



# ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ, БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА КИТАЙСКОЙ БРОККОЛИ – НОВОЙ ДЛЯ РОССИИ ОВОЩНОЙ КУЛЬТУРЫ

## RESULTS OF SSR ANALYSIS, PROPERTIES OF PLANT MORPHOLOGY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF CHINESE BROCCOLI – A NEW VEGETABLE CROP FOR RUSSIA

Фотев Ю.В.<sup>1</sup> – кандидат с.-х. наук, с.н.с.  
Артемьева А.М.<sup>2</sup> – кандидат с.-х. наук, зав. отделом генетических ресурсов  
овощных и бахчевых культур  
Фатеев Д.А.<sup>2</sup> – аспирант, м.н.с.  
Наумова Н.Б.<sup>3</sup> – с.н.с, кандидат биол. наук  
Бугровская Г.А.<sup>3</sup> – ведущий инженер  
Белоусова В.П.<sup>1</sup> – н.с.  
Кукушкина Т.А.<sup>1</sup> – с.н.с.

Fotev Y.V.<sup>1</sup>,  
Artemyeva A.M.<sup>2</sup>,  
Naumova N.B.<sup>3</sup>,  
Bugrovskaya G.A.<sup>3</sup>,  
Belousova V.P.<sup>1</sup>,  
Kukushkina T.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Центральный Сибирский Ботанический сад СО РАН  
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101  
E-mail: fotev\_2009@mail.ru

<sup>1</sup> Central Siberian Botanical Garden CB RAS  
101 Zolotodolinskaya, Novosibirsk 630090, Russia  
E-mail: fotev\_2009@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт  
генетических ресурсов растений имени  
Н. И. Вавилова» (ВИР)  
190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44  
E-mail: akme11@yandex.ru

<sup>2</sup> Federal Research Center the N.I.Vavilov  
All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)  
42-44, B.Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia  
E-mail: akme11@yandex.ru

<sup>3</sup> ФГБНУ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2  
E-mail: nnaumova@mail.ru

<sup>3</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
8/2 Akademika Lavrentieva, Novosibirsk 630090, Russia  
E-mail: nnaumova@mail.ru

Приведены результаты оценки параметров роста и развития, SSR анализа, электронно-микроскопического исследования поверхности пыльцы и семян, биохимического состава, содержания макро- и микроэлементов в стеблевой части растений 8 образцов китайской брокколи *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, выращенных в условиях необогреваемой пленочной теплицы ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск (54°49'33" с.ш. 83°06'34" в.д.) и фитотрона. При исследовании поверхности семенной кожуры (спермодермы) семян видов рода *Brassica* L. установлено сходство крупной ячеистости поверхности семян *B. oleracea* var. *alboglabra* (сортобразец "Siji Xianggu jie lan" ("SX") с семенами *B. oleracea* var. *capitata* f. *alba*, cv. *Слава*. При электронно-микроскопическом исследовании пыльцы китайской брокколи ("SX") отмечено формирование в пыльниках кольчатой пыльцы эллипсоидного очертания, размером 32,9±0,76 × 17,8±0,42 мкм, характеризующейся фовеолятной орнаментацией, с соотношением длины к диаметру 1,85. Продолжительность периода от всходов до технической спелости, характеризующейся утолщением стебля китайской брокколи ("SX") и переходом растений к бутонизации, продолжался 49-54 суток. Установлена тесная корреляционная связь между наибольшим диаметром стебля и длиной черешка листа ( $r=0,87$ ,  $p < 0,001$ ), а также между длиной черешка листа и массой товарной части стебля ( $r=0,77$ ,  $p < 0,001$ ). В результате молекулярно-генетического скрининга 5 SSR маркерами (Na10D09, OI12F02, Ra2E12, BC 7 и BC 65) наибольший полиморфизм был при скринировании исследуемого материала маркером BC 7 – пять аллелей размером от 160 до 295 п.н. У образца "SX" цветение единичное (10%) наступало на 59-63 сутки, массовое цветение (75%) – на 65-68 сутки. Стеблевая часть *B. oleracea* var. *alboglabra* является достаточно хорошим источником витамина С, накапливая 32-46 мг%, также отличается повышенной концентрацией К, Са, Mg и Си. В конце сезона плоды вместе со срезанной фитомассой стеблей в течение 3-4 недель хорошо дозариваются, формируя полноценные семена со всхожестью выше 85%, соответствующая стандарту (ГОСТ 32592-2013) для семян капусты белокочанной.

