Издательство Сова»; 2010: 164 с.
32. Entani T., Iwano M., Shiba H., Che FS, Isogai A., Takayama S. Comparative analysis of the self-incompatibility (S-) locus region of *Prunus mume*: identification of a pollen-expressed F-box gene with allelic diversity. *Genes Cells*. 2003;8(3):203-213. DOI: 10.1046/j.1365-2443.2003.00626.x
33. Yamane H., Ikeda K., Ushijima K., Sassa H., Tao R. A pollen-expressed gene for a novel protein with an F-box motif that is very tightly linked to a gene for S-RNase in two species of cherry, *Prunus cerasus* and *P. avium*. *Plant and Cell Physiology*. 2003;44(7):764-769. DOI:10.1093/pcp/pcg088
34. Kubo KI, Entani T., Takara A, Wang N., Fields AM, Hua Z. et al. Collaborative non-self recognition system in S-RNase-based self-incompatibility. *Science*. 2010;330(6005):796-799. DOI:10.1126/science.1195243
35. Малецкий С.И., Коновалов А.А. Внутривидовая само- и перекрестная несовместимость. Генетический контроль размножения сахарной свеклы. Новосибирск: Наука; 1991.
36. Логвинов В.А., Красильников Е.А., Волгин В.В., Логвинова А.П., Кудрявцева Н.В. Самосовместимость сахарной свеклы в процессе инбридинга. *Сельскохозяйственная биология растений*. 1993;(3):22-25.
37. Корнеева М.А., Власюк Н.В. Влияние инбридинга на качество пыльцы опылителей сахарной свеклы разной степени гетерозиготности

сти. *Актуальные проблемы генетики*. 2003;(1):106-107.

38. Сеилова Л.Б., Абдурахманов А.А., Бияшев Т.З. Мутация, приводящая к образованию тетрад пыльцевых зерен у сахарной свеклы. *Цитология и генетика*. 1986;22(5):62-63.

39. Ветрова С.А. Оценка и отбор исходного материала для селекции на гетерозис свёклы столовой (*Beta vulgaris* L.). Автореферат диссертации канд. с.-х. наук. Москва, 2011.

40. Еременко Л.Л. Морфологические особенности овощных растений в связи с семенной продуктивностью. Новосибирск: Наука; 1975.

41. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Федорова М.И. Ускорение селекционного процесса для создания линейного материала свеклы столовой. *Овощи России*. 2019;(1):29-36. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-29-36>. EDN FHKSEP.

## References

1. Balkov I.Ya. Selection of sugar beet for heterosis. Moscow: 1990. (In Russ)
2. Zayachkovskiy V.A., Startsev V.I., Balashova N.N. Development of elements of heterosis selection of table beet. *Gavrish*. 1999;(3):24-25. (In Russ)
3. Vavilov N.I. Botanical and geographical bases of breeding. Moscow: State Publishers of Agricultural Literature, 1935. (In Russ)
4. Budar F., Berthomé R. Cytoplasmic male sterilities and mitochondrial gene mutations in plants. *Plant Mitochondria*. 2007;(31):278-307. DOI:10.1002/9780470986592.ch9
5. Burenin V.I. The use of inbreeding in beets. *Sugar beet*. 2015;(1):11-14. EDN UGALVV. (In Russ)
6. McGrath J.M., Panella L. Sugar Beet Breeding. In: Goldman I. *Plant Breeding Reviews*. 2018;(42):167-218. DOI: 10.1002/9781119521358.ch5
7. Owen F.V. Inheritance of cross- and self-sterility and self-fertility in *Beta vulgaris* L. *Journal of Agricultural Research*. 1942;(64):679-698.
8. Fedorova M.I., Vetrova S.A., Kozar E.G. Phenotypic features of CMS in seed-bearing plants of red beet. *Vegetable crops of Russia*. 2011;(3):18-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2011-3-18-23>. EDN OZMDRD.
9. Maletsky S.I. Variation of cytoplasmic controlled sterility of pollen in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and its relation to mitochondrial heteroplasm in cells. *Genetika*. 1995;31(11):1461-1467. (In Russ)
10. Zhuzhzhhalova T.P., Znamenskaya V.V., Podvigina O.A., Yarmolyuk G.I. Reproductive biology of sugar beet. Voronezh: 2007. (In Russ)
11. Zaikovskaya N.E. Biology of flowering, cytology and embryology of sugar beet. Biology and selection of sugar beet. Moscow; Kolos: 1968. (In Russ)
12. Zhuzhzhhalova T.P. Reproductive biology of sugar beet (cytology and embryology). Embryology of sugar beet. Development of male gametophyte. In: Maletsky S.I., editor. Encyclopedia of the genus Beta: biology, genetics and breeding of sugar beet. Novosibirsk: Sova Publishing House LLC; 2010: 87 p. (In Russ)
13. Fedorova M.I., Kozar E.G., Vetrova S.A., Zayachkovskiy V.A., Stepanov V.A. Factors to affect inbred beet plants while developing material for linear selection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;4(23):439-447. DOI 10.18699/VJ19.512. EDN KFNMAT.
14. Kuptsov N.S. Ultrastructure of stamen cells of fertile and sterile (CMS) forms of sugar beet of different levels of ploidy. Research in theoretical and applied genetics. Minsk: Science and Technology; 1975. (In Russ)
15. Artschwager E. Pollen degeneration in male sterile sugar beet with special reference to the tapetal plasmodium. *Journal of Agricultural Research*. 1947;75(7/8):191-197.
16. Brooks J., Brooks M., Chien L. The anther tapetum in cytoplasmic-genetic male sterile Sorghum. *American Journal of Botany*. 1966;53(9):902-907. DOI:10.2307/2439813
17. Zaikovskaya N.E., Zhuzhzhhalova T.P. Development of pollen tubes in self-fertile and self-sterile sugar beet lines during isolation. *Cytology and genetics*. 1976;10(1):57-61. (In Russ)
18. Golubeva E.A. Development of anthers of fertile and sterile sugar beet plants. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1983;(74):56-64. (In Russ)
19. Rohrbach U. Beiträge zum Problem der Pollensterilität bei *B. vulgaris* L. I. Untersuchungen über die Ontogenese des Phänotyps. *Pflanzenzücht*. 1965;53(2):105-124.
20. Matsuhira H., Shinada H., YuiKurino R., Hamato N., Umeda M., Mikami T. et al. An anther-specific lipid transfer protein gene in sugar beet: its expression is strongly reduced in male-sterile plants with Owen cytoplasm. *Physiologia Plantarum*. 2007;(129):407-414. DOI:10.1111/j.1399-

3054.2006.00813.x

21. Kozar E.G., Fedorova M.I., Vetrova S.A., Zayachkovskiy V.A. The relationship of pigment composition with marker paint of sterile anthers of CMS of table beet plants. *New and unconventional plants and prospects for their use*. 2015;(11):221-225. (In Russ)

22. Norman J. K., Sakai A.K., Weller S.G., Dawson T. E. Inbreeding depression in morphological and physiological traits of *Schiedea lydgatei* (Caryophyllaceae) in two environments. *Evolution*. 1995;(49):297-306. DOI:10.2307/2410340

23. Crnokrak P, Roff D. A. Inbreeding depression in the wild. *Heredity*. 1999;(83):260-270. DOI:10.1038/sj.hdy.6885530

24. Kristensen T. N., Dahlgaard J., Loeschke V. Effects of inbreeding and environmental stress on fitness - using *Drosophila buzzatii* as a model organism. *Conservation Genetics*. 2003;(4):453-465. DOI:10.1023/A:1024763013798

25. Armbruster P., Reed D. Inbreeding depression in benign and stressful environments. *Heredity*. 2005;(95):235-242. DOI:10.1038/sj.hdy.6800721

26. Souza C.L., Fernandes J.S. Predicting the range of inbreeding depression of inbred lines in cross-pollinated populations. *Brazilian Journal of Genetics*. 1997;20(1):e3790. DOI:10.1590/S0100-84551997000100007

27. Cheptou P., Donohue K. Environment-dependent inbreeding depression: its ecological and evolutionary significance. *New Phytologist*. 2011;189(2):395-407. DOI:10.1111/j.1469-8137.2010.03541.x

28. Angeloni F., Ouborg N., Leimu R. Meta-analysis on the association of population size and life history with inbreeding depression in plants. *Biological Conservation*. 2011;(144):35-43. DOI:10.1016/j.bicon.2010.08.016

29. Cheptou P.O., Imbert E., Lepart J., Escarre J. Effects of competition on lifetime estimates of inbreeding depression in the outcrossing plant *Crepis sancta* (Asteraceae). *Journal of Evolutionary Biology*. 2000;13(3):522-531.

30. Maletsky S.I. Reproductive biology of sugar beet (cytology and embryology). Seed reproduction of sugar beet. In: Maletsky S.I., editor. Encyclopedia of the genus Beta: biology, genetics and breeding of beets. Novosibirsk: Sova Publishing House LLC; 2010: 52 p.

31. Zhuzhhalova T.P. Reproductive biology of sugar beet (cytology and embryology). Effect of inbreeding on the formation of generative organs of sugar beet. In: Maletsky S.I., editor. Encyclopedia of the genus Beta: biology, genetics and breeding of sugar beet. Novosibirsk: Sova Publishing House LLC; 2010: 164 p.

32. Entani T., Iwano M., Shiba H., Che FS, Isogai A., Takayama S. Comparative analysis of the self-incompatibility (S-) locus region of *Prunus mume*: identification of a pollen-expressed F-box gene with allelic diversity. *Genes Cells*. 2003;8(3):203-213. DOI: 10.1046/j.1365-2443.2003.00626.x

33. Yamane H., Ikeda K., Ushijima K., Sassa H., Tao R. A pollen-expressed gene for a novel protein with an F-box motif that is very tightly linked to a gene for S-RNase in two species of cherry, *Prunus cerasus* and *P. avium*. *Plant and Cell Physiology*. 2003;44(7):764-769. DOI:10.1093/pcp/pcg088

34. Kubo KI, Entani T., Takara A, Wang N., Fields AM, Hua Z. et al. Collaborative non-self recognition system in S-RNase-based self-incompatibility. *Science*. 2010;330(6005):796-799. DOI:10.1126/science.1195243

35. Maletsky S.I., Konovalov A.A. Intraspecific self- and cross-incompatibility. Genetic control of sugar beet reproduction. Novosibirsk: Nauka; 1991. (In Russ)

36. Logvinov V.A., Krasilnikov E.A., Volgin V.V., Logvinova A.P., Kudryavtseva N.V. Self-compatibility of sugar beet in the process of inbreeding. *Agricultural biology*. 1993;(3):22-25. (In Russ)

37. Korneeva M.A., Vlasjuk N.V. Influence of inbreeding on pollen quality of sugar beet pollinators of varying degrees of heterozygosity. *Actual problems of genetics*. 2003;(1):106-107. (In Russ)

38. Seilova L.B., Abdurakhmanov A.A., Biyashev T.Z. Mutation leading to the formation of tetrads of pollen grains in sugar beet. *Cytology and genetics*. 1986;22(5):62-63. (In Russ)

39. Vetrova S.A. Evaluation and selection of the source material for breeding for heterosis of table beet (*Beta vulgaris* L.). Abstract of the dissertation of the Candidate of Agricultural Sciences. Moscow, 2011. (In Russ)

40. Eremenko L.L. Morphological features of vegetable plants in connection with seed productivity. Novosibirsk: Nauka; 1975. (In Russ)

41. Vetrova S.A., Kozar E.G., Fedorova M.I. Acceleration of the breeding process to create a linear material of red beet. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(1):29-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-29-36>. EDN FHKSEP.



Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-24-30>  
УДК 635.262:631.528.1

В.И. Немтинов\*, Ю.Н. Костанчук

ФГБУН «Научно-исследовательский институт  
сельского хозяйства Крыма»  
Россия, 295493 г. Симферополь,  
ул. Киевская, 150

\*Автор для переписки: nemtin2@mail.ru

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также в анализе экспериментальных данных и написании статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Немтинов В.И., Костанчук Ю.Н. Оценка мутагенных образцов чеснока озимого. Овощи России. 2023;(3):24-30.  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-24-30>

**Поступила в редакцию:** 02.05.2023

**Принята к печати:** 26.05.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Victor I. Nemtinov\*, Yulia N. Kostanchuk

FSBSI "Research Institute  
of Agriculture of Crimea"  
150, Kievskaya str., Simferopol, 295043, Russia

\*Correspondence Author: nemtin2@mail.ru

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors contributed to the planning and setting up the experiment, as well as in the analysis of experimental data and writing of the article.

**For citations:** Nemtinov V.I., Kostanchuk Yu.N. Evaluation of mutagenic samples of winter garlic. Vegetable crops of Russia. 2023;(3):24-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-24-30>

**Received:** 02.05.2023

**Accepted for publication:** 26.05.2023

**Published:** 09.06.2023

# Оценка мутагенных образцов чеснока озимого



## Резюме

**Актуальность.** Использование химического мутагенеза на чесноке актуально для создания новых форм со стабильными признаками, лучшими биохимическими качествами, повышенной урожайностью, с целью использования в селекционной практике.

**Результаты.** Оценивалась реакция чеснока, обработанного двумя химическими мутагенами: ДЭС (диэтилсульфат) – 0,025; 0,05 и 0,1% (мутанты 2, 3 и 4), а также ДМС (диметилсульфат) – 0,02; 0,04 и 0,08% растворами (мутанты 5, 6 и 7).

Последствие химических мутагенов отмечено при низкой и средней вариабельности признаков во втором–пятом поколении. По низкой изменчивости 1,6–9,4% выделилась высота растений (образцы М 3 и 6), количество листьев (М 5), высота ложного стебля (М 3), диаметр луковиц (М 6), а также по длине листьев и массе луковиц образцы М 3, 5 и 6. Действие мутагенов на морфометрические признаки чеснока также отслежено во второй генерации (повторное выращивание из воздушных луковиц), где отмечены параметры низкой и средней вариабельности признаков. Большинство образцов по 7 признакам отражали низкую изменчивость 5,5–10,0% и только 2 показали среднюю изменчивость 11,4–16,4%: М 6 по высоте растений и ложному стеблю и М 3 – по диаметру луковиц и урожайности. Корреляция между их значением в 5-ом поколении и во 2-й генерации также выявило сильные прямые и средние связи. Высокая наследуемость признаков  $h^2 = 0,74–0,99$  по препаратам ДЭС – 0,05%, ДМС – 0,02 и 0,04%, явилась важнейшим показателем отбора ценных признаков.

**Ключевые слова:** чеснок озимый, популяция, воздушные луковички, химические мутагены, морфометрия, наследуемость признаков

# Evaluation of mutagenic samples of winter garlic

## Abstract

**Relevance.** The use of chemical mutagenesis on garlic is relevant for the creation of new forms with stable characteristics, better biochemical qualities, increased yield, for use in breeding practice.

**Results.** The reaction of garlic treated with two chemical mutagens was evaluated: DES (diethyl sulfate) – 0.025; 0.05 and 0.1% (mutants 2, 3 and 4), as well as DMS (dimethyl sulfate) – 0.02; 0.04 and 0.08% solutions (mutants 5, 6 and 7). The aftereffect of chemical mutagens was noted with low and medium variability of signs in the second–fifth generation. According to the low variability of 1.6–9.4%, the height of plants (samples M 3 and 6), the number of leaves (M 5), the height of the false stem (M 3), the diameter of bulbs (M 6), as well as the length of leaves and the weight of bulbs samples M 3, 5 and 6 were distinguished. The effect of mutagens on morphometric signs of garlic were also tracked in the second generation (re-growing from air bulbs), where the parameters of low and medium variability of signs are marked. The majority of samples on 7 signs reflected a low variability of 5.5–10.0% and only 2 mutants showed an average variability of 11.4–16.4%: M 6 in plant height and false stem and M 3 in bulb diameter and yield. The correlation between their value in the 5th generation and in the 2nd generation also revealed strong direct and average connections. High heritability of  $h^2$  signs = 0.74–0.99 for DES preparations – 0.05%, VMI – 0.02 and 0.04%, was the most important indicator of the selection of valuable signs.

**Keywords:** winter garlic, population, air bulbs, chemical mutagens, morphometry, heritability of traits

## Введение

Чеснок является одним из полезнейших для здоровья человека продуктом с большим набором целебных свойств, поэтому сортовой набор в реестре селекционных достижений России ежегодно пополняется. Однако из-за разнообразия климатических условий территории России они не могут удовлетворить аридный климат Крыма. Сегодня производству срочно требуется набор 4–5 сортов [1], а посадочный материал следует обновлять чеснока раз в 3–5 лет [2]. Поскольку в России на промышленной основе чеснок выращивается в малых объемах (основное производство сосредоточено в хозяйствах населения), доля импорта на товарном рынке чеснока оценена в 90–98 %. Нестабильная урожайность (связанна с ошибочными методами отбора посадочного материала, вирусные заболевания – желтая мозаика Lys v, желтая карликовость Gys v, стрик Oys v и множество поливирусов) – факторы, влияющие на результат выхода продукции [3,4]. Размножение чеснока через воздушную луковичку с использованием химического мутагенеза это один из путей улучшения сорта и оздоровления посадочного материала.

В процессе размножения чеснока происходит отбор в сторону вегетативного развития и продуктивных форм. Некоторые авторы считают, что промышленная система коммерческого использования ограничивает отбор вида, использования существующей генетической изменчивости индуцированных мутаций, т.е. способ получения новых форм [5]. Применение мутагенов определяет оценку биологических эффектов, влияющих на конкретную клетку или ткань, и зависит от типа мутагена, дозы обработки, что важно для роста и развития растения [6,7]. Однако литературные источники в решении селекционных задач методом химического мутагенеза не раскрывают полноту исследований, это и является новизной в решении проблемы.

Преодолеть тенденцию распространенности малоурожайных популяций чеснока можно при ведении целенаправленной селекции. Стоит задача – изучить изменчивость признаков чеснока озимого с помощью сильных химических мутагенов ДЭС и ДМС, отобрать ценные формы по морфометрии с лучшими хозяйственно ценными признаками и химическим составом для использования в селекции. Значение характера наследуемости морфометрических и хозяйственно ценных признаков определяла степень ассоциации между фено- и генотипическими показателями (селекционными) [8]. Одни количественные признаки имеют низкую наследуемость, другие – относительно высокую [9]. Наследуемость по мнению Leuthoold, Бриггс и Ноулз это важнейший популяционно-генетический параметр отбора [10,11]. Поэтому коэффициент наследуемости, прежде всего дает представление о степени развития данного количественного признака (морфометрии) от условий среды и влияния доз мутагенов. Здесь генетико-математический метод играет важную роль в определении наследуемости признаков [12].

**Цель исследований** – оценка морфометрических изменений *Allium sativum* L. от воздействия химических мутагенов ДЭС и ДМС, и отбор видимых мутационно-измененных форм с ценными хозяйственными признаками для использования в селекции, создания новых сортов, адаптированных в Крыму.

## Материалы и методы

В Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН воздушные луковички стрелкующегося чеснока местной популяции (с. Укромное, Республика Крым) в экспозиции 16 часов были обработаны химическими мутагенами первой группы – ДЭС (диэтилсульфат) 0,025%, 0,05 и 0,1%, а также ДМС (диметилсульфат) 0,02%, 0,04 и 0,08% [13]. Эти мутагены легко вступают в реакцию с белковыми молекулами, что проявляет наибольшее количество видимых фенотипических изменений, полученных именно под действием ДМС и ДЭС, что подтверждают и другие исследователи [14, 15]. В контроле группа луковичек в течение 16 часов замачивалась в воде.

Высев обработанных воздушных луковичек в открытый грунт был проведен на опытном участке отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Укромное, Симферопольский р-н) в 1-й декаде ноября 2015 года по схеме 40+25х8 см, т. е. из расчета 384,6 тыс. шт./га. В каждом варианте высевались по 100 воздушных луковичек. Всего в опыте посеяно 700 шт. (при массе 1000 шт. = 35 г) по всем вариантам. Почва представлена южным карбонатным тяжелосуглинистым чернозёмом, механический состав – глинистый, структура комковатая. Наблюдения и отбор измененных форм проводили в течение всего периода вегетации: всходы, листообразование, формирование луковицы, образование цветоносов, уборочная спелость. Анализировали растения по комплексу признаков: высота; количество листьев, их длина и ширина; диаметр и высота ложного стебля; диаметр и масса луковицы; количество зубков и их масса; окраска внешних чешуй луковицы и кожистых чешуй зубков. Биохимический состав определяли по показателям: сухое вещество, сумма сахаров, витамин С и накопление эфирных масел.

В последующие годы продолжалась оценка мутантов, где зубки высаживались по рядовой схеме через 50 см в открытый грунт. В технологии выращивания мутантов чеснока важную роль играли факторы среды – сложение микроклимата, которые оказывали влияние на морфометрические показатели.

Осенне-зимний период 2018–2021 годов от посадки зубков мутантов чеснока озимого М2 (второго) – М5 (пятого) поколений со второй декады ноября до 2–3 декады января укоренение зубков складывалось при положительной температуре воздуха от 2,8 до 6,1°C. Несмотря на кратковременное понижение минимальной температуры воздуха от -0,9 ... до -20,1°C и на поверхности почвы от -0,8 до -22,3°C, и колебаний максимальной температуры воздуха от 6,5 до 28,0°C, и на поверхности почвы от 3,4 до 17,0°C при выпадении осадков от 39 до 56 мм это не препятствовало укоренению и всходам чеснока. В период интенсивного нарастания листьев с февраля по апрель при средней температуре воздуха от 1,0 до 9,7 °C отмечено снижение *min* и повышение *max* температур от -8,6 до -1,9 °C и от 11,9 до 26,4 °C при выпадении осадков от 1,3 мм (в апреле 2019 года) до 80,5 мм (в марте 2020 года).

В период формирования луковиц с 1–2-й декады мая по 3 декаду июня и 1 декаду июля средняя температура воздуха колебалась от 14,4 до 24,3°C при колебаниях *min* и *max* температур соответственно от 3,9 до 15,1°C и

от 21,9 до 37,2°C. Значительные увеличения min и max температур отмечены на почве – от 1,5–3,5°C и 4,9–18,4°C при наличии осадков от 17,5 до 208,5 мм (в 2021 году). По исследованиям Жученко А.А. [16], сорта (в нашем случае мутанты), также отличались по реакции на температурные условия среды. Здесь в основу положена аксиома влияния количественного признака морфометрии и генетически средовых фонов мутагенов.