**Ключевые слова:** *Brassica oleracea* var. *alboglabra*; SSR анализ, морфология растений, рост и развитие, электронная микроскопия, пыльца, семена, биохимический состав, содержание макро- и микроэлементов.

**Для цитирования:** Фотев Ю.В., Артемьева А.М., Фатеев Д.А., Наумова Н.Б., Бугровская Г.А., Белоусова В.П., Кукушкина Т.А. ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ, БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА КИТАЙСКОЙ БРОККОЛИ – НОВОЙ ДЛЯ РОССИИ ОВОЩНОЙ КУЛЬТУРЫ. Овощи России. 2018;(1):12-19. DOI:10.18619/2072-9146-2018-1-12-19

The results of estimation of growth and development parameters, SSR analysis, electron microscopic examination of the surface of pollen and seeds, biochemical composition (ascorbic acid, carotenoids, carotenes, macro- and microelements content in the stem part of plant) of 8 Chinese broccoli, *Brassica oleracea* var. *alboglabra* samples grown in the unheated greenhouse of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk (54°49'33" N, 83°06'34" E) and phytotron of N. I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR) have been presented. Through the study, the large surface cellularity of *B. oleracea* var. *alboglabra* (cv. "Siji Xianggu jie lan" ["SX"]) seeds was similar with seed coat surface of *B. oleracea* var. *capitata* f. *alba* cv. "Slava". A scanning electron microscopic study of Chinese broccoli pollen (cv. "SX") revealed the formation of colpate pollen with ellipsoidal shape with a size of 32.9 ± 0.76 × 17.8 ± 0.42 μm, characterized by foveolate ornamentation with a length-to-diameter ratio – 1.85. The duration of the period from emergence stage to thickening of a stalk and flower-bud formation of cv. "SX" continued for 49-54 days. Close correlation was established between the largest diameter of the stem and the length of the leaf petiole ( $r=0,87$ ,  $p < 0,001$ ) and between the length of the leaf petiole and the weight of the stem ( $r=0,77$ ,  $p < 0,001$ ). As a result of molecular screening of Chinese broccoli using 5 SSR markers (Na10D09, OI12F02, Ra2E12, BC 7 и BC 65) the greatest polymorphism was in the test with the BC 7 marker - five alleles from 160 to 295 bp in size. In the "SX" variety single flowering (10%) occurred on 59 ... 63 day and mass flowering (75%) – on 65 ... 68 day. The stem part of *B. oleracea* var. *alboglabra* is a fairly good source of vitamin C, accumulating as much as 32-46 mg/100 g, and also increased concentration of K, Ca, Mg and Cu.

At the end of the season the fruits, together with the phytomass of stems are well-seasoned for 3-4 weeks forming viable seeds with germination above 85% corresponding to the Russian state standard (GOST 32592-2013) for white cabbage seeds.

**Key words:** *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, SSR analysis, plant morphology, growth and development, scanning electron microscopy, pollen, seeds, biochemical composition, macro- and microelements.

**For citation:** Fotev Y.V., Artemyeva A.M., Naumova N.B., Bugrovskaya G.A., Belousova V.P., Kukushkina T.A. RESULTS OF SSR ANALYSIS, PROPERTIES OF PLANT MORPHOLOGY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF CHINESE BROCCOLI – A NEW VEGETABLE CROP FOR RUSSIA. Vegetable crops of Russia. 2018;(1):24-27. (In Russ.) DOI:10.18619/2072-9146-2017-5-12-19

## Введение

Среди всего разнообразия капустных культур, выращиваемых в России, китайскую брокколи, или кай-лан, или чие-лан (кит. 芥兰 или 芥蓝) – *Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* (L.H.Bailey) Musil. (Syn.: *Brassica alboglabra* L.H. Bailey [2n=18, геном С] в полной мере можно отнести к малораспространенным в нашей стране видам овощных растений. В отличие от большинства распространенных в Европе разновидностей вида *B. oleraceae* L. китайская брокколи представляет собой культивген, происхождение которого связано с южными и центральными районами Китая [1]. Результаты молекулярно-генетических исследований показали тесную связь ее с португальской капустой, тронхудой (*Chou tronchuda*, *B. oleraceae* L. var. *costata* DC) [2]. Есть предположение, что первые португальские мореплаватели завезли тронхуду в Китай, где она за сотни лет доместикации превратилась в современные формы кай-лан. В настоящее время культура широко распространена и выращивается в КНР и других странах Юго-Восточной Азии, входя в топ 10 наиболее важных овощных культур на рынке этих стран (например, Таиланда) [3]. Растение характеризуется утолщенным стеблем с небольшим числом мелких цветочных головок, сходных с капустой брокколи, листьями овальной формы с голубовато-зеленой окраской и обычно белой (иногда желтой, как у сорта Fuzhou-Huanghua [4]) окраской лепестков цветка, достигает высоты 0,4 м в вегетативной стадии и 1-2 м к концу цветения [5]. При этом культура достаточно скороспелая: фаза цветения наступает через 55-80 суток после посева. Листья покрыты развитым слоем эпикутикулярного воска, определяющего уровень устойчивости к некоторым заболеваниям, в частности, к альтернариозу [6]. Кроме того, образцы *B. oleracea* var. *alboglabra* из Японии обладают устойчивостью к сосудистому бактериозу, детерминированной действием генов R1, r5 [7]. В КНР эта культура выращивается, преимущественно, на юге – в провинциях Гуандун, Юньнань и Гуанси. В провинции Гуандун культивируется с VIII века [8].

В пищу используют цветочные побеги и молодые листья этой культуры. Обычно нежные побеги тушат в растительном масле [9], иногда с добавлением имбиря и чеснока. Вид используется в меж- и внутривидовой гибридизации [10; 11], а также в селекционно-генетических экспериментах, для картирования QTL [12]. Его таксономическое положение требует уточнения [13]. Получившие распространение SSR маркеры были использованы не только для анализа полиморфизма видов рода *Brassica* и разновидностей капусты, но и (вместе с EST-SSR и SRAP маркерами) использованы для конструирования первой генетической карты сцепления *B. oleracea* var. *alboglabra* [14]. При этом морфологические параметры весьма важны в дальнейших исследованиях для интерпретации результатов, полученных при использовании маркеров [15].

Китайская брокколи является ценным источником антиоксидантов и веществ, обладающих антикарциногенным действием [15]. Установлено, что наивысшей кон-

Таблица 1. Сортообразцы *B. oleracea* var. *alboglabra*, использовавшиеся в исследовании

Table 1. *B. oleracea* var. *alboglabra* accessions used in the study

№ п/п	Сортообразец, № по кат. ВИР	Местонахождение в коллекции
1.	Siji Xianggu jie lan ("SX")	ЦСБС СО РАН*
2.	White flow small, к-144	ВИР**
3.	Без названия, к-447	ВИР**
4.	Kuaida siji Jielan, к-618	ВИР**
5.	Без названия, вр.к-1075	ВИР**
6.	Kailan, вр.к-1076	ВИР**
7.	Wan Yang Cu, вр.к-1117	ВИР**
8.	Без названия, вр.к-1252	ВИР**

\* - ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (ЦСБС СО РАН);

\*\* - ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР).

центрацией нутриентов и наибольшей концентрацией антиоксидантов в ней обладают цветочные побеги, в меньшей степени листья [16, 17]. Данные, полученные в Таиланде, показывают, что *B. oleracea* var. *alboglabra* – богатый источник кальция, содержание которого достигает 13 870±540 мкг/г [18]. Есть данные, что китайская брокколи по сравнению с другими культурами (например, с фасолью обыкновенной) более устойчива к накоплению Pb и Cd в своем составе [19].