Растения анализировали в поколениях в 3-х повторностях. Количественный учёт мутаций учитывался способами: 1) отношением морфометрических показателей к контролю; 2) определением коэффициента изменчивости показателей морфометрии к контролю; 3) определением коэффициента корреляции – «длина листа – диаметр луковицы», «длина листа – масса луковицы». Проявления признаков увеличения и низкосредней изменчивости признаков морфометрии отмечали со 2 поколения размножения зубками. За вторую генерацию размножения чеснока принимали метод получения посадочного материала через воздушную луковичку. Оценку признаков корреляции морфометрии чеснока сравнивали в различных поколениях и со второй генерацией. При определении наследуемости признаков использовали «Методику полевого опыта» [17]. Статистическую обработку результатов опыта проводили с использованием пакета Microsoft Office Excel 2010.

## Результаты исследований и обсуждение

Оценка характера наследуемости морфометрических признаков и комбинационной способности мутагенных форм является предпосылкой для рационального отбора и прогнозирования эффективности селекции. Коэффициент наследуемости ( $h^2$ ) является важнейшим генетическим параметром. При составлении  $h^2$

различных количественных признаков в отдельных дозировках мутагенов имелась ввиду двойственность этого коэффициента. С одной стороны, в основу положена аксиома о совместном влиянии на развитие морфометрического признака генетических и средовых факторов – химических мутагенов первой группы, способных переносить алкидные соединения в другие растительные клетки и условий среды. Поэтому этот коэффициент, прежде всего дает представление о степени зависимости данного количественного признака от химических мутагенов и условий среды.

За 2018–2021 гг. контроль чеснока озимого без обработки мутагенами показал сильную наследуемость в потомстве в 5 поколениях по 7 признакам морфометрии ( $h^2$  от 0,81 до 0,99) и среднюю ( $h^2$  от 0,37 до 0,68) по 3-м признакам – по количеству зубков в луковице и урожайности, и длине листьев. Обработка в 3-х концентрациях воздушных луковичек мутагенах ДЭС также показала сильную наследуемость признаков в 5-ти поколениях: по высоте растений, длине листьев, высоте ложного стебля, диаметру луковиц и массе луковиц ( $h^2=0,74–0,99$ ) и в двух концентрациях – по количеству и ширине листьев, диаметру ложного стебля и урожайности ( $h^2=0,78–0,97$ ) (табл. 1).

Обработка воздушных луковиц в 3-х концентрациях мутагеном ДМС показала сильную наследуемость признаков также в 5-ти поколениях: по высоте растений, ширине листьев, высоте ложного стебля и его диаметру, диаметру и массе луковиц и урожайности; в 2-х концентрациях отмечена сильная наследуемость – количество листьев и их длина. Следует отметить, по количеству зубков отмечена средняя наследуемость в контроле по препаратам ДЭС 0,05% и ДМС 0,08% ( $h^2=0,43$  и 0,45).

Ежегодно оценивались морфометрические показатели растений. По сравнению с контролем высота

Таблица 1. Наследуемость признаков чеснока от мутагенов и факторов среды,  $h^2$  за 2018–2021 годы  
Table 1. Heritability of garlic traits from mutagens and environmental factors,  $h^2$  for 2018–2021

Показатели (см, шт.)	Контроль без обработки	Химические мутагены					
		Препарат ДЭС, %			Препарат ДМС, %		
		0,025	0,05	0,1	0,02	0,04	0,08
Высота растений, см	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Количество листьев, шт.	0,81	0,31	0,79	0,84	0,87	0,82	-0,21
Листья длина, см	0,84	0,74	0,98	0,88	0,88	0,90	-0,05
Листья ширина, см	0,61	0,97	0,78	0,63	0,75	0,77	0,77
Высота ложного стебля, см	0,83	0,94	0,99	0,93	0,95	0,89	0,86
Диаметр ложного стебля, см	0,86	0,84	0,88	0,39	0,94	0,87	0,94
Диаметр луковиц, см	0,81	0,96	0,85	0,76	0,87	0,88	0,94
Масса луковицы, г	0,99	0,99	0,96	0,98	0,87	0,95	0,97
Количество зубков в луковице, шт.	0,37	-0,15	0,43	0,12	0,02	-0,21	0,45
Урожайность, кг/м <sup>2</sup>	0,68	0,29	0,89	0,95	0,74	0,77	0,86



Таблица 2. Диаметр и масса луковиц чеснока (в 1-м-4-м поколении)  
Table 2. Diameter and weight of garlic bulbs (in the 1st-4th generation)

№ мутанта и концентрация мутагена	Диаметр луковиц и их изменчивость (V, %)				Масса луковиц и их изменчивость (V, %)			
	см	± к st, см	V, %	± к st, %	г	± к st, г	V, %	± к st, %
1 – Контроль (без обработки)	6,6	0,0	8,6	0,0	100,5	0,0	6,0	0,0
2 – 0,025% ДЭС	6,8	+0,2	8,0	-0,6	100,0	-0,5	3,6	-2,4
3 – 0,05% ДЭС	7,2	+0,6	8,4	-0,2	106,6	+6,1	4,6	-1,4
4 – 0,1% ДЭС	6,6	0,0	5,4	-3,2	85,5	-15,0	5,0	-1,0
5 – 0,02% ДМС	7,2	+0,6	7,1	-1,5	104,0	+3,5	3,6	-2,4
6 – 0,04% ДМС	6,6	0,0	4,2	-4,4	90,8	-9,7	5,3	-0,7
7 – 0,08% ДМС	7,2	+0,6	6,1	-2,5	105,2	+4,7	7,2	+1,2
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	6,6	±0,3	6		98,9	±0,4		
V, %			6,8				5,0	

мутантов увеличивалась с возрастанием концентрации обоих мутагенов по препаратам; 0,05% ДЭС на 7,0 см и 0,02–0,08% ДМС на 5–7 см. Результаты статистической обработки подтверждают достоверность средней совокупности высоты данной группы мутантов находясь в интервале 73,2–75,2 см, где концентрации 0,05% ДЭС и 0,04–0,08% ДМС оказались более влиятельными, так как превысили среднюю по варианту ( $\bar{x}$ =71,0) на 1,2–4,2 см. Остальные имели более низкие значения. Ошибка средней ( $S\bar{x}$ =2,7%) и вариабельность были незначительными ( $V$ =5,4%). Установлена сильная обратная корреляционная связь – «высота растений – урожайность» при  $r$ =-0,9...-1,0 по образцам №3, 5 и 6, против контроля  $r$ =-0,5.

Количество листьев, их расположение зависели от высоты растения. Обработка воздушных луковичек различными мутагенами оказала влияние на количество

листьев и их параметр. Средние и высокие дозировки мутагенов – 0,05-0,1% ДЭС и 0,04–0,08% ДМС увеличивали количество листьев 0,4–0,8 шт. на растениях по сравнению с контролем и средним значением вариантов ( $\bar{x}$ =8,8). Абсолютная ошибка средней равна  $S\bar{x}$ =0,4 % при незначительной вариабельности признака ( $V$ =9,6 %±1,7).

В селекции чеснока важны признаки: высота и диаметр ложного стебля. Концентрации препаратов 0,05% ДЭС и 0,04% ДМС до 9,4% увеличивали высоту и диаметр ложного стебля до 0,7 см, что положительно сказалось на урожайности чеснока. С увеличением концентрации препарата ДМС до 0,04% на 0,9–1,1 см увеличивалась высота ложного стебля по отношению к контролю и совокупной средней вариантов  $\bar{x}$ =11,9 см, при абсолютной ошибке средней  $S\bar{x}$ ±0,4 и незначительной изменчивости показателя ( $V$  5,5%).

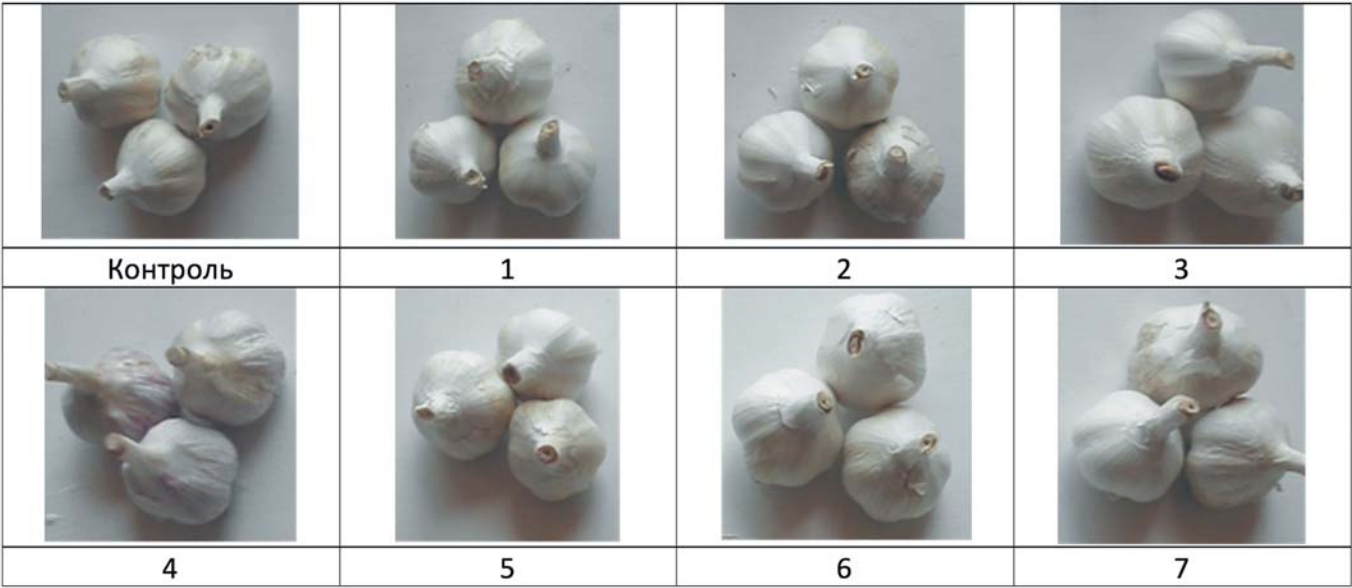


Рис. Мутагенные образцы второго поколения чеснока озимого  
Fig. Mutagenic samples of the second generation of winter garlic

Таблица 3. Урожайность чеснока и её изменчивость, кг/м<sup>2</sup> (в 3-4 поколениях)  
Table 3. Garlic yield and its variability, kg/m<sup>2</sup> (in the 3rd-4th generation)

№ мутанта и концентрация мутагена	2019 год	2020 год	Среднее за 2019-2020 годы	Изменчивость (V, %)
1 – Контроль (без обработки)	1,3±0,1	1,8 ± 0,1	1,6±0,1	7,9
2 – 0,025% ДЭС	1,5±0,0	1,7± 0,2	1,6±0,1	3,7
3 – 0,05% ДЭС	1,6±0,0	2,4± 0,2	2,0±0,1	7,2
4 – 0,1% ДЭС	1,1±0,0	1,8± 0,1	1,4±0,1	4,8
5 – 0,02% ДМС	1,5±0,1	2,2± 0,2	1,8±0,1	3,7
6 – 0,04% ДМС	1,6±0,0	2,0± 0,2	1,8±0,1	7,9
7 – 0,08% ДМС	1,4±0,0	1,6± 0,1	1,5±0,0	4,3
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	1,4±0,1	1,9± 0,2	1,7±0,1	5,6±1,7

Диаметр ложного стебля (л.с.) влияет на прочность стебля и скорость формирования луковицы. Так, в min и max концентрациях ДМС отмечено увеличение диаметра л.с. на 0,5–0,7 см по сравнению с контролем и средним совокупным показателем вариантов  $\bar{x}=2,0$  см при абсолютной ошибке средней  $S\bar{x} \pm 0,1$  и средней ( $V=11\%$ ); средняя изменчивость диаметра л.с. отмечена также при обработке другими концентрациями препарата ДЭС и в контроле. Установлены сильные корреляционные связи – «высота л.с. и диаметр л.с. – урожайность» при  $r = -1,0$  по образцу № 3. Наиболее важными показателями продуктивности являются диаметр и масса луковиц чеснока (табл. 2).

Обработка воздушных луковиц чеснока мутагенами – 0,05% ДЭС, 0,02 и 0,08% ДМС на 9% увеличили диаметр луковиц, где их размер на 0,6 см превышал контроль и среднюю совокупную вариантов  $\bar{x}=6,6$  см при ошибке  $S\bar{x} \pm 0,3$  и незначительной изменчивости признака ( $V=6,8\%$ ).

Величину урожайности определяла масса луковиц, наибольшую величину показали варианты 3, 5, 7 – 104–107 г препараты с концентрацией – 0,05% ДЭС и 0,02–0,08 ДМС при совокупной средней вариантов  $\bar{x}=98,9$  и абсолютной ошибке средней  $S\bar{x} \pm 5,4$  при незначительной вариативности массы луковиц ( $V=5,0\%$ ). Итак, обработка воздушных луковиц мутагенами – 0,05% ДЭС и 0,02...0,04% ДМС не только увеличивала показатели по морфометрии мутантов – высоты растений, количества листьев, изменяла высоту и

диаметр ложного стебля, но увеличивала урожайность на 12,5–25,0% в сравнении с контролем (рис., табл. 3).

Увеличение урожайности на 12,5–25,0% отмечено при обработке 0,05% ДЭС и 0,02...0,04% ДМС, которые превышали контроль и средние значения урожайности вариантов (1,7 кг/м<sup>2</sup>) в 1,1–1,2 раза. Коэффициенты вариации по урожайности находились в интервале 3,7–7,9% при незначительной средней изменчивости  $V=5,6 \pm 1,7$ . Установлено, что сильные корреляционные связи  $r=0,83–0,97$  – «длина листа – масса луковицы» отмечены у образцов №5 и 7, а также по «длине листа – диаметру луковицы» при  $r=0,7–0,99$  в вариантах №2, 4 и 7. Остальные образцы отмечены при низких и средних значениях  $r=0,2–0,63$ . Последствие химических мутагенов в 2021 году отмечено при низкой и средней вариативности признаков. По низкой изменчивости 1,6–9,4% выделилась высота растений (мутанты №3 и 6), количество листьев (5), высота ложного стебля (3), диаметр луковиц (6), а также по длине листьев и массе луковиц все мутанты №№ 3,5 и 6. Остальные признаки были в пределах средних значений 10,1–16,6% (табл. 4).

Действие мутагенов на морфометрические признаки чеснока также отслежено на второй генерации в 2021 году (выращивание однозубок из воздушных луковичек), где параметры признаков были более четко выражены (табл. 5).

Отмечена низкая и средняя вариативность признаков. Большинство мутантов по 7 признакам отра-

Таблица 4. Морфометрия чеснока при последствии мутагенов в 5-ом поколении, 2021 год  
Table 4. Morphometry of garlic in the aftereffect of mutagens in the 5th generation, 2021

№ мутанта, концентрация мутагена	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Длина листьев, см	Высота ложного стебля, см	Диаметр луковицы, см	Масса луковицы, г	Урожайность, кг/м <sup>2</sup>
1. Контроль (без обработки)	39,1±3,1	6,3±0,3	56,1±2,7	15,1±1,2	6,2±0,3	55,6±2,6	1,5±0,09
3. 0,05% ДЭС	47,3±1,8	7,0±0,6	52,3±0,3	18,3±0,2	6,6±0,0	68,4±1,5	3,4±0,3
5. 0,02% ДМС	40,7±3,1	6,3±0,3	58,7±0,9	13,9±1,2	6,1±0,2	68,7±1,2	2,0±0,05
6. 0,04% ДМС	44,7±2,4	6,0±0,6	57,7±1,7	16,8±1,1	6,0±0,3	60,0±1,9	1,7±0,09
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	42,8±2,6	6,4±0,4	56,2±1,4	16,1±0,9	6,2±0,2	63,1±5,1	2,1±0,1
V, %	11,2	10,9	7,3	10,7	9,2	5,1	9,9
HCP <sub>05</sub>							0,34

Таблица 5. Последствие мутагенов при выращивании луковиц из воздушных луковичек чеснока озимого от второй генерации (2021 год)  
Table 5. Aftereffect of mutagens in the cultivation of bulbs from air bulbs of winter garlic from the second generation (2021)

№ мутанта, концентрация мутагена	R между значением признаков в 5-ом поколении и во 2-й генерации						
	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Длина листьев, см	Высота ложного стебля, см	Диаметр луковицы, см	Масса луковицы, г	Урожайность, кг/м <sup>2</sup>
1. Контроль (без обработки)	45,1±1,6	6,7±0,3	62±2,3	13,8±0,2	6,7±0,4	55±1,2	1,7±0,1
3. 0,05% ДЭС	48,3±0,9	6,7±0,3	58,3±2,0	16,5±0,5	6,3±0,4	66,7±0,7	2,6±0,2
5. 0,02% ДМС	59,3±2,3	7,7±0,3	62,3±2,0	14,5±0,3	6,3±0,2	75,7±1,3	2,8±0,03
6. 0,04% ДМС	55,7±2,2	7,0±0,6	68,0±1,5	16,8±1,6	6,4±0,1	79,7±2,4	3,0±0,09
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	52,1±1,8	7,1±0,4	62,7±2	15,4±0,6	6,4±0,3	69,2±1,4	2,5±0,1
V, %	6,8	10,0	5,5	7,1	7,5	4,3	8,6
HCP <sub>05</sub>							0,45

Таблица 6. Корреляция признаков чеснока при влиянии мутагенов, 2021 год  
Table 6. Correlation of garlic traits under the influence of mutagens, 2021

№ мутанта, концентрация мутагена	R между значением признаков в 5-ом поколении и во 2-й генерации						
	Высота растений	Количество листьев	Длина листьев	Высота ложного стебля	Диаметр луковицы	Масса луковицы	Урожайность
1. Контроль (без обработки)	-0,42	0,99	0,98	-0,65	-0,60	-0,86	-0,95
3. 0,05% ДЭС	-0,75	1,00	0,60	0,94	0,99	-0,85	0,75
5. 0,02% ДМС	0,89	0,87	-0,53	-0,99	-0,97	0,60	0,56
6. 0,04% ДМС	-0,71	0,50	-0,50	0,84	-0,89	0,42	0,76

жали низкую изменчивость 5,5–10,0 и только 4 мутанта показали среднюю изменчивость 11,4–16,4 №6 по высоте растений и ложному стеблю и №3 по диаметру луковиц и урожайности. Определение признаков корреляции между их значением в 5-ом поколении и во 2-й генерации показало сильные прямые и средние связи (табл. 6).

Так, по мутанту 3 из 7 показателей морфометрии 6 значений относились к сильной и прямой связи от -0,75...-0,85 до 1, где признак корреляции длины листьев отмечен в среднем значении  $r=0,6$ . По мутанту 5 значение 4-х корреляций – высоты растений и ложного стебля, количества листьев и диаметра луковиц были сильными (0,87...-0,99), где остальные связи это длина листьев, масса луковиц и урожайность относились к средним значениям  $r = -0,53-0,60$ . Мутант 6 также показал стабильные связи по 4-м признакам: это высота растений и ложного стебля, диаметр луковиц и урожайность: - 0,71–0,86...-0,89, остальные показатели были в средних значениях  $r = 0,42-0,50$ . Контроль также показал сильные связи по 4-м признакам это количество листьев и их длина, масса луковиц и урожайность. Оценка биохимического состава продукции при использовании мутагенов являлась важным показателем в селекции чеснока озимого. Так, по сравнению с контролем в 3-4-ом поколениях отмечено > сухого вещества концентрации ДЭС и ДМС до max на 4,1-9,3%. Здесь различные

концентрации мутагенов не оказали существенного влияния на > витамина С в продукции. В 5-ом поколении подобная тенденция сохранялась только по препарату 0,05% ДЭС. Очевидно большее количество осадков в 5-ом поколении (май – 1 декада июля до 198 мм) и увеличение температуры воздуха более 36°C увеличивало содержание эфирных масел и уменьшало содержание сухого вещества в продукции.

### Заключение

1. В селекционном питомнике обработка воздушных луковичек мутагенами 0,05% ДЭС и 0,02; 0,04% ДМС не только увеличивала показатели морфометрии мутантов и высокие корреляции увеличения урожайности чеснока на 27–67% по сравнению с контролем, но и определила высокую наследуемость признаков  $h^2=0,7-0,99$ .

2. Образцы мутантов от 2-ой генерации № 3, 5, 6 с низкой и средней изменчивостью хозяйственно ценных признаков (урожайность – 2,5-11,5%, масса луковиц – 3,0-5,2%, количество зубков – 12,5-13,9%) и морфометрии (высота растений – 3,1-6,8%, длина листьев – 3,9-5,6%, количество листьев – 8,1-14,9%), и повышенным содержанием общих сахаров (18,5-24,1%) и средним содержанием эфирного масла (0,14-0,34%) рекомендуются для исследования в контрольном питомнике клонов.



## Об авторах:

**Виктор Илларионович Немтинов** – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник,  
<https://orcid.org/0000-0002-2020-200X>,  
 автор для переписки, nemtin2@mail.ru

**Юлия Николаевна Костанчук** – старший научный сотрудник,  
<https://orcid.org/0000-0002-3410-6634>, kostanyulya@mail.ru

## About the Authors:

**Victor I. Nemtinov** – Doc. Sci. (Agriculture),  
 Chief Researcher,  
<https://orcid.org/0000-0002-2020-200X>,  
 Correspondence Author, nemtin2@mail.ru  
**Yulia N. Kostantchuk** – Senior Researcher,  
<https://orcid.org/0000-0002-3410-6634>, kostanyulya@mail.ru

## • Литература

1. Сыч З.Д. Чеснок: новые перспективы для бизнеса. *Овощеводство*. 2013;(10):15-17.
2. Поляков А.В., Зубалий А.В. К проблеме получения безвирусного посадочного материала чеснока озимого. *Научное обеспечение отрасли овощеводства России в современных условиях*. Сб. науч. тр. Международно научно-практической конференции к 85-летию ВНИИО. М.; 2015. С.328–332.
3. Кокарека Н.Н., Плешакова Т.Н. Вирусы лука и чеснока: диагностика и профилактика. *Картофель и овощи*. 2013;(6):13–14. EDN QZPREH.
4. Налобова В.Л., Купреенко Н.П., Войтехович И.М. Анализ сортообразцов лука репчатого и чеснока озимого на наличие вирусной инфекции. *РУП Сб. науч. тр. Института овощеводства*, Минск. 2013. Т.21. С.142-147.
5. Matijevic M., Bado S., Lagoda P.J.L. and Forster B.P. Impact of Induced Mutations in Plant Breeding. International Conference on Plant Genetics and Breeding Technologies, Vienna, 18-20 February 2013: 45-48 p.
6. Taner Y. and Kunter B. Determining effective radiation mutagen dose for garlic (*Allium sativum* L.). *Bahçe*. 33. 2004:95-99.
7. Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Тощая С.А., Грязнов М.Ю., Сидельников Н.И., Бурова А.Е. Влияние химических мутагенов на *Calendula officinalis* L. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2014;(4):66. EDN STUHSR.
8. Nemtinov V.I., Shirokova A.V., Kostanchuk Yu.N., Pekhova O.A., Timasheva L.A., Belova I.V., Danilova I.L. The paradigm of induced chemical mutagenesis of *Allium sativum* L. *E3S Web of Conferences*. Moscow, 2020: 04024. DOI 10.1051/e3sconf/202022404024. EDN KVIPGI.
9. Robertson D.S. *Genetics*. 1955;(40):745–760.
10. Leuthold Y. Areh. Tiezzucht. 1968. Bd. 2. P.3–25. В кн.: Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений. Кишинев. Изд. «Штиинца». 1980. Гл.4. С. 148-201.
11. Бриггс Ф., Ноулз П. Научные основы селекции растений = Introduction to plant breeding. Москва: Колос, 1972. 398 с.
12. Плохинский Н.А. *Цитология и генетика*. 1971;5(6):665-672.
13. Немтинов, В.И., Широкова А.В. Мониторинг оценки морфометрии чеснока озимого при использовании химических мутагенов. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019;(133):187-194.
14. Roychowdhury R., Tah J. Chemical mutagenic action on seed germination and related agro-metrical traits in M1 *Dianthus* generation. *Current Botany*. 2011;2(8):19–23.
15. Кудина Г.А. Химические мутагены в селекции цветочно-декоративных растений. *Промышленная ботаника*. 2006;(6):116-120. EDN ZCKRJJ.
16. Жученко А.А. Адаптация растений к температуре. *Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы)*. Кишинев, Изд «Штиница», 1988. С.220–227.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Определение коэффициента наследуемости. М: Агропромиздат, С. 306-313.

## • References

1. Sych Z. D. Garlic: new perspectives for business. *Vegetable growing*. 2013;(10): 15–17. (In Russ.)
2. Polyakov A.V., Zubaliy A.V. On the problem of obtaining of non-viral seed material of overwinter garlic. *The scientific support for the vegetable industry of Russia in modern conditions. / Collection of scientific papers based on the International scientific-practical conference dedicated to the 85th anniversary of All-Russian Research Institute of Vegetable Growing*, Moscow: 2015. P. 328-332. (In Russ.)
3. Kokareka N.N., Pleshakova T.N. The viruses of the onion and garlic: diagnostics and preventive measures. *Potato and Vegetables*. 2013;(6):13–14. EDN QZPREH. (In Russ.)
4. Nalobova V.L., Kuprienko N.P., Voitekhovich I.M. Analysis of varieties of onion and winter garlic for the presence of a viral infection. *Collection of scientific works of the Institute of Vegetable growing*. Minsk, 2013; (21):142-147. (In Russ.)
5. Matijevic M., Bado S., Lagoda P.J.L. and Forster B.P. Impact of Induced Mutations in Plant Breeding. International Conference on Plant Genetics and Breeding Technologies, Vienna, 18-20 February 2013. P. 45-48.
6. Taner Y., Kunter B. Determining effective radiation mutagen dose for garlic (*Allium sativum* L.). *Bahçe*. 33. 2004. P.95-99.
7. Haziyeva F.M., Basalaeva I. V., Tockaja S. A., Grjaznov M. Ju., Sidel'nikov N. I. and Burova A. E. The effect of chemical mutagens on *Calendula officinalis* L. *Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy himii*. 2014;(4):66. EDN STUHSR. (In Russ.)
8. Nemtinov V.I., Shirokova A.V., Kostanchuk Yu.N., Pekhova O.A., Timasheva L.A., Belova I.V. and Danilova I.L. The paradigm of induced chemical mutagenesis of *Allium sativum* L. *E3S Web of Conferences*. Moscow, 2020: 04024. DOI 10.1051/e3sconf/202022404024. – EDN KVIPGI.
9. Robertson D.S. *Genetics*. 1955;(40):745–760.
10. Leuthold Y. Areh. Tiezzucht. 1968. Bd. 2. P.3–25.
11. Briggs F., Knowles P. Scientific foundations of plant breeding = Introduction to plant breeding. Moscow: Kolos, 1972. 398 p. (In Russ.)
12. Plokhinsky N.A. *Cytology and genetics*. 1971;5(6):665-672.
13. Nemtinov V.I., Shirokova A.V. Monitoring of the evaluation of winter garlic morphometry using chemical mutagens. *Bulletin of GNBS*. Yalta. 2019;(133):187-194. (In Russ.)
14. Roychowdhury R., Tah J. Chemical mutagenic action on seed germination and related agro-metrical traits in M1 *Dianthus* generation. *Current Botany*. 2011;2(8):19–23.
15. Kudina G.A. Chemical mutagens in flower-ornamental plant selection. *Industrial Botany*. 2006; (6):116-120. EDN ZCKRJJ. (In Russ.)
16. Zhuchenko A.A. Plant adaptation to temperature. *Adaptive potential of cultivated plants (ecological and genetic basis)*. Chisinau, Publishing House "Shtinita", 1988. P. 220-227. (In Russ.)
17. Dospekhov B.A. Methodology of field experience. M.-Agropromizdat, 1985. 306-313 p. (In Russ.)

## Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-31-35>  
УДК 635.9»550.3»:631.526.323

Л.М. Шило\*, Л.В. Беспалько

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

\*Автор для переписки: shilo@yandex.ru

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также в анализе экспериментальных данных и написании статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шило Л.М., Беспалько Л.В. Новый сортобразец льна многолетнего (*Linum perenne* L.) Блюз селекции ФГБНУ ФНЦО. *Овощи России*. 2023;(3):31-35. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-31-35>

**Поступила в редакцию:** 04.04.2023

**Принята к печати:** 15.05.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Larisa M. Shilo\*, Lesya V. Bepalko

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Seleccionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

\*Correspondence Author: shilo@yandex.ru

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors contributed to the planning and setting up the experiment, as well as in the analysis of experimental data and writing of the article.

**For citations:** Shilo L.M., Bepalko L.V. The new variety of perennial flax (*Linum perenne* L.) Blues of the selection of the FSBSI FSVC. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(3):31-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-31-35>

**Received:** 04.04.2023

**Accepted for publication:** 15.05.2023

**Published:** 09.06.2023

# Новый сортобразец льна многолетнего (*Linum perenne* L.) Блюз селекции ФГБНУ ФНЦО



## Резюме

**Актуальность и материал исследований.** Лен – многолетнее травянистое растение, обладающее высокой декоративностью, с продолжительным цветением, зацветает в первый год вегетации. Растение нетребовательное к условиям произрастания. В результате многократных селекционных отборов из иностранного сорта, выведен сортобразец льна многолетнего №Л-22 Блюз, рекомендованный к использованию в декоративных целях. Листья и яркая окраска цветков обеспечивают контраст многолетним бордюрам и клумбам. Хорошо смотрится как в одиночных так и групповых посадках, а так же в срезке.

**Результаты.** Изучение льна многолетнего проводилось в открытом грунте Московской области (2015-2022 годы) на опытных участках сектора цветочных культур ФГБНУ ФНЦО. Выделена наиболее выровненная по декоративным признакам форма – Л-22 с высокой семенной продуктивностью соцветий, декоративностью и зимостойкостью. Проведено сортоиспытание и предварительное размножение перспективного сортобразца льна многолетнего. Такие признаки как «высота растения», «диаметр куста», «число декоративных побегов», «диаметр цветка», имели низкое или среднее значение варьирования, что характеризует данный образец как наиболее выровненный. Таким образом, сортобразец льна многолетнего, рекомендован к выращиванию и использованию в декоративных целях. Голубая окраска цветков обеспечивают контраст многолетним бордюрам и клумбам, поэтому он пользуется большой популярностью у садоводов. Используется в самых разных групповых композициях: в миксбордерах, альпинариях, цветниках и бордюрах, хорошо смотрится в срезке. Отличается стойкостью окраски цветков при выгорании на солнце; устойчивостью к болезням и вредителям; большим количеством цветков на растении; высокой семенной продуктивностью.

**Ключевые слова:** лен многолетний, новый сортобразец, селекция

## The new variety of perennial flax (*Linum perenne* L.) Blues of the selection of the FSBSI FSVC

## Abstract

**Relevance and research material.** Flax is a perennial herbaceous plant with a high decorative value, with a long flowering, blooms in the first year of vegetation. The plant is undemanding to the growing conditions. As a result of multiple selection selections from a foreign variety, the long-term flax variety No. L-22 "Blues" recommended for use for decorative purposes was derived. The leaves and the bright color of the flowers provide a contrast to the perennial borders and flower beds. It looks good both in single and group plantings, as well as in cutting.

**Results.** The study was carried out in the open ground of the Moscow Region (2015-2022) on experimental plots of the flower crops sector of the Federal Scientific Vegetable Center. The most aligned form according to decorative features is L-22 with high seed productivity of inflorescences, decorative and winter hardiness. Variety testing and preliminary propagation of a promising long-term flax variety was carried out. Signs such as "plant height"

**Keywords:** long-term flax, new variety, selection

## Введение

**Л**ен многолетний (*Linum perenne* L.), род Лен, семейства Льновые. Распространен в Европе, Белоруссии, Молдавии, Европейской части России [1]. В природе растет на светлых местах, на свежих, богатых минеральными солями, известковых почвах: на каменистых полянах и горных лугах в субальпийском и альпийском поясе. В Словакии в основном встречается в низинах [2].

Семейство (*Linaceae*) включает 18 родов и около 300 видов [3]. Среди льна встречаются масличные, прядильные, декоративные и лекарственные растения с голубыми, белыми, желтыми, розовыми, желтоватыми и красными соцветиями [4]. Первоначально это растение использовали для производства текстильных тканей. Льняная ткань отличалась хорошей впитывающей способностью и воздухопроницаемостью. Потом обнаружили целебные свойства льняных семян, их стали использовать в медицине. Наибольшее промышленное значение имеют виды, которые дают семена для производства масла. Однако есть несколько видов с крупными и красочными цветками, которые с успехом выращивают в саду в качестве декоративных растений [5].

Особого внимания как декоративные растения заслуживают следующие виды льна, которые можно выращивать в нашей стране (однолетние и многолетние): Лен крупноцветковый (*Linum grandiflorum*); Лен посевной (*Linum usitatissimum*); Лен нарбонский (*Linum narbonense*); Лен желтый (*Linum flavum*) и Лен многолетний (*Linum perenne*) [6].

**Лен крупноцветковый** (*Linum grandiflorum*) – однолетнее растение высотой до 50 см, имеет крупные цветки (диаметром 3-5 см), собранные в рыхлое соцветие. Лепестки могут быть карминно-красными, розовыми, оранжевыми, лососевыми, белыми с темным основанием в центре цветка. Цветет с июня до заморозков.

**Лен посевной** (*Linum usitatissimum*) – однолетнее растение, имеет некрупные цветки синего или белого цвета. Высотой 30-70 см. Цветет с июня по июль/август.

**Лен нарбонский** (*Linum narbonense*) – многолетнее растение, цветки имеют голубовато-фиолетовую окраску, растение высотой до 40 см. Цветет с июня по август-сентябрь.

**Лен желтый** (*Linum flavum*) – многолетнее растение, отличается от других видов золотистыми цветками. Растение высотой до 50 см, хорошо кустится. Цветет с июня по август.

**Лен многолетний** (*Linum perenne*) встречается в диком и культурном виде, в природе растет в низинах, достигая высоты 60-100 см [7].

Лен многолетний лучше произрастает на легких, плодородных почвах. Необходима подкормка рассады и высаженных растений в открытый грунт перед цветением комплексными минеральными удобрениями. После высадки рассады в открытый грунт требуется умеренный полив. Предпочитает открытое солнечное место. Агротехнические требования: рыхление, прополка, обрезка. Размножается через рассаду или прямым посевом семян в грунт, а также черенками и делением куста. Легко переносит пересадку [8].

Лен многолетний – растение неприхотливое, имеет очень прочные прямостоячие стебли. Лен это изящный, долгоцветущий многолетник для солнечных мест, он отличается высокой устойчивостью к засухе. Однако застой воды губителен для льна, Лен устойчив к болезням и вредителям [9]. У льна многолетнего крупные голубые цветки, состоящие из 5 лепестков, 5 чашелистиков, 5 больших развитых тычинок и 5 маленьких пестиков. Цветки собраны в рыхлые соцветия, закрываются около полудня и быстро опадают. Цветет с июня по август. Для повторного цветения срезается надземная часть до прикорневой розетки. Плоды представляют собой коробочки, внутри коробочки 10 продолговатых семечек, гладких, длиной 4-5 мм, темно-коричневой окраски.

Исследователи Американского университета Миннесоты оценили потенциал срезанных цветков сортов многолетнего льна (*L. perenne* L. «Blue Flax» и «Sapphire»; Expt. 1, 2018 г.) и образцов (*L. austriacum* L., *L. lewisii* Pursh) и (*L. perenne*; Expt. 2, 2019 г.), а также регистрировали признаки, которые позволят проводить селекцию для повышения продуктивности срезанных цветов. Средняя продолжительность жизни в вазе у обоих сортов в Expt. 1 было 9,2 дня. В доп. 2, у *L. perenne* была самая длинная средняя длительность стояния в вазе (9,3 дня), за ней следуют *L. austriacum* (9,1 дня) и *L. lewisii* (8,3 дня). Цветочный консервант (Floralife 300) значительно увеличил жизнь в вазе в среднем на 1,7 дня в Expt. 1 и 1,6 дня в Expt. 2, и привело к значительно большему количеству цветков (~2х) в обоих экспериментах. Между генотипами наблюдались значительные различия по большинству признаков, включая срок жизни в вазе (от 6,2 до 11,3 дней) и количество цветков (от 1,3 до 10,5), что подчеркивает возможности улучшения потенциала многолетнего льна на срезку посредством селекции [10].

На данный момент, на рынке представлены следующие декоративные сорта льна (Голубое небо – с светло-голубыми цветками, Солнечный зайчик – с желтыми лепестками; Шарм Кримсон – крупные, насыщенно-красные цветки; Бриллиант – цветки белые, Румянец – ярко-розовые атласные цветки; Ясные глазки – белые цветки, центральная часть которых насыщенно-розового цвета; «Лазурная гавань» – цветки нежно-голубой окраски; Пилигрим – цветки голубые [11].

## Цель, материалы и методы исследований

Целью данной работы являлось создание сорта льна многолетнего с высокой декоративностью и комплексом хозяйственно ценных признаков. Исходным материалом послужил селекционный образец с голубой окраской цветка. При отборе учитывался размер цветка, яркость окраски и структура соцветия. Исследования проводились в условиях открытого грунта Московской области, на опытном участке сектора селекции и семеноводства цветочных культур ФГБНУ ФНЦО начиная с 2015 года. Первичная оценка данного образца проводилась по морфологическим, биологическим, хозяйственно ценным признакам [12]. В работе использованы методические рекомендации по элитному семеноводству, апробации посевов и сортоизучению цветочных культур [13].



### Агротехника льна многолетнего

В условиях Подмосквья лен многолетний выращивали через рассаду. Семена высевали в ящики (март), наполненные смесью, состоящей из торфа и перлита. Глубина заделки семян 0,5 см, при температуре +20...25°C. Всходы появляются на 5-10 сутки, через неделю пикировали в кассеты (апрель). Высадка в открытый грунт во второй половине мая, при высоте рассады 9-10 см. В период вегетации проводилась четырехкратная прополка сорняков и рыхление растений. Зимуют все растения без укрытия. Весной (2,3-й годы вегетации) по талому снегу проводили первую подкормку минеральными удобрениями, в период бутонизации – вторую, фосфорными и калийными удобрениями, прополки и рыхления по мере необходимости, во время созревания семян все вызревшие побеги срезали. После подсушивания вороха, проводили обмолот, при этом использовали молотилку, а затем очищали на семяочистительной машине «Пектус».

### Результаты исследований

Проведена работа по улучшению исходной популяции льна многолетнего путём применения индивидуального отбора. Выделена наиболее выровненная по декоративным признакам форма – Л-22 с высокой семенной продуктивностью соцветий, декоративностью и зимостойкостью. Проведено сортоиспытание и предварительное размножение перспективного сортообразца льна многолетнего. Данный сортообразец планируется передать в ФГБУ "Госсорткомиссия" под названием Блюз (рис.1).

Предварительные фенологические наблюдения за проявлением основных декоративных признаков в течение нескольких репродукций показали, что растения льна многолетнего выровнены по высоте, компактности куста и по окраске цветка. Примесей

не обнаружено. После отработки этих образцов в 2019 году были отобраны элитные сеянцы и выделены растения с высокими декоративными признаками. Полученные семена с этих растений были высеваны в 2020 году. Полученная рассада высажена в открытый грунт 15 мая. Растения высаживали в заранее подготовленные гряды. Расстояние между рядами – 60-70 см, расстояние между растениями в ряду – 25-30 см, повторность трехкратная. Количество растений в одной повторности – 50 шт. Размещение делянок – рендомизированное. Наблюдения проводили в течение последующих трех лет (2020-2021-2022 годы). Данные представлены в таблице.

Как видно из таблицы, такие признаки как «высота растения», «диаметр куста», «число декоративных побегов», «диаметр цветка», имели низкое или среднее значение варьирования, что характеризует данный образец как выровненный, по сравнению с контрольным вариантом (исходная форма) [14].

В первый год вегетации у льна происходит закладка и формирование куста. Цветение наступает в первый год вегетации (июль), продолжительность цветения – 60 суток. Основная окраска верхней стороны лепестков *RHSColourChart* (цветовая шкала *RHS101BBLUEGROUP*), ярко-голубая. На второй год вегетации показатели таких признаков как высота, диаметр куста, число декоративных побегов, число цветков на растении – увеличиваются. В этот период заканчивается этап формирования куста. В третий год вегетации увеличивается высота куста, диаметр куста, число декоративных побегов в пределах 20%, диаметр цветка увеличивается незначительно (рис.2).

Голубая окраска цветка у льна многолетнего обусловлена наличием антоцианов. Антоцианы – окрашенные растительные гликозиды, относящиеся к флавоноидам. Антоцианы, присущие у льна в большом количестве находятся в соцветиях (лепестках).

Таблица. Изменчивость основных декоративных признаков у льна многолетнего (*Linum perenne* L.) (2020-2022 годы)  
Table. Variability of the main decorative features (*Linum perenne* L.) (2020-2022)

Год вегетации	Признаки							
	высота растения, см		диаметр куста, см		число декоративных побегов, шт.		диаметр цветка, см	
	X±Sx	V, %	X±Sx	V, %	X±Sx	V, %	X±Sx	V, %
1 год вегетации, 2020	40,9±7,7	18,8	40,1±3,2	7,9	23,4±5,4	7,3	2,2±0,2	8,7
2 год вегетации, 2021	55,1±4,3	7,8	56±3,4	6,1	47,1±4,3	9,1	2,7±0,21	7,6
3 год вегетации, 2022	75,5±4,1	5,4	75,4±3,7	4,8	72±5,5	7,6	2,9±0,08	2,7
Контроль (селекционный отбор) 2 год вегетации	45±9,2	16,6	50,4±8,9	17,6	31,6±6,7	21,2	2,3±0,14	6,1



**Рис. 1. Лен многолетний Блюз**  
**Fig. 1. *Linum perenne*, variety Blues**



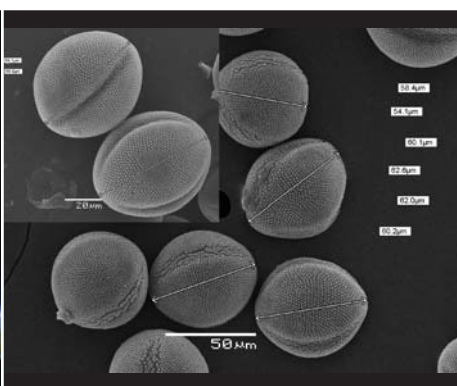
**Рис. 2. Цветок льна многолетнего**  
**Fig. 2. The flower of *Linum perenne***



**Рис. 3. Соцветие льна многолетнего**  
**Fig. 3. The Inflorescence of *Linum perenne***



**Рис. 4. Внутреннее строение цветка льна многолетнего (тычинки, пестик, чашелистики)**  
**Fig. 4. The internal structure of a flower of *Linum perenne***



**Рис. 5. Пыльцевые зерна льна многолетнего**  
**Fig. 5. Pollen grains of *Linum perenne***



**Рис. 6. Семена льна многолетнего**  
**Fig. 6. Seeds of *Linum perenne***

стки венчика). Голубая окраска цветка обусловлена содержанием антоцианов – М (мальвидин) и Х (хирзутидин) гликозидов [15].

#### Морфологические и биологические признаки сортаобразца

Высота растения в период массового цветения – 55-75 см, диаметр – 60-75 см. Тип куста полураскидистый, облиственность сильная, окраска листьев зеленая, листья гладкие. Корневая система мочковатая. Среднее число соцветий на одно растение составляет в 1 год – 150 шт., во 2 год – 300 шт., в 3 год – 450 шт. Соцветия расположены на поверхности куста. Форма соцветий щитковидная метелка (рис.3). Форма цветка актиноморфная, окраска голубая. Размер цветка – 2,5х2,5 см, состоящий из 5 лепестков, 5 чашелистиков, 5 больших развитых тычинок и 5 маленьких пестиков (рис.4). Аромат цветков слабый. Пыльцевые зерна у льна крупные, хорошего качества. Пыльцевое зерно прорастает лишь одной пыльцевой трубкой. Пыльцевое зерно состоит из внутренней тонкой оболочки – интины и внешней более толстой и плотной – экзины. Тип пыльцевых зерен однобороздчатый, форма округлая, размер 50-60 микрометров. Размер пыльцевых зерен обеспечивает их свободный перенос ветром (рис.5) [16], [17].

Проведенные нами исследования показали, что начало цветения у льна многолетнего 01.06, массовое цветение 10.06, конец 01.08. Продолжительность цветения, у одного цветка двое-трое суток. Масса 1000 семян – 1,6 г, окраска

семян темно-коричневая, форма яйцевидная (рис. 6). В 1 г содержится до 760 семян. Проведенная оценка сорта, показала, что семенная продуктивность составляет от 5,5 до 6 г семян с растения.