Таким образом, с учетом важных положительных достоинств культуры – достаточно короткого вегетационного периода, использования в пищу всех надземных частей растения (листьев, стебля и цветочных побегов), их ценного биохимического состава, становится понятным, что китайская брокколи является перспективной культурой для возделывания в нашей стране. Эта малораспространенная разновидность капусты вполне заслуживает усилий по ее дальнейшему изучению и распространению, в том числе в направлении создания сортов, лучше адаптированных к условиям произрастания в регионах России.

Целью исследования было оценить морфометрические показатели роста и развития сортообразцов китайской брокколи, провести электронно-микроскопическое исследование пыльцы и спермодермы семян, оценить биохимический состав, в том числе содержание макро- и микроэлементов, а также полиморфизм при скринировании исследуемого материала SSR маркерами.

## Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований использовали семена и растения 8 образцов китайской брокколи *B. oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey из КНР (табл.1).

Сортообразец "SX" находился в изучении в 2012-2016 годах при выращивании в условиях неотапливаемой пленочной теп-

лицы ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск (54°49'33" с. ш. 83°06'34" в. д.). Семена на рассаду высевали 24-28 апреля. Весной перед боронованием почвы в грунт вносили минеральное комплексное удобрение в дозе 90 г/м<sup>2</sup> с соотношением N : P : K 1 : 2 : 1. Использовали тепличный субстрат на основе верхнего торфа. Растения высаживали на постоянное место 25-29 мая со схемой посадки 20 x 45 см и выращивали до конца вегетационного периода. В 2017 году в изучение морфологических признаков и биохимического состава включили еще 7 форм *B. oleraceae* var. *alboglabra* в условиях фитотрона ВИРа (г.С.-Петербург) и генетического полиморфизма с помощью SSR-маркеров. Температурный режим в фитотроне был 18...20°C; освещенность – 5000 люкс; фотопериод – 12 часов.

Морфометрические показатели измеряли на 55-е сутки после массовых всходов. Определяли высоту растений, количество листьев, толщину стебля у корневой шейки, наибольший диаметр стебля, длину выроста листа, длину черешка листа и массу товарной части стебля.

Для электронно-микроскопического исследования использовали семена сортообразца "SX", электронный сканирующий микроскоп HITACHI TM-1000. В исследование включили семена *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, а также *Brassica oleraceae* L. var. *capitata* L. f. *alba* DC, сорт Слава (Россия); *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt, сорт Xing Dian 2 (КНР); *Brassica rapa* L. ssp. *chinensis* (L.) Hanelt, сорт Nong Yuan Piao ErBai (КНР). Перед микроскопированием семена выдерживали 12 ч во влажной камере при 100% относительной влажности воздуха. В каждом образце вида использовали от 5 до 10 шт. семян.

Для выделения ДНК использовали модифицированный метод Д.Б.Дорохова и Э.Клоке, 1997 [20]. ДНК выделяли из семян, растительные ткани гомогенизировали с помощью гомогениза-

Таблица 2. Связь некоторых маркеров с признаками по предшествующим исследованиям

Table 2. Relationship of some markers with traits on previous studies

Маркер	Ожидаемый размер ампликона	Признак
Na10D09	150-170 п.н.	Длина черешка, поверхность пластинки, окраска
O112F02	180 п.н.	Окраска и опущение листа, содержание глюкозинолатов
Ra2E12	189 п.н.	Длина, ширина листа, ширина стручка, продолжительность периода от массовых всходов до
BC 7	150-310 п.н.	Количество листьев, устойчивость к тле, масса 1000 семян
BC 65	190-215 п.н.	Ширина черешка листа

тора (Geno/Grinder, Великобритания) в присутствии экстракционного буфера.

Реакцию ПЦР для проведения SSR анализа осуществляли в 20 мкл реакционной смеси. В смесь добавляли: 10 х инкубационный буфер (2 мкл), 0,5 мкл каждого dNTP (10 мМ), по 0,4 мкл каждого праймера (10 пикомоль/мкл), 0,3 мкл Taq ДНК-полимеразы (5 ед/мкл) (Евроген, Россия) и 100 нг геномной ДНК. Амплификацию осуществляли в ДНК амплификаторе (BioRad, Германия), запрограммированном на 37 циклов: первичная денатурация при 95°C 3 мин; денатурация при 95°C 1 мин, отжиг праймеров при 56°C 40 сек, элонгация при 72°C 40 сек (37 циклов); финальная элонгация – 72°C 3 мин.