После сбора семян у льна многолетнего срезается надземная часть растения до прикорневой розетки. Выращивать лен многолетний на одном месте целесообразно в течение четырех - пяти лет. В дальнейшем он теряет свою декоративность и посадки рекомендуется обновлять.

Растение достаточно засухоустойчиво, но при отсутствии влаги его необходимо поливать, совмещая с подкормками, весенняя подкормка (фаза отрастания) азотными удобрениями, перед цветением комплексным удобрением. Удаление сорняков и периодическое рыхление почвы. Сорт зимостоек. Растения хорошо развиваются в климатических условиях Нечерноземья. Рекомендуемое расстояние при групповой посадке в грунт – 30х30 см.

Болезнями и вредителями поражается редко. Но при неправильном уходе и чрезмерном увлажнении грунта есть опасность появления на листьях антракноза, фузариоза, побурение стеблей и листьев. Из вредителей очень редко встречаются льняная блошка, совка-гамма, льняная плодоярка и льняная долгоносик.

#### Заключение

При создании долговременных цветников широко используются многолетники, обладающие эко-

логической пластичностью, продолжительным декоративным эффектом, к тому же их культивирование является менее трудоемким, чем однолетних видов. В результате многократных селекционных отборов из иностранного сорта, выведен образец льна многолетнего Л-22, который под названием «Блюз» планируется передать в ГСИ. Данный сорто-образец по декоративным признакам, превосходит исходную форму, взятую за стандарт. Он рекомендован к использованию в декоративных целях, иде-

ально подходит для украшения садовых дорожек и цветочных стенок. Используется для оформления клумб, миксбордеров. Можно использовать в срезке. В период цветения смотрится очень эффектно из-за ярко-голубой окраски цветков.

Основные достоинства сорта – стойкость окраски цветков при выгорании на солнце, устойчивость к болезням и вредителям, высокая семенная продуктивность, большое количество цветков на растении.

#### Об авторах:

**Лариса Михайловна Шило** – кандидат с.-х. наук, с.н.с. лаб. зеленых, пряно-вкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0001-5857-3555>, автор для переписки, [shilo@yandex.ru](mailto:shilo@yandex.ru)

**Леся Владимировна Беспалько** – кандидат с.-х. наук, с.н.с. лаб. зеленых, пряно-вкусовых и цветочных культур, [lesa0501@mail.ru](mailto:lesa0501@mail.ru)

#### About the Authors:

**Larisa M. Shilo** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of Laboratory Breeding And Seed Green and Spicy Plants, <https://orcid.org/0000-0001-5857-3555>, Correspondence Author, [shilo@yandex.ru](mailto:shilo@yandex.ru)

**Lesya V. Bepalko** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of Laboratory Breeding And Seed Green and Spicy Plants, [lesa0501@mail.ru](mailto:lesa0501@mail.ru)

#### • Литература

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Лен\\_многолетний](https://ru.wikipedia.org/wiki/Лен_многолетний)
2. Рандушка Д., Шомшак Л., Габарова И. Цветовой атлас растений. Пер. со словац. Рулина Е., Рябенко В. Братислава: Обзор, 1990. 411 с. (Картинки природы). ISBN 80-215-0068-9
3. Биологическая энциклопедия. Семейство льновые (linaceae).
4. Хессайон Д.Г. Все об альпинарии и водоеме в саду. М., 1999. С.34-35.
5. Аксенова Е.С., Аксенова Н.А. Энциклопедия природы России. Декоративные растения. Том 1. М.:1997. 608 с.
6. Кудрявец Д.Б., Петренко Н.А. Атлас декоративных растений. Однолетники, двулетники, многолетники семенного размножения. М.: КРОН-ПРЕСС. 1996. 127 с.
7. [https://wiki-dacha.ru/lyon-posadka-i-uhod/Linum\\_perenne](https://wiki-dacha.ru/lyon-posadka-i-uhod/Linum_perenne).
8. Разделова С.Ю. Все о лекарственных растениях на ваших грядках. СПб.: ООО «СЗКЭО», 2010. С.178-224. ISBN 978-5-9603-0124-4.
9. Лунина Н.М. Многолетние цветы. М.: Издательский Дом МСП, 2006. С.116-117.
10. Tork D.G., Anderson N.O., Wyse D.L., Betts K.J. Perennial Flax: A Potential Cut Flower Crop. *HortScience*. 2022;57(2):221-230. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16098-21>
11. Туленкова А.Г. Селекция и семеноводство овощных культур. *Цветоводство*. М. - 1970. С.110-111.
12. Дрягина И.В., Бурлуцкая Л.В., Кудрявец Д.Б., Фоменко Н.Н., Левко Г.Д. Методические рекомендации по элитному семеноводству цветочных культур – горошка душистого (*Lathyrus odoratus* L.), настурции (*Tropaeolum majus* L.), василька синего (*Centaurea cyanus* L.), фиалки Витрокка (*Viola Wittrokiana* Gerns.), маргаритки (*Bellis perennis* L.), незабудки (*Myosotis silvatica* Hoffm.), люпина многолистного (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) в условиях Нечерноземной зоны России. М., 2005. 73 с.
13. Кудрявец Д.Б., Петренко Н.А. Как вырастить цветы. М.: Просвещение, 1993. С.7-24.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2011. 351 с.
15. Танчев С.С. Антоцианы в плодах и овощах. М., 1980. С.243.
16. Дрягина И.В., Кудрявец Д.Б. Селекция и семеноводство цветочных культур. М., 1986. С.7-23.
17. Новиков В. С., Губанов И. А. Популярный атлас-определитель. Дикорастущие растения. М.: Дрофа, 2008. 415 с.

#### • References

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Long-term\\_flax](https://ru.wikipedia.org/wiki/Long-term_flax)
2. Randushka D., Shomshak L., Gabarova I. Color atlas of plants. Bratislava: Review, 1990. P.314-315. (Pictures of nature).
3. Biological encyclopedia. Flax family (*Linaceae*). (In Russ.)
4. Hession D.G. All about the rock garden and the reservoir in the garden. Moscow, 1999. P.34-35.
5. Aksenova E.S., Aksenova N.A. Encyclopedia of the nature of Russia. Decorative plants. Volume 1. M.: 1997. 608 p. (In Russ.)
6. Kudryavets D.B., Petrenko N.A. Atlas of ornamental plants. Annuals, biennials, perennials seed propagation. M.: KRON-PRESS. 1996. 127 p. (In Russ.)
7. [https://wiki-dacha.ru/lyon-posadka-i-uhod/Linum\\_perenne](https://wiki-dacha.ru/lyon-posadka-i-uhod/Linum_perenne).
8. All about medicinal plants in your beds / Ed. Razdelova S.Yu.. St. Petersburg: LLC "SZKEO", 2010. P.178-224. ISBN 978-5-9603-0124-4. (In Russ.)
9. Lunina N.M. Perennial flowers. M., 2006. P.116-117. (In Russ.)
10. Tork D.G., Anderson N.O., Wyse D.L., Betts K.J. Perennial Flax: A Potential Cut Flower Crop. *HortScience*. 2022;57(2):221-230. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16098-21>
11. Tulenkova A.G. Selection and seed production of vegetable crops. *Floriculture*. M. 1970. P.110-111. (In Russ.)
12. Dryagina I.V., Burlutskaya L.V., Kudryavets D.B., Fomenko N.N., Levko G.D. Guidelines for the elite seed production of flower crops - sweet pea (*Lathyrus odoratus* L.), nasturtium (*Tropaeolum majus* L.), blue cornflower (*Centaurea cyanus* L.), Vitrokk violets (*Viola Wittrokiana* Gerns.), daisies (*Bellis perennis* L.), forget-me-nots (*Myosotis silvatica* Hoffm.), multi-leaved lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) in the conditions of the Nonchernozem zone of Russia. M. 2005. 73 p. (In Russ.)
13. Kudryavets D.B., Petrenko N.A. How to grow flowers. M.: Enlightenment, 1993. P.7-24. (In Russ.)
14. Dpspekhov B.A. Methods of field experience: (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2011. 351 p. (In Russ.)
15. Tanchev S.S. Anthocyanins in fruits and vegetables. Moscow. 1980. P.243.
16. Dryagina I.V., Kudryavets D.B. Selection and seed production of flower crops. M.-1986. P.7-23. (In Russ.)
17. Novikov V.S., Gubanov I.A. Popular atlas-determinant. Wild plants. stereotype. M.: Bustard, 2008. 415 p. (In Russ.)



Краткое сообщение / Short communication

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-36-40>  
УДК 635.611-02:631.526.323(470.45)

М.С. Корнилова\*, Н.Б. Рябчикова

Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный центр овощеводства" 404067, Россия, Волгоградская обл., Быковский район, п. Зелёный, ул. Сиреневая, д. 11

\*Автор для переписки: BBSOS@yandex.ru

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также в анализе экспериментальных данных и написании статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Корнилова М.С., Рябчикова Н.Б. Оценка сортов образцов дыни по ценным хозяйственным признакам в условиях Волгоградского Заволжья. Овощи России. 2023;(3):36-40. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-36-40>

**Поступила в редакцию:** 24.04.2023

**Принята к печати:** 29.05.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Maria S. Kornilova\*, Natalya B. Ryabchikova

Bikovskaya cucurbits breeding experimental station – branch of the Federal state budgetary scientific institution "Federal scientific vegetable center" (BCBES – branch of the FSBSI FSVC) 11, Sirenevaya str., p. Zeleny, Bykovsky district, Volgograd region, 404067, Russia

\*Correspondence Author: BBSOS@yandex.ru

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors contributed to the planning and setting up the experiment, as well as in the analysis of experimental data and writing of the article.

**For citations:** Kornilova M.S., Ryabchikova N.B. Evaluation of melon varieties by valuable economic characteristics in the conditions of the Volgograd Volga Region. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(3):36-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-36-40>

**Received:** 27.02.2023

**Accepted for publication:** 14.03.2023

**Published:** 09.06.2023

# Оценка сортов образцов дыни по ценным хозяйственным признакам в условиях Волгоградского Заволжья



## Резюме

**Актуальность.** Основным направлением селекции дыни Быковской БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО является создание сортов с ценными хозяйственными признаками, особенно с устойчивостью к био- и абио- факторам среды. Для удовлетворения потребностей товаропроизводителей и населения необходимы сорта не только с высокой урожайностью, но и привлекательным внешним видом, хорошими вкусовыми качествами. Очень важны: насыщенная окраска фона коры, пропорциональная форма плода и сладкая сочная мякоть.

**Материалы и методы.** Исследования проводили в 2020–2022 годах на Быковской БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО. Объект исследований – сорта образцы дыни, созданные за последние пять лет. В качестве стандарта использовался сорт Осень. Основным методом селекционной работы с дыней является межсортная гибридизация с последующим индивидуальным отбором.

**Результаты.** Дана оценка сорта образцам дыни по ценным хозяйственным признакам, были выделены 6 лучших сортов образцов в сравнении со стандартом. По урожайности выделились два сорта образца (16,3 т/га и 17,3 т/га); по содержанию сухого вещества два сорта образца (19%); по крупноплодности 1 сорта образец (6,0 кг); по яркой окраске фона коры один образец (ярко жёлтая).

**Ключевые слова:** дыня, сорта образцы, оценка, урожайность, сухое вещество, крупноплодность, окраска коры

# Evaluation of melon varieties by valuable economic characteristics in the conditions of the Volgograd Volga Region

## Abstract

**Relevance.** The main direction of breeding melon Bikovskaya cucurbits breeding experimental station – branch of the FSBSI FSVC is the creation of varieties with valuable economic characteristics, especially with resistance to bio- and abiotic environmental factors. To meet the needs of commodity producers and the population, varieties are needed not only with high yields, but also attractive appearance, good taste qualities. Very important: the rich color of the bark background, the proportional shape of the fruit and the sweet juicy pulp.

**Materials and methods.** The research was carried out in 2020–2022 at the Bikovskaya cucurbits breeding experimental station – branch of the FSBSI FSVC. The object of research is melon varieties created over the past five years. The Osen variety was used as a standard. The main method of selection work with melon is intervarietal hybridization followed by individual selection.

**Results.** Melon varieties were evaluated according to valuable economic characteristics, 6 best varieties were identified in comparison with the standard. In terms of yield, 2 varieties were distinguished (16.3 t/ha and 17.3 t/ha); in terms of dry matter content, 2 varieties (19%); in terms of large-fruited 1 variety (6.0 kg); in terms of the bright color of the bark background, 1 sample (bright yellow).

**Keywords:** melon, cultivars, evaluation, yield, dry matter, large fruit, bark coloring

## Введение

Основные вопросы, на которых сегодня сосредоточена селекция – это полноценное питание людей и их здоровье. Значительный процент среди сельскохозяйственных культур в России составляют представители семейства Тыквенные – Cucurbitaceae [1].

Бахчеводство – общепринятая сфера сельского хозяйства для юга Российской Федерации. Каждый год площадь, занимаемая бахчевыми культурами в РФ, представляет более 150 тыс. га [2].

На обширной территории России бахчеводство зародилось давным-давно. Предполагают, что в VII-VIII вв. бахчеводство начало развиваться в районе Астрахани, перенесённое турко-татарскими народами. Промышленное бахчеводство зародилось у нас в стране во второй половине 19 века. Базы были заложены в селе Быково сначала 70-х годов XIX в.

Обобщенные данные показывают, что в 2020 году в Иране, Китае, Испании и США были зарегистрированы серьезные фузариозные заболевания дыни, вызвавшие потери урожая до 80% [3]. Глобальные потери от настоящей мучнистой росы составляют от 20 до 100% в зависимости от почвенно-климатических условий, вирулентности и агрессивности расы патогена, а также восприимчивости культур и сортов [4].

Главнейшими проблемами и селекционными направлениями по овощным и бахчевым культурам остаются следующие: устойчивость к болезням и вредителям, скороспелость и холодостойкость, качество продукции, что принципиально важно, принимая во внимание требования рынка. Беря во внимание великое разнообразие условий произрастания, решающее значение в обеспечении устойчивой урожайности и качества продукции имеет также увеличение засухо-, жаро-, морозостойкости сортов [5].

Одним из главных причин увеличения урожайности и роста количества производимой продукции в сельском хозяйстве является развитие селекции и семеноводства. При долгосрочном использовании семян районированных сортов с высокими качественными сортовыми и посевными показателями, урожайность возделываемых культур увеличивается в среднем до двадцати пяти процентов [6].

По рекомендациям Министерства здравоохранения РФ, норма употребления бахчевых культур обязана составлять 15 кг в год на человека, в 2020 году этот показатель составил 12,1 кг.

Дыня одна из древних бахчевых культур, обширно распространенных в почти всех странах мира. Высоко ценится за свои питательные, диетические и лечебные характеристики. В плодах дыни содержание сахаров превышает 15%, соответствующий минерально-витаминный комплекс включает витамины А, С, РР, В12, магний, фосфор, кальций, медь, железо, кобальт, фолиевую кислоту. Сок дыни благотворно оказывает влияние при депрессии, успокаивает нервную систему [7].

Основой для увеличения продуктивности посевов дыни, получения высокого стабильного урожая является выбор сорта, соответствующий его потребительскому спросу и который, в отличие от гибридов, обладает высокой пластичностью, даёт приемлемый урожай, не зависимо от погод-

ных условий, имеет устойчивые морфологические и биологические признаки. Долевое участие сортов дыни в посевных площадях в РФ составляет до 60-70% [8].

Из-за селекции происходит расширение зон возделывания данной культуры, потому что новые сорта дыни более приспособлены к возделыванию в разных регионах России, могут использоваться для выращивания, как на приусадебных участках, так и в промышленном бахчеводстве для удовлетворения спроса потребителя на любой вкус [9].

Сорта дыни отличаются по форме плода, вкусовым качествам, содержанию сахаров, консистенции, толщине и расцветке мякоти [10].

Толщина мякоти плода разнообразна и зависит от сорта. Данный признак имеет существенное значение для потребителей продукции, потому что положительно коррелирует с выходом съедобной доли плодов дыни и размером семенного гнезда: чем толще мякоть, тем меньше семенное гнездо и напротив [11].

## Материалы и методы

Исследования проводили с использованием существующих методик, рекомендаций, стандартов [12, 13, 14, 15, 16, 17] и современных приборов: плазменного фотометра, рефрактометра, микроскопа и др.

Основным методом селекционной работы с дыней является межсортовая гибридизация с последующим индивидуальным отбором.

## Место проведения исследований

Научные исследования проводили в 2020-2022 годах на Быковской бахчевой селекционной опытной станции – филиале ФГБНУ ФНЦО в условиях Волгоградского Заволжья. Агротехника общепринятая для выращивания бахчевых культур. Посев проведён вручную. Площадь питания одного растения 2 кв. м. Во время вегетации были проведены три междурядные обработки и три ручные прополки в рядах. Уборку дыни проводили по мере созревания плодов. Своевременная обработка растений ядами при цветении, избавили плоды от дынной мухи.

## Метеорологические условия проведения исследований

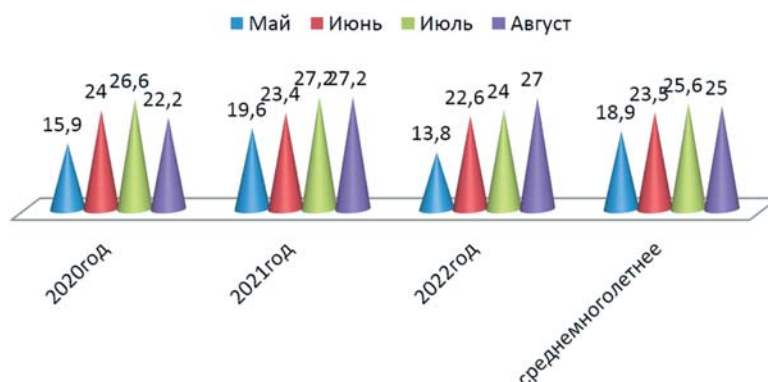
Метеорологические условия вегетационного периода 2020 - 2022 годов складывались следующим образом.

## Осадки, мм, 2020-2022 годы



**Рис. 1. Количество осадков за вегетационный период, мм, 2020-2022 годы**  
**Fig. 1. The amount of precipitation during the growing season, mm, 2020-2022**

## Температура , °C, 2020-2022 годы



**Рис. 2. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период, °C за 2020 -2022 годы**  
**Fig. 2. Average monthly air temperature for the growing season, °C, 2020-2022**

Погодные условия в течение трехлетнего периода исследований были неординарными. (рис.1, рис. 2). Наиболее благоприятные погодные условия сложились в 2021 году, когда обильные осадки в мае способствовали ранним и быстрым всходам, что в последствии отразилось на урожайности. В 2022 году ограниченные весенние осадки задержали рост и развитие растений.

### Результаты исследований

В селекционном питомнике в 2020-2022 годах проводили отбор из популяций исходного материала наиболее ценных растений, выровненных по хозяйственным признакам.

При отборах селекционные семьи оценивали по биологическим признакам, урожайности, качеству урожая, устойчивости к болезням, срокам созревания, противо-

стоянию к растрескиванию и солнечным ожогам. Изучалось 11 сортообразцов. За стандарт взят сорт Осень.

В результате проведенных трёхлетних исследований все изучаемые образцы имели хорошие показатели (табл. 1, 2). Но самая высокая и стабильная урожайность наблюдалась у сортообразцов 518 (в среднем 16, 3 т/га) и 714 (17,3 т/га), а сортообразец 714 выделялся еще и по крупноплодности, вес крупных плодов составлял 6,0 кг. По сухому веществу выделились сортообразец 655 и сортообразец 378 в индивидуальном отобранном плодах его содержание достигает 19,0%, также данные образцы имеют сочную тающую сладкую мякоть. Самую яркую насыщенно жёлтую окраску фона коры в сравнении со всеми изученными сортообразцами имели сортообразец 688 и сортообразец 378.

**Таблица 1. Лучшие по основным хозяйственным признакам сортообразцы дыни в среднем за 3 года исследований**  
**Table 1. Melon varieties are the best in terms of the main economic characteristics on average for 3 years of research**

№ п/п	Наименование образцов	Срок созревания, сут.	Средняя урожайность, т/га	Масса отобранных плодов, кг
1	Осень - стандарт	81	15,0	2,5 -3,0
2	Сортообразец 486	88	15,7	1,0 – 3,4
3	Сортообразец 518	85	16,3	2,0 – 5,0
4	Сортообразец 655	75	15,5	1,6 – 3,2
5	Сортообразец 688	68	15,0	2,2 – 5,0
6	Сортообразец 585	82	13,7	2,2 – 3,6
7	Сортообразец 593	85	14,5	2,8 – 5,0
8	Сортообразец 706	85	15,0	2,0 – 5,0
9	Сортообразец 595	88	15,0	2,0 – 4,4
10	Сортообразец 378	75	14,6	2,0 – 3,4
11	Сортообразец 565	70	13,7	2,0 – 3,0
12	Сортообразец 714	68	17,3	3,0 – 6,0
	НСР <sub>05</sub>		0,35	



Таблица 2. Характеристика плода лучших семей селекционного питомника, 2020-2022 годы  
Table 2. Characteristics of the fruit of the best breeding nursery families, 2020-2022

№ п/п	Наименование образца	Форма плода	Окраска коры	Поверхность плода	Сетка	Консистенция мякоти	Окраска мякоти	Сухое вещество, %	Плацент, шт.	Цвет семян
1	Осень - стандарт	шаровидная	жёлто-зелёная	слабосегментированная	сплошная	картофельная	бело-зелёная	15,0-18,0	3	жёлтые
2	Сортообразец 486	шаровидная	грязно-жёлтая	слабосегментированная	сплошная	картофельная	белая	13,0-17,0	3	слоновая кость
3	Сортообразец 518	овальная	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	средне плотная	белая	14,0-16,0	3	слоновая кость
4	Сортообразец 655	шаровидная	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	средне плотная	белая	14,0-19,0	3	белые
5	Сортообразец 688	шаровидная	ярко-жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	белая	13,0-17,0	3	слоновая кость
6	Сортообразец 585	коротко овальная	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	белая	13,0-18,0	3	белые
7	Сортообразец 593	округлая	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	белая	13,0-16,0	3	слоновая кость
8	Сортообразец 706	округлая	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	белая	13,0-18,0	3	белые
9	Сортообразец 595	коротко - овальная	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	белая	13,0-17,0	3	слоновая кость
10	Сортообразец 378	округлая	ярко-жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	белая	14,0-19,0	3	слоновая кость
11	Сортообразец 565	коротко-овальная	жёлтая	слабосегментированная	сплошная	среднеплотная	светло-зелёная	14,0-17,0	3	белая
12	Сортообразец 714	коротко-овальная	жёлтая	слабосегментированная	сплошная, элементы сетки	среднеплотная	белая	14,0-18,0	3	слоновая кость

### Характеристики перспективных сортообразцов

Сортообразец 518 – среднего срока созревания. Плоды овальной формы. Окраска фона плода жёлтая. Поверхность сетка сплошная, элементы сетки, слабосегментированная. Мякоть белая, консистенция среднеплотная. Масса плодов – 2,0–5,0 кг. Содержание сухого вещества в соке плода – 14,0–16,0%. Сортообразец выделился высокой урожайностью – 16,3 т/га.

Фото Сортообразец 655 – среднего срока созревания. Плоды имеют шаровидную форму. Окраска фона плода жёлтая, без рисунка. Поверхность слабосегментированная, сетка сплошная. Мякоть белая, консистенция среднеплотная. Масса отобранных плодов – 1,6–3,2 кг. Содержание сухого вещества в соке плода – 14,0–19,0%. Урожайность – 15,5 т/га. Образец выделился хорошими вкусовыми качествами, привлекательный внешний вид.

Сортообразец 378 – среднего срока созревания. Плоды имеют шаровидную форму. Окраска фона коры ярко жёлтая, рисунка нет. Поверхность слабосегментированная, сетка сплошная, несвязанная. Мякоть белая, консистенция картофельная. Масса отобранных плодов – 2,0–3,4 кг. Содержание сухого вещества в соке плодов – 14,0–19,0%. Урожайность – 14,6 т/га. Образец имеет не только насыщенно яркую окраску фона коры и высокое содержание сухого вещества, но и хорошие вкусовые качества.

Фото Сортообразец 714 – раннего срока созревания. Плоды имеют коротко овальную форму. Окраска фона коры ярко жёлтая, рисунка нет. Поверхность слабосегментированная, от элементов сетки до сплошной. Мякоть белая, консистенция среднеплотная, хрустящая. Масса отобран-

ных плодов – 3,0–6,0 кг. Содержание сухого вещества – 13,0–18,0%. Урожайность – 17,3. Сортообразец выделился крупноплодностью и хорошей транспортабельностью. Плоды устойчивы растрескиванию (при перепадах температур) и солнечным ожогам.

Фото Сортообразец 688 – раннего срока созревания. Плоды имеют шаровидную форму. Окраска фона коры ярко-жёлтая, рисунка нет. Поверхность слабосегментированная, сетка сплошная. Мякоть белая, консистенция среднеплотная, нежная, сочная. Масса отобранных плодов – 2,0–5,0 кг. Содержание сухого вещества – 13,0–17,0%. Урожайность – 15,0 т/га. Сортообразец выделился привлекательным внешним видом с яркой окраской фона коры и главная особенность очень маленькая семенная камера, толстая сочная мякоть, что очень ценится товаропроизводителями.

### Заключение

Сравнительная оценка новых сортообразцов дыни показала достаточно высокий потенциал селекционной работы. Использование новых перспективных сортообразцов дыни в товарном бахчеводстве позволит значительно увеличить период потребления дыни в свежем виде, повысить эффективность отрасли и минимизировать затраты на производство бахчевой продукции. На основании проведенных исследований анализ сортообразцов показал их перспективность для использования в создании новых сортов дыни, урожайных, устойчивых к био- и абиотическим факторам среды, которые позволят расширить сортимент данной культуры и повысить её эффективность.

## Об авторах:

**Мария Сергеевна Корнилова** – научный сотрудник отдела селекции,  
<https://orcid.org/0000-0003-2030-7838>,  
 автор для переписки, BBSOS@yandex.ru

**Наталья Борисовна Рябчикова** – научный сотрудник  
 отдела агротехники и первичного семеноводства,  
<https://orcid.org/0000-0002-2428-1391>

## About the Authors:

**Maria S. Kornilova** – Researcher of the Selection Department,  
<https://orcid.org/0000-0003-2030-7838>,  
 Correspondence Author, BBSOS@yandex.ru

**Natalya B. Ryabchikova** – Researcher of the Department of Agricultural  
 Technology and Primary Seed Production,  
<https://orcid.org/0000-0002-2428-1391>

## • Литература

1. Шмыкова Н.А., Химич Г.А., Коротцева И.Б., Домблидес Е.А. Перспективы получения удвоенных гаплоидов растений семейства *Cucurbitaceae*. *Овощи России*. 2015;(3-4):28-31. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-28-31>. EDN UGKWUL.
2. Литвинов С.С., Быковский Ю.А. Бахчеводство: стратегия и перспективы развития. *Картофель и овощи*. 2013;(5):2-5. EDN QIWTZJ.
3. El – Naggar M.A., El – Deeb M.H., Seham S. Ragap. Applie approach for controlling powderi mildew disease of cucumber under plastic hauses. *Pak. J. Agril. Eng. Vet. Sci.* 2012;(28):54-64.
4. Zink F.W., Gubler W.D. Inheritance of resistance in muskmelon to Fusarium wilt. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 2021;(10):600-604.
5. Жученко А.А. Роль и перспективы адаптивной системы селекции, сортоиспытания и семеноводства. *Материалы 2-й научно-практической конференции*. М., ВНИИССОК, 2010. С. 12-66.
6. Монахос Г.Ф. Селекция и первичное семеноводство: состояние и перспективы. *Картофель и овощи*. 2017;(1). <http://potatoveg.ru/glavnaya-tema/selekcija-i-pervichnoe-semenovodstvo-sostoyanie-i-perspektivy.html>
7. Борисов В.А., Литвинов С.С., Романова А.В. Качество и лёжкость овощей. М., 2003. 452 с.
8. Быковский Ю.А., Емельянова Л.В., Никулина Т.М. Новые и перспективные сорта бахчевых культур. *Картофель и овощи*. 2016;(8):37-38. EDN WISBWD.
9. Малуева С.В., Никулина Т.М., Курунина Д.П., Корнилова М.С.. Основные направления и результаты селекционной работы в бахчеводстве. Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий. Волгоград. 2018. С. 233-238.
10. Емельянова Л.В., Варивода О.П., Вербитская О.Г. Селекция дыни на показатели качества и комплексную устойчивость к заболеваниям. *Селекция и семеноводство овощных культур*. 2015;(46):249-253. EDN UIXXWD.
11. Байбакова Н.Г., Варивода Е.А., Колебошина Т.Г. Характеристика нового сортооб-разца дыни селекции Быковской опытной станции. *Овощи России*. 2019;(5):42-45. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-5-42-45>. EDN CLOZGU.
12. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М: Россельхозакадемия, 2011.
13. Фурса Т.Б. Селекция бахчевых культур (Методические указания). Л.1988.
14. Белик В.Ф. Бондаренко Г.Л. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве. М., 1979.
15. Дютин К.Е. Методические указания по селекции бахчевых культур. М.1979.
16. Дютин К.Е. Лудилов В.А., Быковский Ю.А. Аprobация бахчевых культур (справочное пособие). М., 2007.
17. Прохоров И.А., Крючков А.В., Комиссаров В.А. Селекция и семеноводство овощных культур. М., «Колос», 1981.

## • References

1. Shmykova N.A., Khimich G.A., Korotseva I.B., Domblides E.A. Prospective of development of doubled haploid plants of *Cucurbitaceae* family. *Vegetable crops of Russia*. 2015;(3-4):28-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-28-31>. EDN UGKWUL.
2. Litvinov S.S., Bykovskiy Yu.A. Watermelon growing: strategy and prospects of development. *Potato and vegetables*. 2013;(5):2-5. (In Russ.) EDN QIWTZJ.
3. El – Naggar M.A., El – Deeb M.H., Seham S. Ragap. Applie approach for controlling powderi mildew disease of cucumber under plastic hauses. *Pak. J. Agril. Eng. Vet. Sci.* 2012;(28):54-64.
4. Zink F.W., Gubler W.D. Inheritance of resistance in muskmelon to Fusarium wilt. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 2021;(10):600-604.
5. Zhuchenko A.A. The role and prospects of the adaptive system of breeding, variety testing and seed production. *Materials of the 2nd scientific and practical conference*. M., VNISSOK, 2010. pp. 12-66. (In Russ.)
6. Monakhos G.F. Selection and primary seed production: status and prospects. *Potatoes and vegetables*. 2017;(2). (In Russ.) <http://potatoveg.ru/glavnaya-tema/selekcija-i-pervichnoe-semenovodstvo-sostoyanie-i-perspektivy.html>
7. Borisov V.A., Litvinov S.S., Romanova A.V. The quality and keeping quality of vegetables. M., 2003. 452 p. (In Russ.)
8. Bykovsky Yu.A., Emelyanova L.V., Nikulina T.M. New and promising varieties of melon crops. *Potato and vegetables*. 2016;(8):37-38. (In Russ.) EDN WISBWD.
9. Malueva S.V., Nikulina T.M., Kurunina D.P., Kornilova M.S. Main directions and results of selection work in melon breeding. *World scientific and technological trends in the socio-economic development of agriculture and rural areas*. Volgograd. 2018. pp. 233-238. (In Russ.)
10. Emelyanova L.V., Varivoda O.P., Verbitskaya O.G. Breeding of melon for quality and complex disease resistance. *Breeding and seed production of vegetable crops*. 2015;(46):249-253. (In Russ.) EDN UIXXWD.
11. Baibakova N.G., Varivoda E.A., Kaleboshina T.G. Characteristics of new population of melon breeding Bikovskaya experimental station. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(5):42-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-5-42-45>. EDN CLOZGU.
12. Litvinov S.S. Methodology of field experience in vegetable growing. M: Russian Agricultural Academy, 2011. (In Russ.)
13. Fursa T.B. Selection of melon crops (Guidelines). L., 1988. (In Russ.)
14. Belik V.F. Bondarenko G.L. Methodology of field experience in vegetable growing and melon growing. M., 1979. (In Russ.)
15. Dyutin K.E. Methodological guidelines for the selection of melon crops. M., 1979. (In Russ.)
16. Dyutin K.E. Ludilov V.A., Bykovsky Yu.A. Approbation of melon crops (reference manual). M., 2007. (In Russ.)
17. Prokhorov I.A., Kryuchkov A.V., Komissarov V.A. Selection and seed production of vegetable crops. M., "Kolos", 1981. (In Russ.)

## Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-41-49>  
УДК 635.1/.7:551.583

А.Ф. Бухаров\*,  
А.Ю. Федосов,  
М.И. Иванова

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

\*Адрес для переписки: afb56@mail.ru

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю., Иванова М.И. Воздействие на овощеводство изменений климата и способы их преодоления. Овощи России. 2023;(3):41-49.  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-41-49>

**Поступила в редакцию:** 03.05.2023

**Принята к печати:** 16.05.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Alexander F. Bukharov\*,  
Alexander Yu. Fedosov,  
Maria I. Ivanova

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

\*Correspondence: afb56@mail.ru

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors confirm they have contributed to the intellectual content of this paper.

**For citations:** Bukharov A.F., Fedosov A.Yu., Ivanova M.I. Impacts of climate change on vegetable production and ways to overcome them. Vegetable crops of Russia. 2023;(3):41-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-41-49>

**Received:** 03.05.2023

**Accepted for publication:** 16.05.2023

**Published:** 09.06.2023

# Воздействие на овощеводство изменений климата и способы их преодоления



## Резюме

В обеспечении продовольственной безопасности и питания овощи играют ключевую роль, поскольку продовольственная система переходит от количества продовольствия к качеству рациона и пользе для здоровья. Одной из основных причин низкого производства и снижения средней урожайности большинства овощных культур является изменение климата. Важными ограничивающими факторами в поддержании и повышении урожайности овощных культур являются повышение температуры, снижение доступности воды для орошения, наводнения и засоление. В условиях меняющихся климатических условий неурожаи, снижение качества и рост проблем с вредителями и болезнями становятся обычными явлениями и делают производство овощей низкорентабельным. Поскольку многие физиологические процессы и активность ферментов зависят от температуры, они будут в значительной степени затронуты. Засуха и засоление являются двумя важными последствиями повышения температуры, ухудшающими урожайность овощных культур. Эти последствия изменения климата также влияют на появление вредителей и болезней, взаимодействие хозяина и патогена, распространение и экологию насекомых, время появления, миграцию в новые места и их способность к зимовке, что становится серьезным препятствием для выращивания овощных культур. Для смягчения неблагоприятного воздействия климатических изменений на продуктивность и качество овощных культур необходимо разработать рациональные стратегии адаптации. Акцент должен быть сделан на развитии производственных систем, повышающих эффективность использования воды, адаптированных к жарким и сухим условиям. Технологические приемы, такие как мульчирование растительными остатками и пластиковыми материалами, помогают сохранить влажность почвы. Чрезмерная влажность почвы из-за проливных дождей становится серьезной проблемой, которую можно решить, выращивая культуры на приподнятых грядках. Эффективным способом решения этих проблем является создание генотипов, устойчивых к высоким температурам, влаге, засолению и устойчивости к климатическим условиям, с помощью традиционных и нетрадиционных методов селекции, геномики, биотехнологии и др.

**Ключевые слова:** абиотические факторы; приспособление; изменение климата; производительность; овощные культуры

# Impacts of climate change on vegetable production and ways to overcome them

## Abstract

Vegetables play a key role in food security and nutrition as the food system shifts from food quantity to dietary quality and health benefits. One of the main reasons for the low production and declining average yields of most vegetable crops is climate change. Important limiting factors in maintaining and increasing vegetable crop yields are rising temperatures, reduced water availability for irrigation, flooding and salinity. Under changing climatic conditions, crop failures, declining quality and increasing pest and disease problems are becoming commonplace and making vegetable production unprofitable. Since many physiological processes and enzyme activity are temperature dependent, they will be greatly affected. Drought and salinity are two important effects of rising temperatures that reduce vegetable crop yields. These impacts of climate change also affect the emergence of pests and diseases, host-pathogen interactions, distribution and ecology of insects, timing of emergence, migration to new locations, and their ability to overwinter, all of which become a major barrier to vegetable production. To mitigate the adverse effects of climate change on the productivity and quality of vegetable crops, sound adaptation strategies need to be developed. Emphasis should be placed on the development of production systems that improve water efficiency and are adapted to hot and dry conditions. Technological practices, such as mulching with crop residues and plastic materials, help maintain soil moisture. Excessive soil moisture due to heavy rains becomes a serious problem that can be solved by growing crops in raised beds. An effective way to solve these problems is to create genotypes that are resistant to high temperatures, moisture, salinity and resistance to climatic conditions, using traditional and non-traditional breeding methods, genomics, biotechnology, etc.

**Keywords:** abiotic factors; fixture; changing of the climate; performance; vegetable crops



**Введение**

**Т**ермин «овощ» в самом широком смысле относится к любому виду растительной жизни или растительного продукта. В более узком смысле это относится к свежей съедобной части травянистого растения, употребляемой в сыром или приготовленном виде. Овощи являются богатым источником витаминов, углеводов, солей и белков. Они являются лучшими ресурсами для преодоления дефицита питательных микроэлементов и обеспечивают мелким фермерам гораздо более высокий доход и больше рабочих мест на гектар, чем основные сельскохозяйственные культуры. Увеличение производства и потребления овощей – это очевидный путь улучшения разнообразия и качества питания, особенно в регионах, в которых преобладают высококалорийные продукты с низким содержанием питательных микроэлементов. Однако овощные культуры, как правило, чувствительны к экстремальным условиям окружающей среды. Поэтому высокие температуры и ограниченная влажность почвы являются основными причинами низких урожаев, поскольку они сильно влияют на физиологические и биохимические процессы, снижая фотосинтетическую активность, изменяя метаболизм и ферментативную активность, эффективность опыления и завязывания плодов, вызывая термическое повреждение тканей, и т. д.

Изменение климата может быть трансформацией средних значений различных показателей, таких как температура, осадки, относительная влажность, состав атмосферных газов и других параметров в течение длительного периода и на большей географической территории. Это связано с любыми вновь появившимися и часто повторяющимися погодными явлениями, будь то из-за естественной изменчивости или из-за деятельности человека. Уязвимость и устойчивость любых биологических систем к изменению климата – это степень их восприимчивости, способности активно реагировать, выживать и размножаться при неблагоприятных последствиях изменения климата. Концепция риска сочетает в себе масштабы воздействия с вероятностью его возникновения, отражает неопределенность в основных процессах изменения климата, воздействий и адаптации.

Анализ модели изменения климатических параметров, таких как повышение температуры атмосферы, изменения характера осадков, избыточного УФ-излучения подтверждает более высокую вероятность и частоту возникновения в будущем экстремальных погодных явлений, таких как засуха и наводнения, создают серьезные угрозы для производства овощей. Овощные культуры очень чувствительны к климатическим капризам, и резкое повышение температуры, а также нерегулярные осадки на любой фазе могут повлиять на рост, цветение, опыление, развитие плодов и как следствие снизить урожайность и качество продукции [1].

Изменение погодных условий, приводящее к изменению климата, поставило под угрозу производительность сельского хозяйства из-за высоких и низких температурных режимов и повышенной изменчивости осадков [2]. Изменение климата и его изменчивость создают серьезные проблемы, влияющие на

производительность сельского хозяйства, в том числе овощных культур. Сокращение производства овощей, вероятно, будет вызвано коротким вегетационным периодом, что окажет негативное влияние на рост и развитие растений, особенно из-за терминального теплового стресса и снижения доступности воды. Проблема изменения и изменчивости климата породила еще большую неопределенность и риски, наложив ограничения на системы производства овощей. В первую очередь пострадает богарное земледелие из-за изменчивости осадков и сокращения дождливых дней [3].

Изменение климата может привести к росту цен на овощные культуры. Более того, изменение климата способствует распространению патогенов и появлению новых штаммов насекомых-вредителей, а также грибных, бактериальных и вирусных заболеваний [4]. Предстоящие задачи заключаются в том, чтобы обеспечить устойчивость и конкурентоспособность, достичь целевого производства для удовлетворения растущих потребностей в условиях сокращающихся земельных и водных ресурсов и угрозы изменения климата, что требует климатически оптимизированных вмешательств в области овощеводства, которые сильно зависят от местоположения и требуют больших знаний для улучшения производства в сложных условиях [5]. Таким образом, цель настоящей статьи состоит в том, чтобы рассмотреть влияние изменения отдельных (наиболее важных) климатических факторов на производство овощей и методы управления ими.

### **Влияние климатических изменений на производство овощей**

Овощные культуры, как и другие сельскохозяйственные культуры, чувствительны к изменчивости климата. Овощи, как правило, чувствительны к экстремальным условиям окружающей среды, и, таким образом, высокая температура является основной причиной низких урожаев и будет еще более усугубляться изменением климата. Повышение температуры, снижение доступности воды для орошения, затопление и засоление будут основными ограничивающими факторами в поддержании и повышении урожайности овощей. Глобальные климатические изменения, особенно неустойчивый характер осадков и непредсказуемые периоды высоких температур, снизят урожайность овощных культур. Факторы окружающей среды негативно влияют на урожайность томата [6]. Ухудшение погодных условий и изменения климата из-за повышения температуры, нерегулярных осадков, увеличения потребности в воде и роста заболеваемости должны повлиять на производство различных овощных культур. Осадки являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на урожайность. Степень обеспеченности водой сильно влияет на урожайность и качество овощей; засушливые условия резко снижают урожайность овощей, и томат, в частности, считается одной из овощных культур, наиболее чувствительных к избытку воды [2]. Некоторые из важных экологических стрессов, влияющих на производство овощных культур, будут рассмотрены ниже.

### Температура

Колебания среднесуточной максимальной и минимальной температуры являются основным следствием изменения климата, которое неблагоприятно влияет на производство овощей, поскольку многие физиологические, биохимические и метаболические процессы растений зависят от температуры. Возникновение высокой температуры влияет на производство овощей в тропических и засушливых районах. Высокая температура вызывает значительное изменение морфологической, физиологической, биохимической и молекулярной реакции растения и, в свою очередь, влияет на рост, развитие и урожайность растения. Симптомы, вызывающие нарушение завязывания плодов при высоких температурах у томата, включают опадение бутонов, аномальное развитие цветков, плохое производство пыльцы, расхождение и жизнеспособность, аборт семязачатков и плохую жизнеспособность, снижение доступности углеводов и другие репродуктивные аномалии. Точно так же высокие температуры выше 25°C влияют на опыление и завязывание плодов у томата. Кроме того, высокая температура может привести к значительной потере продуктивности томата из-за снижения завязываемости плодов, а также более мелких, деформированных и низкокачественных плодов [7]. У перца воздействие высокой температуры на стадии перед цветением не влияло на жизнеспособность репродуктивной сферы, но после раскрытия цветка при опылении высокие температуры ингибировали завязывание плодов, что позволяет предположить, что процесс оплодотворения чувствителен к высокотемпературному стрессу [8]. Высокая температура вызывает опадение цветков, аборт семязачатков, плохое завязывание и опадение плодов перца чили, а также влияет на интенсивность развития красной окраски созревших плодов перца чили [9].

Прорастание семян огурца и дыни сильно подавляется при 42...45°C, а у арбуза, тыквы, кабачка семена не прорастают [10]. Колебания температуры задерживают созревание плодов и снижают сладость дынь. Теплый влажный климат увеличивает вегетативный рост и приводит к плохому производству женских цветков у бахчевых культур, что приводит к снижению урожайности [11]. Высокая температура вызывает стеблевание капустных культур, что нежелательно, когда их выращивают на овощные цели [12].

### Засуха

Ожидается, что доступность воды будет очень важным элементом изменения климата в условиях повышения температуры. Экстремально высокая температура и серьезный водный дефицит в комплексе способны повлиять на урожайность всех сельскохозяйственных культур, но особенно овощных, товарные органы которых содержат большое количество (до 98%) влаги. Засуха является серьезной проблемой и основной причиной потери урожая во всем мире, снижая среднюю урожайность большинства сельскохозяйственных культур более чем на 50% [13]. Стресс от воздушной засухи или недостаточной влажности почвы может вызывать различные биохимические,

физиологические и генетические реакции у растений, которые сильно ограничивают рост сельскохозяйственных культур [14]. Преобладание засушливых условий в ранневесенний период отрицательно влияет на прорастание семян овощных культур, таких как лук, морковь, пастернак, петрушка, укроп. Условия засухи вызывают опадение цветков у томата. Сообщалось о снижении урожая более чем на 50% у томата из-за водного стресса на репродуктивной стадии [15]. Водный стресс на стадии цветения снижает фотосинтез и количество фотосинтетических ассимилятов, выделяемых генеративными органами. Стресс от засухи вызывает увеличение концентрации растворенных веществ в почве, что приводит к осмотическому оттоку воды из растительных клеток. Это приводит к повышенной потере воды растительными клетками и угнетению ряда физиологических и биохимических процессов, таких как фотосинтез, дыхание, что снижает продуктивность большинства овощных культур [16].