ПЦР продукты разделяли электрофорезом в горизонтальных 2% агарозных гелях в буфере TBE с последующей окраской бромистым этидием. Для визуализации и документации полученных данных использовали геледокументирующую систему (BioRad, Германия).

В исследовании были использованы 5 SSR маркеров, генетически сцепленных с хозяйственно ценными биохимическими и морфологическими признаками (табл.2). Информация о праймерах была получена из электронной базы данных маркеров капустных культур John Innes Centre (brassica.nbi.ac.uk). Молекулярные маркеры группы Na, O1 и Ra были разработаны в Великобритании и использовались для составления генетических карт инбредных линий *B. oleracea* spp. *albobolabra* A12Dhd [21] и картирующих популяций *B. gara* DH30 и DH38. Маркеры группы BC были созданы в Китае и использованы для определения полиморфизма среди образцов капусты пекинской.

#### Подготовка фитомассы к анализу.

Образцы фитомассы высушивали при 65°C в течение 12 часов с принудительной вентиляцией. Высушенную массу измельчали в ступке и тщательно перемешивали, после чего отбирали аликвоты для анализа. Содержание общего азота (N) и углерода (C) определяли с помощью элементного (CHN) анализатора Perkin Elmer 2400 (Вольтхэм, США). Общее содержание некоторых макро- и микроэлементов и тяжелых металлов (K, Na, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe) определяли после сухого озоления растительного материала при 500°C в течение 4 часов с помощью атомно-адсорбционного спектрофотометра. Все анализы выполняли в 3-х кратной повторности. Содержание подвижных K, Na, Ca и Mg определяли

атомно-адсорбционным методом в аммонийно-ацетатной вытяжке.

Биохимические исследования включали определение в стеблевой части растений в условиях фитотрона содержания сухого вещества, аскорбиновой кислоты (мг% на сырой вес), хлорофилла а и b (мг/100 г), каротиноидов, каротинов и β-каротина (на сухую массу), а при выращивании образца "SX" в условиях пленочной неотапливаемой ЦСБС СО РАН – сухого вещества, аскорбиновой кислоты (мг% на сырой вес), сахаров (%), кислотности (%), дубильных веществ (%), катехинов (%), суммы каротиноидов (мг%), пектина и протопектина (%) – на сухой вес, согласно общепринятой методики [22].

Статистическую обработку данных проводили методами описательной статистики с помощью статистического пакета Statistica 6.0. В тексте и таблицах приводятся среднее выборочное и ошибка выборочной средней (±).

#### Результаты и обсуждение

В условиях пленочной неотапливаемой теплицы ЦСБС СО РАН продолжительность периода от всходов до технической спелости, характеризующейся утолщением стебля китайской брокколи и переходом растений к бутонизации, у сортообразца "SX", составляет 49-54 суток. К этому времени растения достигают в высоту 38,3±2,71 см (min-max: 28-48 см) Окраска листьев темно-зеленая (в кодировке Нех: #708153), поверхность покрыта слоем эпикутикулярного воска.

Сортообразцы китайской брокколи в условиях фитотрона различались по морфометрическим признакам и массе товарной части стебля (табл.3). Формы к-447, вр.к-1117 и к-144 характеризовались наибольшей высотой растений – от 47,0 до 49,3 см. Наибольшим диаметром товарной части стебля отличались формы вр.к-1076, вр.к-1117 и "SX", находившийся в изучении в неотапливаемой пленочной теплице ЦСБС СО РАН. В отличие от большинства других форм китайской брокколи, характеризующихся белыми цветками, образец к-447 имел бледно-желтые цветки. Форма вр.к-1075, с отношением длины к ширине листа (l/d) равным 1,0 и компактным габитусом, выделялась также декоративностью.

Особый морфологический признак – вырост листа, имели два образца (вр.к-1117 и "SX"). Среди сортообразцов, изучавшихся в условиях фитотрона наибольшая масса товарной части стебля

(111,2±10,5 г) отмечена у формы к-618, при среднем показателе для всех образцов – 92,6 г. Форма "SX" в ЦСБС СО РАН сформировала значительно большую массу стебля, более чем в два раза превысив массу этого образца, что, вероятно, можно объяснить более высокой освещенностью в теплице и другими условиями.