Помимо ингибирования скорости фотосинтеза за счет снижения устьичного воздухообмена и испарения [17], стресс от засухи также вызывает метаболические нарушения [18]. Фотосинтез и фотосинтетическая способность снижаются в условиях ограниченного количества воды. Кроме того, водный стресс снижает активности сахарозофосфатсинтазы (SPS) и инвертазы, которые влияют на доступность и использование сахарозы. Считается, что SPS играет важную роль в ресинтезе сахарозы и поддерживает ассимиляционный поток углерода от источника к развивающемуся органу [19]. Снижение активности инвертазы может повлиять на способность использовать сахарозу и привести к снижению роста пыльников и снижению концентрации гексоз [20].

### Засоление

Засоление представляет собой серьезную проблему, которая снижает рост и продуктивность овощных культур во многих районах, страдающих от избытка солей. Чрезмерное засоление почвы снижает продуктивность многих сельскохозяйственных культур, в том числе большинства овощных культур, которые особенно чувствительны на протяжении всего онтогенеза. С физиологической точки зрения засоление вызывает начальный дефицит воды, возникающий из-за относительно высоких концентраций растворенных веществ в почве, вызывает специфический ионный стресс, возникающий в результате изменения соотношения  $K^+/Na^+$ , и приводит к накоплению концентраций  $Na^+$  и  $Cl^-$ , что губительно для растений. Солевой стресс вызывает потерю тургора, замедление роста, увядание, опадение листьев, снижение фотосинтеза и дыхания, потерю клеточной целостности, некроз тканей и, наконец, гибель растения [21]. Лук чувствителен к засоленным почвам, а баклажан, перец и томат умеренно чувствительны к засоленным почвам [16]. Засоление вызывает значительное снижение процента прорастания и скорости прорастания семян, уменьшение скорости нарастания длины и массы корней и побегов у капусты [22].

Соленость снижает производство сухого вещества, площадь листьев, относительную скорость

роста и чистую скорость ассимиляции перца чили. Число плодов на растении больше зависит от засоления, чем от веса отдельных плодов [23]. Высокая концентрация соли вызывает снижение сырой и сухой массы всех тыквенных культур. Эти изменения связаны с уменьшением относительного содержания воды и общего содержания хлорофилла. Солевой стресс вызывает подавление роста и активности фотосинтеза, а также изменение проводимости устьиц, их количества и размера у растений фасоли. Он снижает транспирацию и водный потенциал клеток у растений фасоли, подверженных воздействию соли [24]. Известно, что высокий уровень засоления почвы и поливной воды влияет на многие физиологические и метаболические процессы, приводя к снижению роста клеток.

### **Наводнение**

Наводнение является еще одним важным абиотическим стрессом и вызывает серьезные проблемы для роста и урожайности овощных культур, которые обычно считаются культурами, восприимчивыми к наводнениям [25]. Возникновение условий затопления обычно вызывает дефицит кислорода ( $O_2$ ), который возникает из-за медленной диффузии газов в воде и потребления  $O_2$  микроорганизмами и корнями растений. Большинство овощных культур очень чувствительны к затоплению, и генетическая изменчивость в отношении этого признака ограничена, особенно у томата. В целом повреждение овощных растений затоплением связано с уменьшением кислорода в корневой зоне, что угнетает аэробные процессы. Растения томата, подвергнутые затоплению, накапливают эндогенный этилен, вызывающий повреждение растений [26]. Быстрый эпинастический рост листьев является характерной реакцией томата на заболоченные условия, при этом предполагается роль накопления этилена [27]. Тяжесть симптомов затопления увеличивается с повышением температуры; быстрое увядание и гибель растений томата обычно наблюдается после кратковременного затопления при высоких температурах [28]. Лук также чувствителен к затоплению в период развития луковицы с потерей урожая до 30-40%. Эти стрессы являются основной причиной потери урожая во всем мире более чем 50% растений, а реакция растений на стрессы окружающей среды зависит от стадии развития, продолжительности и тяжести стрессов [29].

Наводнение влияет на физиологию овощных растений. Одной из самых ранних физиологических реакций растений на затопление почвы является снижение устьичной проводимости [30]. Это вызывает увеличение водного потенциала листа, что приводит к значительному снижению скорости углеродного обмена и повышению внутренней концентрации  $CO_2$  [31]. Затопление негативно влияет на вегетативный и репродуктивный рост растений из-за пагубного воздействия на физиологическое функционирование [32]. У чувствительных сельскохозяйственных культур затопление вызывает хлороз листьев и снижает рост побегов и корней, накопление сухого вещества и общий урожай растений [33]. Наводнения могут

облегчить распространение патогенов, передающихся через воду, засухи и волны тепла могут предрасполагать растения к заражению, а штормы могут способствовать распространению спор ветром [34]. Относительно устойчивой к подтоплению считается свекла столовая [35].

### **Реакция вредителей и болезней на изменение климата**

Изменение климата также влияет на экологию и биологию насекомых-вредителей [36]. Повышение температуры у некоторых групп насекомых с коротким жизненным циклом, таких как тля и листовертки, увеличивает плодовитость, более раннее завершение жизненного цикла. Как следствие, они могут производить в течение года больше поколений, чем обычно. В отличие от этого, некоторым насекомым может потребоваться несколько лет, чтобы завершить свой жизненный цикл. Некоторые виды насекомых, которые обитают в почве на протяжении всего или некоторых этапов жизненного цикла, как правило, страдают больше, чем насекомые, живущие над поверхностью почвы, потому что почва обеспечивает изолирующую среду, которая будет иметь тенденцию амортизировать изменения температуры в большей степени, чем воздух. Повышение температуры вызывает миграцию видов насекомых в более высокие широты, в то время как в тропиках более высокие температуры могут отрицательно сказаться на некоторых видах насекомых. Высокая атмосферная температура увеличивает темпы развития насекомых и яйцекладки, массовых нашествий насекомых и интродукции инвазивных видов, одновременно снижая эффективность биологического контроля численности насекомых воздействием патогенных бактерий, грибов и хищных насекомых, снижая надежность экономических пороговых уровней, разнообразие насекомых в экосистемах и явление паразитизма [37].

Насекомые особенно чувствительны к температуре, поскольку они стенотермы (хладнокровные). Как правило, насекомые реагируют на более высокую температуру более быстрым развитием и меньшим временем между поколениями. Повышение температуры ускоряет развитие капустной личинки, луковой личинки, кукурузного мотылька европейского, колорадского жука [38]. Повышение температуры продляет период размножения и повышает репродуктивную способность. Исследования тлей и мотыльков показали, что повышение температуры может позволить насекомым быстрее достичь минимальной температуры, необходимой для полета, способствуя увеличению способности их к расселению [39]. Ускоренный метаболизм при более высоких температурах сокращает продолжительность диапаузы насекомых из-за более быстрого истощения запасов питательных веществ [40]. Потепление зимой может привести к задержке наступления, а раннее лето может привести к более быстрому завершению диапаузы у насекомых, которые затем могут возобновить свой активный рост и развитие. Это позволяет сделать заключение о том, что повышение температуры зимой в диапазоне на 1-5°C повысит выживаемость



насекомых из-за низкой смертности, увеличит рост популяции, приведет к более раннему заражению и, как следствие, усилению повреждения урожая насекомыми-вредителями при моделировании сценарии глобального потепления [41].

Изменения температурного режима и режимов осадков в связи с изменением климата могут изменить стадию роста, скорость развития и патогенность инфекционных агентов, а также физиологию и устойчивость растения-хозяина [42]. Ожидается, что большой размер популяции и короткое время генерации патогенов растений сделают их первыми организмами, которые проявят последствия изменения климата. Ожидается, что в северных широтах воздействие фитопатогенов усилится с потеплением, поскольку низкие температуры и продолжительные зимы в настоящее время снижают выживаемость, число поколений в год, скорость размножения и активность большинства патогенов, поражающих сельскохозяйственные культуры в течение вегетационного периода [43]. Чувствительность к температуре и морозу влияет на распространение видов патогенов, поскольку независимо от их огромного диапазона хозяев почвенные патогены, такие как *Sclerotium rolfsii* и *Macrophomina phaseolina*, не встречаются в умеренном климате из-за их высокого температурного оптимума и чувствительности к морозу [44]. Высокие температуры обеспечивают более короткие циклы развития у патогенов, переносимых по воздуху, и увеличивают их выживаемость из-за уменьшения морозов [45]. Уменьшение продолжительности морозного периода и повышение средних минимальных температур предполагает устранение ограничивающего фактора, для такого патогена, как *Fusarium* [34].

### **Практики управления адаптацией к изменению климата**

#### **Методы управления культурой**

Акцент должен быть сделан на использовании рекомендуемых производственных систем для повышения эффективности водопользования и адаптации к жарким и засушливым условиям. Следует признать принципиально важным применение таких стратегий, как изменение сроков посева или посадки, для борьбы с вероятным повышением температуры и периодами водного стресса в течение вегетационного периода [46]. Изменение доз, соотношения элементов, форм и сроков, внесения удобрений, а также сочетания с регуляторами роста для повышения доступности питательных веществ и использование почвенных удобрений для повышения плодородия почвы и увеличения поглощения питательных веществ [47]. Обеспечение орошения во время критических стадий роста сельскохозяйственных культур и сохранение запасов влаги в почве являются наиболее важными мероприятиями [2]. Методы управления культурами, такие как мульчирование растительными остатками и пластиковая мульча, помогают сохранить влажность почвы. В некоторых случаях чрезмерная влажность почвы из-за проливных дождей становится серьезной проблемой, и ее можно решить, выращивая культуры на приподнятых

грядках [16]. Производство овощей можно было бы начать с использования прозрачных пластиковых навесов от дождя, что может уменьшить прямое воздействие на развивающиеся плоды, а также уменьшить заболачивание полей в сезон дождей. Посадка овощей на приподнятых грядках в сезон дождей повысит урожайность благодаря улучшенному дренажу, который снизит гипоксию корневой системы.

#### **Улучшение стрессоустойчивости за счет прививки**

Прививка овощей возникла в Восточной Азии в 20-м веке с целью уменьшения воздействия болезней, передаваемых через почву, таких как фузариозное увядание, которое влияет на производство овощей, таких как томат, баклажан и тыквенные [48]. В настоящее время прививка считается обычной практикой выращивания овощей в азиатских странах, таких как Япония, Корея и некоторые европейские страны, что является эффективной быстрой альтернативой относительно медленной методологии селекции, направленной на повышение устойчивости садовых культур к стрессу окружающей среды в целом и особенно овощных [49]. Прививка является одним из перспективных способов модификации корневой системы растения для повышения его устойчивости к различным абиотическим стрессам [50]. В овощных культурах привитые растения в настоящее время используются для повышения устойчивости к абиотическим стрессам, таким как низкие и высокие температуры, засуха, засоление и затопление, если используются соответствующие устойчивые подвои [51]. Из-за этих полезных эффектов прививки в последние годы увеличилось выращивание привитых растений таких культур, как томат, баклажан, перец и тыквенные (дыни, огурца, арбуза и тыквы) [52].

Прививка баклажана была начата в 1950-х годах, а затем огурца и томата в 1960-х и 1970-х годах. Дыни, привитые на гибридные подвои тыквы, были более солеустойчивыми, чем непривитые [53]. Однако устойчивость подвоев к соли сильно различается у разных видов, например, подвои *Cucurbita* spp. более устойчивы к соли, чем подвои *Lagenaria siceraria* [54]. Помимо защиты от затопления, некоторые генотипы баклажана устойчивы к засухе, поэтому подвои баклажана могут обеспечить защиту от ограниченного стресса от влажности почвы. Прививка чувствительного к температуре томата на более устойчивые сорта подвоя улучшает адаптацию растений к условиям теплового стресса. Привитые растения лучше развиваются в условиях теплового стресса, чем непривитые растения томата. Кроме того, баклажан (*S. melongena* сорта Yuanqie), привитый к жаростойкому подвою (сорт Nianmaoqie), привели к увеличению урожая плодов на 10% [55].

#### **Выращивание овощей, устойчивых к изменению климата**

Улучшенная, адаптированная зародышевая плазма овощей является наиболее рентабельным вариантом для фермеров, позволяющим решать проблемы, связанные с изменением климата [56]. Однако большинство современных сортов представляют собой ограниченную выборку доступной генетической изменчивости, включая устойчивость к стрессам окружающей среды. Выведение новых сортов, особенно для интен-

сивных систем производства с высокими затратами в развитых странах, в оптимальных условиях роста могло привести к встречному отбору признаков, которые способствовали бы адаптации или устойчивости к низким затратам и менее благоприятным условиям окружающей среды. Улучшенные сорта, адаптированные к более широкому диапазону климатических условий, могут появиться в результате открытия новых генетических вариаций устойчивости к различным биотическим и абиотическим стрессам. Генотипы с улучшенными признаками, обусловленными превосходными комбинациями аллелей в нескольких локусах, могут быть идентифицированы и усовершенствованы. Необходимы улучшенные методы селекции для выявления этих превосходных генотипов и связанных с ними признаков, особенно у диких родственных видов, которые растут в среде, не поддерживающей рост их одомашненных родственников, являющихся культивируемыми разновидностями. Растения, произрастающие в климате с выраженной сезонностью, способны легче акклиматизироваться к изменчивым условиям окружающей среды и дают возможность идентифицировать гены или комбинации генов, которые придают такую устойчивость.

Попытки улучшить солеустойчивость сельскохозяйственных культур с помощью традиционных программ селекции имеют очень ограниченный успех из-за генетической и физиологической сложности этого признака. Кроме того, толерантность к солевым условиям - это явление, регулируемое развитием и зависящее от стадии; толерантность на одной стадии развития растения не всегда коррелирует с толерантностью на других стадиях. Успех в селекции на солеустойчивость требует эффективных методов скрининга, наличия генетической изменчивости и способности передавать гены интересующим видам. Большинство коммерческих сортов томатов умеренно чувствительны к повышенной засолённости, и у культивируемых видов существуют лишь ограниченные вариации [57].

Генетическая изменчивость холодо- и солеустойчивости во время прорастания семян томата и перца выявлена у культивируемых и диких видов [58, 59]. Скрещивание между чувствительной к соли линией томата (UCT5) и солеустойчивым образцом *S. esculentum* (PI174263) показало, что способность семян томата быстро прорасти в условиях солевого стресса генетически контролируется с наследуемостью в узком смысле ( $h^2$ ) 0,75. Солеустойчивость во время прорастания семян у томата контролируется генами с аддитивными эффектами и может быть улучшена путем направленного фенотипического отбора [60]. Выяснение механизма солеустойчивости в разные периоды роста и интрогрессия генов солеустойчивости в овощных культурах ускорит создание сортов, способных выдерживать высокие или переменные уровни солёности, совместимые с различными производственными условиями.

### Биотехнология

Для повышения урожайности овощных культур в неблагоприятных условиях потребуются передовые технологии, дополняющие традиционные методы, которые зачастую не способны предотвратить потери

урожае из-за экологических стрессов. Были открыты гены и поняты функции генов. Это открыло путь к генетическим манипуляциям с генами, связанными с устойчивостью к стрессам окружающей среды. Эти инструменты обещают более быструю и потенциально впечатляющую отдачу, но требуют больших инвестиций. Многие виды деятельности с использованием этих генетических и молекулярных инструментов осуществляются с определенным успехом. Анализ молекулярных маркеров устойчивости к стрессу у овощных культур позволяет идентификации QTL, лежащих в основе устойчивости к стрессам. QTL для устойчивости к засухе были идентифицированы у томата. Определено три QTL, связанных с эффективностью использования воды у *S. pennellii* на основе состава 13C. У *S. pennellii* при выращивании как во влажных, так и в сухих полевых условиях в Израиле были идентифицированы три независимых участка, способствующих повышению урожайности [61], в то время идентифицировано четыре QTL, связанных с засухоустойчивостью прорастания семян, два из которых были связаны с *S. pimpinellifolium*, который часто исследуется как источник солеустойчивости. Картирование QTL указывает на количественную наследственность солеустойчивости, а в некоторых случаях устойчивость зависит от стадии развития растения [57].

Устойчивость к стрессу окружающей среды является сложным признаком и контролируется большим числом генов [62]. В ответ на стрессы изменяются профили экспрессии как РНК, так и белков. Гены участвуют в модуляции транскрипции, транспорте ионов, контроле транспирации и углеводном обмене. Гены *DREB1A*, *CBF* и *HSF* являются транскрипционными факторами, участвующими в реакции на засуху и жару соответственно [63]. Инвертаза клеточной стенки (INV) и синтеза сахарозы (SUSY) играют ключевую роль в распределении углеводов в растениях, и эта регуляция метаболизма углеводов в листьях может представлять собой часть общего клеточного ответа на акклиматизацию и способствовать осмотической адаптации в условиях стресса. Селекция томата имеющего более мощную и хорошо разветвленную корневую систему, позволяет корням лучше использовать ограниченное количество воды и питательных веществ, а также успешно сопротивляться влиянию негативных факторов внешней среды. Контрольные растения томата получили необратимые повреждения через пять дней без воды, в отличие от трансгенных, которые начали демонстрировать повреждения от водного стресса только через 13 дней, но полностью восстановились, как только вода была подана. Гены *CBF/DREB1* успешно использовались для создания засухоустойчивости у томата и других культур [64].

### Перспективы работы

В зависимости от уязвимости отдельной культуры и агроэкологического региона необходимо разработать стратегии адаптации на основе культуры, интегрируя все доступные варианты для поддержания продуктивности. Разработка стратегий и инструментов для всестороннего максимально полного преодоления воздействий изменения климата и мер по

адаптации овощных культурах пока изучены явно недостаточно. Чтобы повысить нашу готовность к изменению климата и сформулировать надежный план действий, необходимо заполнить пробелы в знаниях о биологии стрессоустойчивости сельскохозяйственных растений, информации и расставить приоритеты в вопросах исследований с точки зрения сельхозпроизводителей, ученых, разработчиков машин и оборудования, представителей торговли. Очень важен опыт «Особой экспедиции по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России», осуществленной В.В. Докучаевым в 1892-1898 гг. в Каменной Степи Воронежской губернии [65].

Крайне важно обосновать (моделировать) вероятные изменения климата, которые могут произойти в обозримом будущем. Как эти изменения могут повлиять на рост, развитие и качество овощных культур? Какие технологии помогут смягчить эту проблему? Какие инновационные исследования следует провести для решения проблем, связанных с изменением климата?

Таким образом, наиболее важные вопросы, стратегии адаптации овощных культур, совершенствования технологий и общих организационно-хозяйственных мероприятий по смягчению последствий изменения климата включают следующее:

- приоритет образования, научных исследований и разработок для повышения адаптивной способности овощных культур в условиях изменения климата;
- выявление и создание стрессоустойчивых сортов овощных культур, в том числе на разных этапах роста и развития;
- надлежащий краткосрочный и долгосрочный план действий по смягчению воздействия изменения климата на овощные культуры путем возобновления лесных насаждений, сбора воды в прудах и малых водоемах и ее разумное использование в виде капель, тумана и разбрызгивателей для борьбы с засухой, включая методы сохранения влаги в почве путем мульчирования;
- создание и выращивание партенокарпических сортов, использование ауксина для стимулирования завязываемости плодов без опыления у томата, баклажана и огурца и других плодовых овощей;
- прививка привоя на подвой с высокой устойчивостью к засухе, жаре и солевому стрессу, болезням, нематодам может увеличить рост и урожайность культур;
- информационно-образовательные программы для производителей, изменение существующих методов выращивания овощей и более широкое использование тепличных технологий – вот некоторые из решений, позволяющих свести к минимуму последствия изменения климата.

### Заключение

В настоящее время мировое сельское хозяйство, особенно овощеводство, переживает сложную ситуацию и сталкивается с проблемой обеспечения продовольственной/питательной безопасности для удовлетворения потребностей населения. Мы должны производить все больше и больше продуктов

питания на все меньшей площади земли. Проблема усугубляется нарастающими биотическими и абиотическими стрессами и ухудшением качества окружающей среды, а также угрозой усиления глобального потепления, вызванного парниковыми газами. Сочные овощные культуры очень чувствительны к климатическим условиям жары, засухи и затопления. Поэтому необходимо сосредоточить внимание на изучении воздействия изменения климата на рост, развитие, урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Особое внимание следует также уделить разработке технологий адаптации и количественной оценке смягчающего потенциала сельскохозяйственных культур. Повышение температуры влияет на продолжительность урожая, цветение, плодоношение, и созревание овощных культур, снижая продуктивность и экономический выход.

Для сокращения недоедания и облегчения бедности в развивающихся странах за счет улучшения производства и потребления безопасных овощей потребуются адаптация существующих овощеводческих систем к потенциальному воздействию изменения климата. Для смягчения неблагоприятного воздействия климатических изменений на продуктивность и качество овощных культур необходимо разработать рациональные стратегии адаптации. Акцент должен быть сделан на развитии производственных систем для повышения эффективности использования воды, адаптированных к жарким и сухим условиям. Методы управления культурами, такие как мульчирование растительными остатками и пластиковая мульча, помогают сохранить влажность почвы. Чрезмерная влажность почвы из-за проливных дождей становится серьезной проблемой, которую можно решить, выращивая культуры на приподнятых грядках. Овощная зародышевая плазма, устойчивая к засухе, высоким температурам и другим стрессам окружающей среды, а также способная поддерживать урожайность на маргинальных почвах, должна быть определена, чтобы служить источником этих признаков как для государственных, так и для частных программ селекции овощных культур. Эти зародышевые плазмы будут включать как культивируемые, так и дикие образцы, обладающие генетической изменчивостью, отсутствующей в современных, широко выращиваемых культурных сортах. Генетические популяции разрабатываются для интрогрессии, выявления генов, обеспечивающих устойчивость к стрессам, и в то же время для создания инструментов для выделения, характеристики и геномной инженерии генов. Кроме того, агрономические методы, которые сохраняют воду и защищают овощные культуры от неоптимальных условий окружающей среды, должны постоянно улучшаться и быть доступными для фермеров в развивающихся странах. Должна существовать эффективная стратегия расширения, учитывающая технические, социально-экономические и политические компоненты. Наконец, наращивание потенциала знаний и использование их в образовательных программах является ключевыми компонентами устойчивой стратегии решения проблемы изменения климата.



**Об авторах:**

**Александр Федорович Бухаров** – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства,  
<https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775,  
 Researcher ID J-6605-2018, автор для переписки, [afb56@mail.ru](mailto:afb56@mail.ru)

**Александр Юрьевич Федосов** – младший научный сотрудник отдела технологий и инноваций,  
<https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, [ffed@rambler.ru](mailto:ffed@rambler.ru)

**Мария Ивановна Иванова** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства,  
<https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru)

**About the Authors:**

**Alexander F. Bukharov** – Doc. Sci. (Agriculture),  
 Leading Researcher of the department of selection and seed production,  
<https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775,  
 Researcher ID J-6605-2018, Correspondence Author, [afb56@mail.ru](mailto:afb56@mail.ru)

**Alexander Yu. Fedosov** – Junior Researcher,  
 Technology and Innovation Department,  
<https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, [ffed@rambler.ru](mailto:ffed@rambler.ru)

**Maria I. Ivanova** – Doc. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Breeding and Seed Production,  
<https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru)

## • Литература / References

1. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. М., Изд-во Ким Л.А., 2021. 306 с.
2. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Дефицитное орошение овощных культур. *Овощи России*. 2022;(3):44-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-499>. EDN NGVSRG. [Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.A. Deficient irrigation of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):44-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49>. EDN NGVSRG.]
3. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика). Т. 1. М., 2004. 688 с. [Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants and problems of the agrosphere (theory and practice). Т. 1. М., 2004. 688 p. (In Russ.)]
4. Назаров П.А., Балеев Д.Н., Иванова М.И., Соколова Л.М., Каракозова М.В. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты растений. *Acta Naturae* (русскоязычная версия). 2020;12,3(46):46-59. [Nazarov P.A., Baleev D.N., Ivanova M.I., Sokolova L.M., Karakozova M.V. Infectious plant diseases: etiology, current state, problems and prospects of plant protection. *Acta Naturae* (Russian version). 2020;12,3(46):46-59. (In Russ.)]
5. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Оценка водного следа овощных культур. *Овощи России*. 2021;(4):57-64. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>. EDN QDYYSU. [Fedosov A.Y., Menshikh A.M., Ivanova M.I. Assessment of water footprint of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):57-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>. EDN QDYYSU.]
6. Огнивцев С.Б. Глобальные климатические изменения, углеродные балансы и влияние на них сельского хозяйства. *Актуальные вопросы современной экономики*. 2022;(7):238-249. [Ognitvsev S.B. Global climate change, carbon balances and the impact of agriculture on them. *Topical issues of modern economy*. 2022 (In Russ.)]
7. Hazra P., Samsul H.A., Sikder D., Peter K.V. Breeding tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) resistant to high temperature stress. *International Journal of Plant Breeding*. 2007;(1):31-40.
8. Erickson A.N., Markhart A.H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant Cell and Environment*. 2012;(25):123-130.
9. Arora S.K., Partap P.S., Pandita M.L., Jalal I. Production problems and their possible remedies in vegetable crops. *Indian Horticulture*. 2010;(32):2-8.
10. Kurtar E.S. Modelling the effect of temperature on seed germination in some cucurbits. *African Journal of Biotechnology*. 2010;(9):9.
11. Ayyogari K., Sidhya P., Pandit M.K. Impact of climate change on vegetable cultivation - a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 2014;(7):145.
12. Солдатенко А.В., Иванова М.И., Бондарева Л.Л., Тареева М.М. Капустные зеленные овощи. М., Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2022. 296 с. ISBN 978-5-901695-89-0. EDN UNSAFI. [Soldatenko A.V., Ivanova M.I., Bondareva L.L., Tareeva M.M. Cabbage green vegetables. М., 2022. 296 p. ISBN 978-5-901695-89-0. EDN UNSAFI. (In Russ.)]
13. Sivakumar R., Nandhitha G.K., Boominathan P. Impact of Drought on Growth Characters and Yield of Contrasting Tomato Genotypes. *Madras Agricultural Journal*. 2016;(103):78-82.
14. Vadez V., Berger J.D., Warkentin T., Asseng S., Ratnakumar P., et al. Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2012;(32):31-44.
15. Srinivasa Rao N.K., Bhatt R.M. Responses of tomato to moisture stress: *Plant water balance and yield*. *Plant Physiology and Biochemistry, New Delhi*. 2012;(19):36-36.
16. De la Peña R., Hughes J. Improving vegetable productivity in a variable and changing climate. *Journal of SAT Agricultural Research*. 2007;(4):1-22.
17. Yordanov I., Velikova V., Tsonev T. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*. 2013;(38):171-186.
18. Dias M.C., Brüggemann W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. *Photosynthetica*. 2010;(48):96-102.
19. Isopp H., Frehner M., Long S.P., Nösberger J. Sucrose-phosphate synthase responds differently to source-sink relations and to photosynthetic rates: *Lolium perenne* L. growing at elevated pCO<sub>2</sub> in the field. *Plant, Cell and Environment*. 2008;(23):597-607.
20. Andersen M.N., Asch F., Wu Y., Jensen C.R., Næsted H., et al. Soluble invertase expression is an early target of drought stress during the critical, abortion-sensitive phase of young ovary development in maize. *Plant Physiology*. 2012;(130):591-604.
21. Cheeseman J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant physiology*. 2008;(87):547-550.
22. Jamil M., Rha E.S. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Korean Journal of Plant Research*. 2014;(7):226-232.
23. Lopez M.A.H., Ulery A.L., Samani Z., Picchioni G., Flynn R.P. Response of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: i. growth and yield. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2011;(14):137-147.
24. Kaymakanova M., Stoeva N., Mincheva T. Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*. 2008;(9):749-756.
25. Parent C., Capelli N., Berger A., Crèvecoeur M., Dat J.F. An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress*. 2008;(2):20-27.
26. Drew M.C. Plant responses to anaerobic conditions in soil and solution culture. *CurrAdv Plant Sci*. 2009;(36):1-14.
27. Kawase M. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *HortSci*. 2011;(16):30-34.

28. Kuo D.G., Tsay J.S., Chen B.W., Lin P.Y. Screening for flooding tolerance in the genus *Lycopersicon*. *HortSci*. 2014;(17):76-78.
29. Kumar S.N. Climate Change and its Impacts on Food and Nutritional Security in India. *Agriculture under Climate Change: Threats, Strategies and Policies*. 2017;(1):48.
30. Folzer H., Dat J.F., Capelli N., Rieffel D., Badot P.M. Response of sessile oak seedlings (*Quercus petraea*) to flooding: an integrated study. *Tree physiology*. 2006;(26):759-766.
31. Liao C.T., Lin C.H. Effect of flooding stress on photosynthetic activities of *Momordica charantia*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014;(32):479-485.
32. Gibbs J., Greenway H. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. *Functional Plant Biology*. 2008;(30):1-47.
33. Malik A.I., Colmer T.D., Lambers H., Setter T.L., Schortemeyer M. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist*. 2012;(153):225-236.
34. Pautasso M., Doring T.F., Garbelotto M., Pellis L., Jeger M.J. Impacts of climate change on plant diseases-opinions and trends. *European Journal of Plant Pathology*. 2012;(133):295-313.
35. Ванеян С.С., Меньших А.М., Борисов В.А., Маркизов В.А. Влияние режимов орошения и минеральных удобрений на урожайность и сохранность свеклы столовой. *Картофель и овощи*. 2016;(3):15-18. EDN VQFQUV. [Vaneyan S.S., Men'shikh A.M., Borisov V.A., Markizov V.A. The impact of irrigation and fertilizers regimes on the yield and storageability of the red beet. *Potato and vegetables*. 2016;(3):15-18. EDN VQFQUV. (In Russ.)]
36. Jat M.K., Tatarwal A.S. Effect of changing climate on the insect pest population National Seminar on Sustainable Agriculture and Food Security: Challenges in Changing Climate. 2012.
37. Das D.K., Singh J., Vennila S. Emerging crop pest scenario under the impact of climate change-a brief review. *Journal of Agricultural Physics*. 2011;(11):13-20.
38. Newton A.C., Johnson S.N., Gregory P.J. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. *Euphytica*. 2011;(179):3-18.
39. Zhou X., Harrington R., Woiod I.P., Perry J.N., Bale J.S., et al. Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology*. 2014;(1):303-313.
40. Hahn D.A., Denlinger D.L. Meeting the energetic demands of insect diapause: nutrient storage and utilization. *Journal of Insect Physiology*. 2007;(53):760-773.
41. Harrington R., Fleming R.A., Woiod I.P. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*. 2010;(3):233-240.
42. Mboup M., Bahri B., Leconte M., Vallavieille P.D., Kaltz O., et al. Genetic structure and local adaptation of European wheat yellow rust populations: the role of temperature-specific adaptation. *Evolutionary applications*. 2012;(5):341-352.
43. Harvell C.D., Mitchell C.E., Ward J.R., Altizer S., Dobson A.P., et al. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*. 2006;(296):2158-2162.
44. Termorshuizen A.J. Climate change and bioinvasiveness of plant pathogens: comparing pathogens from wild and cultivated hosts in the past and the present. *Pests and Climate Change*. 2008. pp: 6-9.
45. Boonekamp P.M. Are plant diseases too much ignored in the climate change debate?. *European Journal of Plant Pathology*. 2012;(133):291-294.
46. Солдатенко В.А., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М., Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2022. 504 с. ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW. [Soldatenko V.A., Borisov V.A. Ecological vegetable growing. М., 2022. 504 p. (In Russ.) ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW.]
47. Борисов В.А., Васючков И.Ю., Успенская О.Н. Комплексная оценка различных систем удобрения в экологическом овощеводстве открытого грунта. *Агрохимия*. 2022;(1):32-38. DOI 10.31857/S0002188122010045. EDN HRXHSX. [Borisov V.A., Vasyuchkov I. Yu., Kolomiets A.A., Uspenskaya O.N., Belova S.V. Effectiveness of vegetable fertilization based on soil and plant diagnostics. *Agrochimia*. 2022;(1):32-38. DOI 10.31857/S0002188122010045. EDN HRXHSX. (In Russ.)]
48. Lee S.G., Huh Y.C., Sun Z.Y., Miguel A., King S.R., et al. Cucurbit grafting. *Crit Rev Plant Sci*. 2008;(27):50-74.
49. Martinez Rodriguez M.M., Estan M.T., Moyano E., Garcia Abellan J.O., Flores F.B., et al. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;(63):392-401.
50. Bhatt R.M., Rao N.K.S., Harish D.M. Significance of Grafting in Improving Tolerance to Abiotic Stresses in Vegetable Crops Under Climate Change Scenario. In: *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies*. 2013. pp: 159-175.
51. He Y., Zhu Z., Yang J., Ni X., Zhu B. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*. 2009;(66):270-278.
52. Lee J.M., Kubota C., Tsao S.J., Bie Z., Echevarria P.H., et al. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*. 2010;(127):93-105.
53. Yetisir H., Caliskan M.E., Soylu S., Sakar M. Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. *Environmental and Experimental Botany*. 2006;(58):1-8.
54. Matsubara S (2012) Studies on salt tolerance of vegetables, 3: Salt tolerance of rootstocks. Scientific Reports of the Faculty of Agriculture Okayama University.
55. Abdelmageed A.H., Gruda N., Geyer B. Effects of temperature and grafting on the growth and development of tomato plants under controlled conditions. *Rural Poverty Reduction through Research for Development and Transformation*. 2014.
56. Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., Lana M.A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015;(35):869-890.
57. Foolad M.R., Zhang L.P., Subbiah P. Genetics of drought tolerance during seed germination in tomato: inheritance and QTL mapping. *Genome*. 2010;(46):536-545.
58. Бухарова А.Р., Бухаров А.Ф. Отдаленная гибридизация овощных пасленовых культур. Монография. Мичуринск, 2008. 274 с. [Bukharova A.R., Bukharov A.F. Remote hybridization of nightshade vegetable crops. Michurinsk, 2008. 274 p. (In Russ.)]
59. Бухаров А.Ф., Бухарова А.Р. Интрогрессия, гетерозис и адаптогенез в селекции перца. Монография. М., 2011. 292 с. [Bukharov A.F., Bukharova A.R. Introgression, heterosis and adaptogenesis in pepper breeding. М., 2011. 292 p. (In Russ.)]
60. Foolad M.R., Jones R.A. Genetic analysis of salt tolerance during germination in *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2011;(81):321-326.
61. Gur A., Zamir D. Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *PLoS Biol*. 2008;(2):e245.
62. Wang W., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 2003;(218):1-14.
63. Sung D.Y., Kaplan F., Lee K.J., Guy C.L. Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends in Plant science*. 2003;(8):179-187.
64. Hsieh T.H., Lee J.T., Charng Y.Y., Chan M.T. Tomato plants ectopically expressing *Arabidopsis* CBF1 show enhanced resistance to water deficit stress. *Plant Physiology*. 2002;(130):618-626.
65. Пашченко А.И. Каменная Степь. Каменная Степь, 2017. 216 с. [Pashchenko A.I. Stone Steppe. Stone Steppe, 2017. 216 p. (In Russ.)]

## Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-50-55>  
УДК 635.48:663.813

В.А. Харченко<sup>1</sup>, Н.А. Голубкина<sup>1\*</sup>,  
В.И. Терешонок<sup>1</sup>, А.И. Молдован<sup>1</sup>,  
М.Н. Богачук<sup>2</sup>, Е.Г. Кекина<sup>3</sup>, М.С. Антошкина<sup>1</sup>,  
Л.В. Павлов<sup>1</sup>, Т.Т. Папазян<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

<sup>2</sup> ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» 119240, Россия, Москва, Устьинский пр., 2/14

<sup>3</sup> ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России) 123995, Россия, Москва, ул. Баррикадная, д.2/1

<sup>4</sup> ООО Alltech 105062, Россия, Москва, Подсосенский пер., д. 26, стр. 3

\*Корреспонденция: segolubkina45@gmail.com

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Харченко В.А., Голубкина Н.А., Терешонок В.И., Молдован А.И., Богачук М.Н., Кекина Е.Г., Антошкина М.С., Павлов Л.В., Папазян Т.Т. Перспективы производства и использования сока ревеня. *Овощи России*. 2023; (3):50-55. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-50-55>

**Поступила в редакцию:** 22.03.2023

**Принята к печати:** 07.04.2023

**Опубликована:** 09.06.2023

Viktor A. Kharchenko<sup>1</sup>, Nadezhda A. Golubkina<sup>1\*</sup>,  
Vladimir I. Tereshonok<sup>1</sup>, Anastasia I. Moldovan<sup>1</sup>,  
Maria N. Bogachuk<sup>2</sup>, Elena G. Kekina<sup>3</sup>,  
Marina S. Antoshkina<sup>1</sup>, Leonid V. Pavlov<sup>1</sup>,  
Tigran T. Papazyan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

<sup>2</sup> Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety Ustyinsky pr., 2/14, Moscow, Russia, 119240

<sup>3</sup> Medical Academy for Post-Graduate Education 2/1, Barrikadnaya st., Moscow, Russia, 123995

<sup>4</sup> LLC Alltech Podsosensky lane, 26, building 3, Russia, Moscow, 105062

\*Correspondence: segolubkina45@gmail.com

**Authors' Contribution:** All authors confirm they have contributed to the intellectual content of this paper.

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

**For citations:** Kharchenko V.A., Golubkina N.A., Tereshonok V.I., Moldovan A.I., Bogachuk M.N., Kekina E.G., Antoshkina M.S., Pavlov L.V., Papazyan T.T. Prospects of Rhubarb Juice Production and Utilization. *Vegetable crops of Russia*. 2023; (3):50-55. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-50-55>

**Received:** 22.03.2023

**Accepted for publication:** 07.04.2023

**Published:** 09.06.2023

# Перспективы производства и использования сока ревеня



## Резюме

Обзор посвящен пищевой ценности и перспективам использования сока ревеня садового (*Rheum rhabarbarum* L.) в пищевой промышленности. Отмечается высокий выход сока, достигающий 90%, а также возможность комплексной переработки сырья для получения сока и пектина из жмыха. Показано, что жмых черешков ревеня содержит от 21 до 23% пектина, что достоверно выше, чем в используемых в настоящее время природных источниках пектина. Обсуждается лекарственная ценность продукта, проявляющего антиоксидантное, противовоспалительное, противораковое, кардиопротекторное и антидиабетическое действие. Приводятся примеры высокого содержания антиоксидантов в соке и уникальный компонентный состав органических кислот, включая сорбиновую и бензойную, применяемых в качестве стабилизаторов в продуктах питания. Отмечается, что основной органической кислотой ревеня садового на ранней стадии развития (весной) является лимонная кислота. Особое внимание уделяется безотходности производства сока из черешков ревеня благодаря перспективам применения жмыха как значимого источника пектина. Приведена биохимическая характеристика сока 4-х сортов ревеня садового селекции ФГБНУ ФНЦО: Удалец, Малахит, Зарянка и Крупночерешковый. Отмечается целесообразность осуществления селекции ревеня на повышенное содержание антоцианов.

**Ключевые слова:** сок ревеня, органические кислоты, антиоксиданты, нитраты, жмых, пектин

# Prospects of Rhubarb Juice Production and Utilization

## Abstract

The review is devoted to the nutritional significance and prospects of garden rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L.) utilization in food industry. High yield of juice reaching 90% and the ability to complex rhubarb stems processing for juice production and pectin extraction from rhubarb stem pomace are empathized. Rhubarb stems pomace recorded up to 21-23 % of pectin, which is significantly higher than in natural industrial sources of pectin. Medicinal value of rhubarb juice is discussed: antioxidant, anti-inflammatory, anti-carcinogenic, cardioprotective and anti-diabetic properties are indicated. Examples of high antioxidant content and unique organic acids composition of rhubarb juice are highlighted. Sorbic and benzoic acids are indicated as important components of juice widely used in food industry as food preservatives. Citric acid is shown to be the main component of rhubarb organic acids in spring. Special attention is paid to the non-waste production of juice thanks to the possibility of pomace processing for pectin recovery. Juice biochemical characteristics of four garden rhubarb cultivars (selection of Federal Scientific Center of Vegetable Production) are described: Udalets, Malakhit, Zaryanka and Krupnochereshkovy. Expediency of further selection on high anthocyanin content in rhubarb stems are empathized.

**Keywords:** rhubarb juice, organic acids, antioxidants, nitrates, stem pomace, pectin



## Введение

Садовый ревень относится к роду *Rheum* семейству *Polygonaceae*, объединяющему более 60 видов ревеня, многие из которых высоко ценятся как в пищевой [1], так и фармацевтической промышленности и включены в Фармакопею Китая, Кореи и Японии [2]. Джем, варенье, сладости и кондитерские изделия требуют использования сока ревеня. Более того, последним брэндом Ирландской ликеро-водочной промышленности является джин на основе сока ревеня (рис. 1).

чаемый продукт обладает наибольшей антиоксидантной активностью [12].

Наиболее важными биологически активными веществами ревеня являются уникальный набор органических кислот, а также полифенолы, антрахиноны и стильбены [13].

Сок – важнейший продукт переработки ревеня. Согласно экспериментальным данным выход сока может достигать 80-90%. Технической особенностью производства сока является необходимость предварительной нарезки черешков и только после этого



**Рис. 1. Некоторые продукты с использованием сока ревеня: джин, сок, цукаты, сироп, йогурт, ромашковый чай с ревенем**  
**Fig. 1. Separate products based on rhubarb juice utilization: gin, juice, candied fruit, syrup, yogurt, chamomile tea with rhubarb**

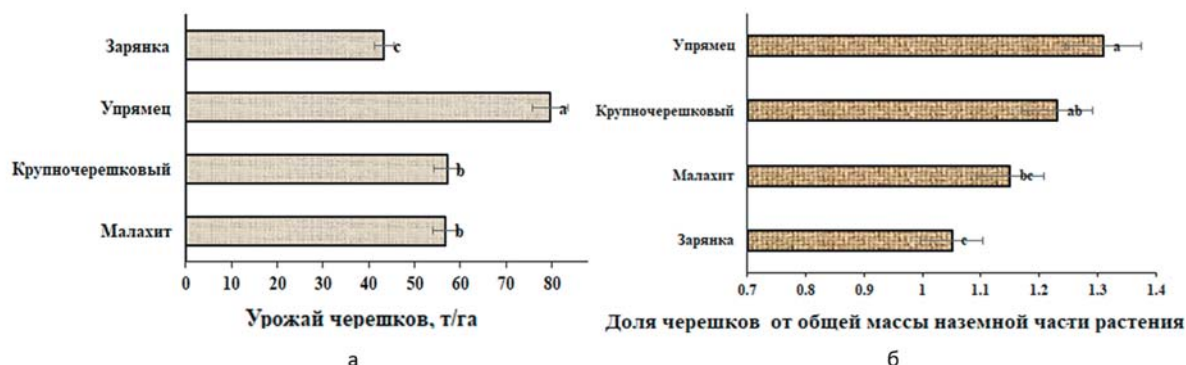
Известно, что ревень обладает противораковым [3], противовоспалительным, ранозаживляющим, кардиопротекторным [4] противовоспалительным [5,6] свойствами, нормализует пищеварение [7]. Ревень широко используется в традиционной медицине Румынии [8], Германии [9] и Кореи [10]. Обладая высокой антиоксидантной активностью, ревень эффективен при диабете, гипертонии и ожирении [11].

Выращивание садового ревеня в Европе, Азии и Северной Америке показало, что неорганические удобрения обеспечивают наибольший урожай ревеня, в то время как в условиях органического земледелия полу-

использование соковыжималки, что связано с наличием в черешках жестких волокон, способных заблокировать работу соковыжималки [14].

## Урожай, выход сока

Биомасса черешков с одного растения может достигать более 2 кг (сорт Упрямец селекции ФНЦО), что находится в хорошем соответствии с данными сортов ревеня Словении [15]. При выборе сорта ревеня, наиболее пригодного для получения сока, следует учитывать долю листьев, которые не используются в связи с высоким содержанием щаве-



**Рис. 2. Сортные различия в соотношении массы черешки/листья в 4х сортах ревеня садового (а – урожайность черешков, б – доля от общей массы надземной части растения). Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при  $P < 0.05$**   
**Fig. 2. Varietal differences in stems/leaves mass ratio in 4 rhubarb cultivars (a – stems yield; b – proportion of the total mass of the above-ground rhubarb part. Values with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at  $p < 0.05$**

**Крупночерешковый****Малахит****Упрямец****Зарянка**

**Рис. 3. Внешний вид 4 сортов ревеня селекции ФГБНУ ФНЦО**  
**Fig. 3. Appearance of 4 rhubarb cultivars, selection of Federal Scientific Vegetable Center**

левой кислоты. Оценка 4-х сортов ревеня селекции ФНЦО выявила, что доля листьев от общей массы наземной части растения составляет от 43 до 48% и характеризуется наименьшими значениями для сорта Упрямец (рис. 2, 3).

#### **Содержание антиоксидантов**

С другой стороны, в настоящее время большое внимание уделяется содержанию антоцианов в черешках ревеня, обеспечивающих не только привлекательный вид сока (нежно розовый цвет), но и повышенное содержание природных антиоксидантов [16, 17] (рис. 3).

По этому показателю сорта ревеня селекции ФНЦО можно разделить на три группы:

- 1) с высоким содержанием антоцианов (сорт Зарянка),
- 2) средними уровнями пигментов (сорт Упрямец),
- 3) низкими количествами антоцианов (сорта Малахит и Крупночерешковый).

Так, уровень антоцианов в сорте Зарянка оказался в 3.8–4.7 раз выше, чем в других исследованных сортах, при значительном превышении уровня полифенолов (рис.4).

#### **Накопление нитратов**

Содержание нитратов в соке может варьировать в широких пределах в зависимости от технологии выращивания. Так, на опытных полях ФНЦО сок из черешков ревеня содержал всего 216 мг нитратов в литре сока, в то время как по данным работы [1], уровень нитратов в соке ревеня достигает 815–893 мг/л. Известно, что на уровень накопления нитратов влияют не только генетические факторы, но также доступность азотного питания, интенсивность света, температура окружающей среды, а также доступность воды [19, 20].

#### **Органические кислоты**

Тем не менее, наибольшую ценность в реване имеет уникальный состав присутствующих органических кислот, в первую очередь определяющих качество сока [21,22]. Согласно нашим исследованиям, общее содержание органических кислот в соке ревеня достигает 17–22 г/л. Первые исследования состава органических кислот ревеня, выполненные в 1937 году [23], выявили предпочтительное накопление щавелевой, лимонной и яблочной кислот. Исследования Mezeyova et al. [15] выявили содержание только яблочной кислоты в реване Словении. В Германии [1] сок ревеня содержал щавелевую, лимонную и яблочную кислоты. Во всех этих исследованиях отмечалось преобладание яблочной кислоты, как основного компонента органических кислот сока ревеня. Напротив, исследования на коллекционных образцах ФНЦО позволили установить впервые широкий спектр органических кислот с преобладанием во всех случаях лимонной кислоты.

Профиль основных органических кислот сока ревеня селекции ФНЦО представлен на рис.5. Интересно, что лимонная кислота, по нашим данным, преобладала также в татарском реване Богдинско-Баскунчакского природного заповедника в условиях мощного засоления (Астраханская обл.)



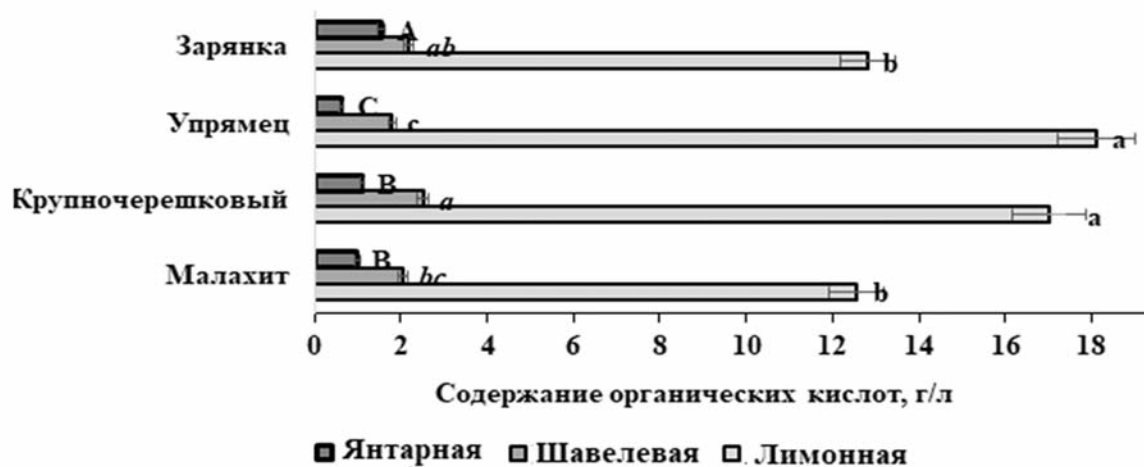


**Рис. 4. Различия в содержании антоцианов и полифенолов сортов Упрямец, Крупночерешковый и Малахит по сравнению с данными для сорта Зарянка [18]. Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при  $P < 0.05$**   
**Fig. 4. Differences in anthocyanes and polyphenols content in Upryamets, Krupnoche-reschkovy and Malakhit cultivars compared to the appropriate data for Zaryanka cv [18]. Values with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at  $p < 0.05$**

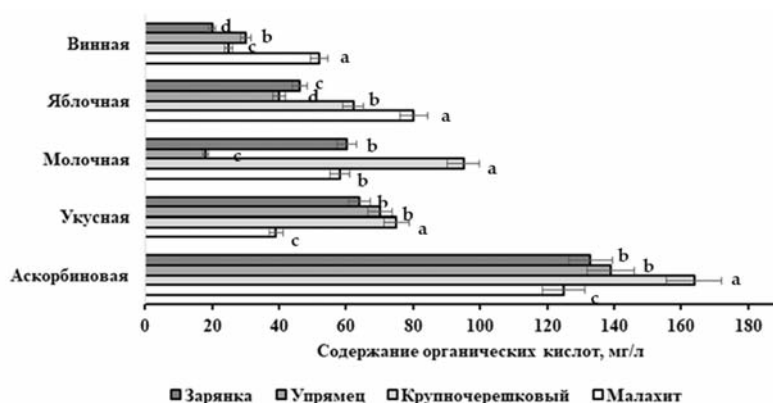
[24]. Различия с литературными данными, по-видимому, связаны с тем, что образцы ревеня собирали весной – в период максимального накопления этой органической кислоты в условиях интенсивного роста растений [23, 25-27].

На втором месте по содержанию органических кислот в соке ревеня ФНЦО стоят аскорбиновая, уксусная, молочная, яблочная и винная кислоты (рис. 6).

Данные этого рисунка указывают, что каждый сорт характеризуется своим уникальным составом

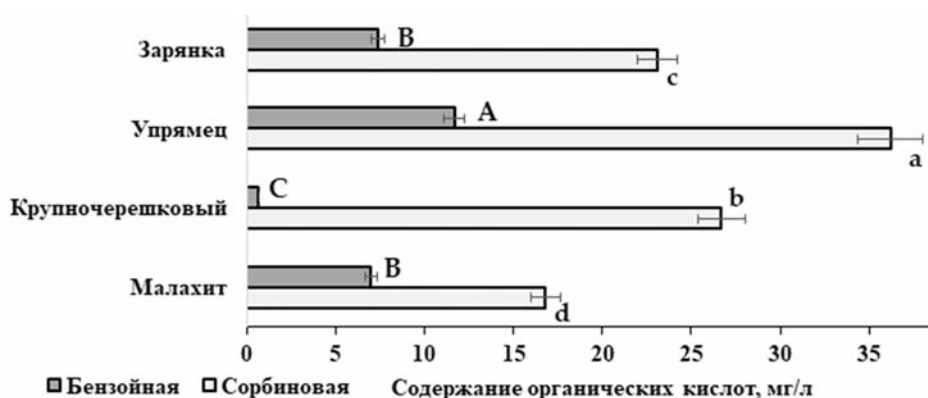


**Рис. 5. Основные органические кислоты сока ревеня селекции ФНЦО [18]. Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при  $P < 0.05$**   
**Fig. 5. The most important organic acids of rhubarb juice [18]. Values with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at  $p < 0.05$**



**Рис. 6. Содержание второй группы органических кислот в соке 4х сортов ревеня. Для каждой органической кислоты значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при  $P < 0.05$**   
**Fig. 6. Second group organic acids composition and content in juice of 4 rhubarb cultivars. Values with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at  $p < 0.05$**



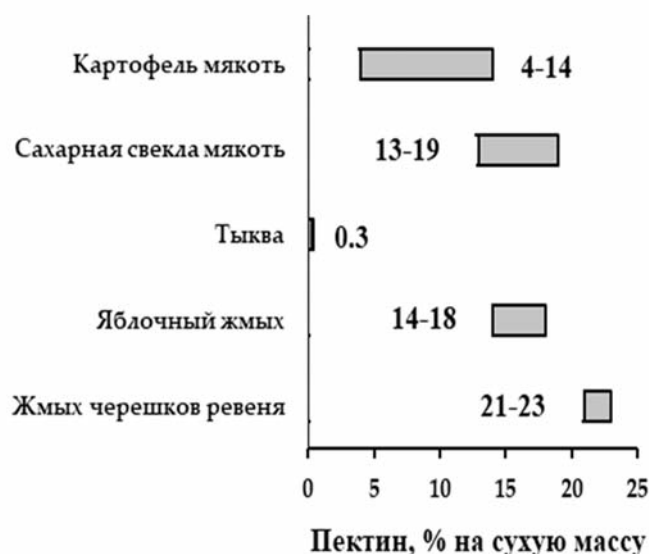


**Рис. 7. Содержание минорных органических кислот в соке 4х сортов ревеня. Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при  $P < 0.05$ .**  
**Fig. 7. Minor organic acids content in juice of 4 rhubarb cultivars. Values with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at  $p < 0.05$**

органических кислот. Так, содержание аскорбиновой, уксусной и молочной кислот преобладает в сорте Крупночерешковый. Наибольшее количество яблочной и винной кислоты характерно для сорта Малахит. Зарянка характеризуется наименьшим количеством винной кислоты. Сорт Упрямец имеет наименьшее количество молочной кислоты. Наблюдаемые различия указывают на уникальный специфический для каждого сорта вкус сока.

Наконец, компонентный состав минорных органических кислот, представленный на рис.7, свидетельствует о присутствии в исследованных образцах соков кислот, ответственных за стабилизацию пищевых продуктов и широко применяющихся для этих целей в пищевой промышленности: бензойной кислоты и сорбиновой [28, 29]. Во всех случаях преобладающей является сорбиновая кислота, наибольшее содержание которой зафиксировано в соке сорта Упрямец. Этот же сорт отличается и наибольшим содержанием бензойной кислоты. Напротив, наименьшее количество бензойной кислоты установлено в соке сорта Крупночерешковый.

С позиций практики представляет несомненный интерес высокая пищевая ценность жмыха от производства сока. Несмотря на то, что его количество сравнительно невелико и составляет около 23% от массы черешков, этот продукт имеет огромную пищевую ценность. При сравнительно высокой антиоксидантной активности, составляющей 30-34 мг-экв. ГК/г с.м., этот продукт является уникальным источником пектина, содержание которого достигает 21-23% с.м., а также высоким общим содержанием пищевых волокон (59-67%) и водорастворимых форм (около 15%). Известно, что жмых ревеня снижает уровень холестерина и триглицеридов в крови [30]. Уровень пектина в жмыхе ревеня достоверно выше, чем содержание этого соединения в жмыхе яблок (10-15%) – основном источнике пектина в пищевой промышленности. Поскольку коэффициент вариации в содержании пектина в жмыхе ревеня не высок, это открывает широкие возможности комплексного использования черешков ревеня, как для приготовления сока, так и выделения пектина для нужд пищевой промышленности (рис. 8).



**Рис. 8. Важнейшие источники пектина [31]**  
**Fig. 8. The most important pectin sources [31]**

### Заключение

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о перспективности производства сока ревеня в связи с высоким выходом и уникальным химическим составом, а также возможностью получения пектина для нужд пищевой промышленности. В перспективе крайне желательным является проводить селекцию ревеня на содержание антоцианов и выявление особенностей накопления органических кислот.

**Об авторах:**

**Виктор Александрович Харченко** – кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства зеленных, пряно-вкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0003-2775-9140>, [kharchenkoviktor777@gmail.com](mailto:kharchenkoviktor777@gmail.com)

**Надежда Александровна Голубкина** – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, автор для переписки, [segolubkina45@gmail.com](mailto:segolubkina45@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

**Владимир Ильич Терешонок** – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, [tereshonok-74@inbox.ru](mailto:tereshonok-74@inbox.ru)

**Анастасия Ильинична Молдован** – аспирант, [nastiamoldovan@mail.ru](mailto:nastiamoldovan@mail.ru)

**Мария Николаевна Богачук** – кандидат фарм. наук, научный сотрудник, ФИЦ питания и биотехнологии, [bmariyan@mail.ru](mailto:bmariyan@mail.ru)

**Елена Геннадьевна Кекина** – кандидат биол. наук, доцент кафедры гигиены Академии Постдипломного Образования, [lena.kekina@mail.ru](mailto:lena.kekina@mail.ru)

**Марина Сергеевна Антошкина** – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, <https://orcid.org/0000-0002-5510-4873>, [limont\\_m@mail.ru](mailto:limont_m@mail.ru)

**Леонид Васильевич Павлов** – доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, [pavlov.l.v@vniissok.ru](mailto:pavlov.l.v@vniissok.ru)

**Тигран Тагворович Папазян** – генеральный директор ООО Alltech, [tpapazyan@Alltech.com](mailto:tpapazyan@Alltech.com)

**About the Authors:**

**Viktor A. Kharchenko** – Cand. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Selection and Seed Production of Green, Spice-Flavoring and Flower Crops, <https://orcid.org/0000-0003-2775-9140>, [kharchenkoviktor777@gmail.com](mailto:kharchenkoviktor777@gmail.com)

**Nadezhda A. Golubkina** – Doc. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of laboratory-analytical department, Correspondence Author, [segolubkina45@gmail.com](mailto:segolubkina45@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

**Vladimir I. Tereshonok** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, [tereshonok-74@inbox.ru](mailto:tereshonok-74@inbox.ru)

**Anastasia I. Moldovan** – Graduate Student, Junior Researcher, laboratory of Selection And Seed Production Of Green, Spice-Flavoring and Flower Crops, [nastiamoldovan@mail.ru](mailto:nastiamoldovan@mail.ru)

**Maria N. Bogachuk** – Cand. Sci. (Pharmaceutical Sci), Researcher, Institute of Nutrition and Biotechnology, [bmariyan@mail.ru](mailto:bmariyan@mail.ru)

**Elena G. Kekina** – Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Hygiene, Academy of Postgraduate Education, [lena.kekina@mail.ru](mailto:lena.kekina@mail.ru)

**Marina S. Antoshkina** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher Laboratory Analytical Department, <https://orcid.org/0000-0002-5510-4873>, [limont\\_m@mail.ru](mailto:limont_m@mail.ru)

**Leonid V. Pavlov** – Dc. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, [pavlov.l.v@vniissok.ru](mailto:pavlov.l.v@vniissok.ru)

**Tigran T. Papazyan** – CEO of the LLC Alltech, [tpapazyan@Alltech.com](mailto:tpapazyan@Alltech.com)

**• Литература / References**

- Will F., Dietrich H. Processing and chemical composition of rhubarb (*Rheum rhabarbarum*) juice. *LWT-Food Sci. Technol.* 2013;50:673–678. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.029>
- Xiang H., Zuo J., Guo F., Dong D. What we already know about rhubarb: A comprehensive review. *Chin. Med.* 2020;15:88. <https://doi.org/10.1186/s13020-020-00370-6>
- Zhu Y.S., Huang Y., Cai L.Q., Zhu J., Duan Q., Imperato-McGinley J. The Chinese medicinal herbal formula ZYD88 inhibits cell growth and promotes cell apoptosis in prostatic tumor cells. *Oncol. Rep.* 2003;10:1633–1639. <https://doi.org/10.3892/or.10.5.1633>
- Liudvytska O., Kolodziejczyk-Czepas J.A. Review on rubarb-derived substances as modulators of cardiovascular risk factors — A special emphasis on anti-obesity action. *Nutrients.* 2022;14:2053. <https://doi.org/10.3390/nu14102053>
- Kolodziejczyk-Czepas J., Czepas J. Rhaponticin as an anti-inflammatory component of rhubarb: A mini review of the current state of the art and prospects for future research. *Phytochem. Rev.* 2019;18:1375–1386. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09652-w>
- Ibrahim E.A., Baker D.A., El-Baz F.K. Anti-inflammatory and antioxidant activities of rhubarb roots extract. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2016;39:93–99.
- Zhang X., Wang L., Chen D.C. Effect of rhubarb on gastrointestinal dysfunction in critically ill patients: A retrospective study based on propensity score matching. *Chin. Med. J.* 2018;131:1142–1150. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.231523>
- Babulka P. Evaluation of medicinal plants used in Hungarian ethnomedicine, with special reference to the medicinally used food plants. *Médicaments et aliments. L'approche Ethnopharmacol.* 1993;1:129–139.
- Pieroni A., Gray C. Herbal and food folk medicines of the Russlanddeutschen living in Künzelsau/Taläcker, South-Western Germany. *Phytother. Res.* 2008;22:889–890.
- Kim H., Song M.-J., Heldenbrand B., Kyoung C. A comparative analysis of ethnomedicinal practices for treating gastrointestinal disorders used by communities living in three national parks (Korea). *Evid-Based Complement Altern. Med.* 2014;2014:108037. <https://doi.org/10.1155/2014/108037>
- Abu-Irmaileh B.E., Afifi F.U. Herbal medicine in Jordan with special emphasis on commonly used herbs. *J. Ethnopharmacol.* 2003;89:193–197. <https://doi.org/10.1016/s0378-874100283-6>
- Cojocar A., Munteanu N., Petre B.A., Stan T., Teliban G.C., Vintu C., Stoleru V. Biochemical and production of rhubarb under growing technological factors. *Rev. Chim.* 2019;70:2000–2003. <https://doi.org/10.37358/RC.19.6.7263>
- Kolodziejczyk-Czepas J., Liudvytska O. *Rheum rhaponticum* and *Rheum rhabarbarum*: A review of phytochemistry, biological activities and therapeutic potential. *Phytochem Rev.* 2021;20:589–607. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09715-3>
- Öztürk M., Öztürk F.A., Duru M.E., Topcu G. Antioxidant activity of stem and root extracts of rhubarb (*Rheum ribes*): An edible medicinal plant. *Food Chem.* 2007;103:623–630. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.005>
- Mezeyová I., Mezey J., Andrejiová A. The effect of the cultivar and harvest term on the yield and nutritional value of rhubarb juice. *Plants* 2021;10:1244. <https://doi.org/10.3390/plants10061244>
- Pájaro N.P., Granados Conde, C., Torrenegra Alarcón M.E. Actividad antibacteriana del extracto etanólico del peciolo de *Rheum rhabarbarum*. *Reva Colomb Cienc Qui'micoFarmaceuticas.* 2018;47:26–36.
- Cojocar A., Vlase L., Munteanu N., Stan T., Teliban G.C., Burducea M., Stoleru V. Dynamic of phenolic compounds, antioxidant activity, and yield of rhubarb under chemical, organic and biological fertilization. *Plants.* 2020;9(3):355. <https://doi.org/10.3390/plants9030355>
- Kharchenko V., Golubkina N., Tallarita A., Bogachuk M., Kekina H., Moldovan A., Tereshonok V., Antoshkina M., Kosheleva O., Nadezhkin S., Caruso G. Varietal Differences in Juice, Pomace and Root Biochemical Characteristics of Four Rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L.) Cultivars. *BioTech.* 2023;12,12. <https://doi.org/10.3390/biotech12010012>
- Umar A.S., Iqbal M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. *Agron. Sustain. Dev.* 2007;27:45–57. <https://doi.org/10.1051/agro:2006021>
- Santamaria P. Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agr.* 2006;86:10–17.
- Franceschi V., Nakata P. Calcium oxalate in plants: Formation and function. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2005;56:41–71.
- Prasad R., Shivay Y.S. Calcium as a plant nutrient. *Int. J. Bio-Res. Stress Manag.* 2020;11:iii. <https://doi.org/10.23910/1.2020.2075a>
- Allsopp A. Seasonal changes in the organic acids of rhubarb (*Rheum hybridum*). *Biochem. J.* 1937;31:1820–1829. <https://doi.org/10.1042/bj0311820>
- Golubkina N., Kharchenko V., Bogachuk M., Koshevarov A., Sheshnitsan S., Kosheleva O., Pirogov N., Caruso G. Biochemical characteristics and elemental composition peculiarities of *Rheum tataricum* L. in semi-desert conditions and of European garden rhubarb. *Int. J. Plant Biol.* 2022;13:368–380. <https://doi.org/10.3390/ijpb13030031>
- Saradhludhat P., Paull R.E. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. *Sci. Hort.* 2007;112:297–303
- Albertini M.V., Carcouet E., Pailly O., Gambotti C., Luro F., Berti L. Changes in organic acids and sugars during early stages of development of acidic and acidless citrus fruit. *J. Agr. Food Chem.* 2006;54:8335–8339.
- Wu B.H., Quilot B., Génard M., Kervella J., Li S.H. Changes in sugar and organic acid concentrations during fruit maturation in peaches, *P. davidiana* and hybrids as analyzed by principal component analysis. *Sci. Hort.* 2005;103:429–439.
- Kabuo N.O., Omeire G.C., Ibeabuchi J.C. Extraction and preservation of cashew juice using sorbic and benzoic acids. *Am. J. Food Sci. Technol.* 2015;3:48–54. <https://doi.org/10.12691/ajfst-3-2-4>
- Cakir R., Cargi-Mehmetoglu A. Sorbic and benzoic acid in non-preservative-added food products in Turkey. *Food Addit. Contam. Part B Surveillance.* 2013;6:47–54. doi: 10.1080/19393210.2012.722131
- Basu T.K., Ooraikul B., Garg M. The lipid lowering effects of rhubarb stalk fiber: A new source of fiber. *Nutr. Res.* 1993;13:1017–1024. <https://doi.org/10.1016/S0271-531780521-4>
- Chandel V., Biswas D., Roy S., Vaidya D., Verma A., Gupta A. Current Advancements in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications. *Foods.* 2022;11:2683. <https://doi.org/10.3390/foods11172683>