Установлена тесная корреляционная связь между наибольшим диаметром стебля и длиной черешка листа ( $r=0,87$ ,  $p < 0,001$ ), а также между длиной черешка листа и массой товарной части стебля ( $r=0,77$ ,  $p < 0,001$ ).

Результаты анализа морфометрических данных методом главных компонент (рис. 1 а, б) показали разделение образцов по первым двум главным компонентам, обусловившим 79% общей дисперсии данных. Расположение переменных анализа, т.е. морфометрических показателей, в плоскости первых двух главных компонент, позволяет связать это различие в первую очередь с такими значимыми характеристиками, как диаметр стебля и его масса, длина черешка, наличие (длина) выроста листа. Использование корреляционной матрицы показало, что в первую группу вошли сортообразцы к-144, к-618, вр.к-1075, вр.к-1076 и вр.к-1252, во вторую – к-144 и к-447, в третью (несмотря на условность сравнения образца, выращенного в других условиях) – "SX". Тесно коррелировали между собой в группе признаки: наибольший диаметр стебля, длина черешка, наличие (длина) выроста листа и масса товарной части стебля. Также тесную взаимосвязь наблюдали в парах признаков: длина и ширина листа, толщина стебля на уровне корневой шейки и отношение длины к ширине листа. Независимо от других были распределены признаки: высота растений и число листьев на растении.

В результате молекулярно-генетического скрининга 5 SSR маркерами 8 образцов китайской брокколи уровень полиморфизма составил 15 полиморфных фрагментов размером от 139 до 295 пар нуклеотидов (табл.4). Наибольший полиморфизм был при скринировании исследуемого материала маркером BC 7, связанного с количеством листьев, пять аллелей размером от 160 до 295 п.н. Интересно, что максимальное (относительно других использованных маркеров), количество полиморфных фрагментов при его использовании соответствовало независимо, относительно других, расположению признака «количество листьев на растении» в полуплоскости первой главной компоненты.

В дальнейшем для анализа полиморфизма разных признаков этой культуры необходимо использовать и другие группы маркеров, что подтверждается работой китайских исследователей. В работе J. Zhang и L.G. Zhang (2014) [23] были получены данные о значительной генетической изменчивости среди 21 образца китайской брокколи на основе использования RAPD и SRAP маркеров при довольно противоречивых результатах кластеризации разными группами маркеров. Авторы объяснили причину различий тем, что RAPD и SRAP маркеры задействуют разные участки генома.

Таблица 3. Морфометрическая характеристика сортообразцов китайской брокколи в возрасте 55 суток

Table 3. Morphometric characteristics of Chinese broccoli accessions at the age of 55 days

Сортообразец	Высота, см	Количество листьев, шт.	Толщина стебля у корневой шейки, мм	Наибольший диаметр стебля, мм	Лист			Длина выроста листа	Длина черешка листа	Масса товарной части стебля, г
					длина (l)	ширина (d)	l/d			
к-144	47,0 ±6,06	11,0 ±0,41	11,12 ±0,43	20,25 ±1,38	23,4 ±1,81	17,0 ±1,18	1,4	0,0	11,3 ±0,66	100,0 ±16,8
к-447	48,3 ±3,12	9,0 ±0,5	11,0 ±0,35	13,0 ±0,67	19,5 ±1,3	14,4 ±1,41	1,4	0,0	8,2 ±1,1	78,0 ±13,7
к-618	45,0 ±3,19	7,0 ±0,45	10,0 ±0,32	20,0 ±4,62	18,1 ±2,07	14,6 ±1,24	1,2	0,0	10,6 ±0,93	111,2 ±10,5
вр.к-1075	34,6 ±2,99	10,6 ±0,4	9,2 ±0,2	18,2 ±0,58	13,5 ±0,67	13,1 ±0,4	1,0	0,0	8,9 ±0,46	73,2 ±4,88
вр.к-1076	40,0 ±5,26	7,9 ±0,88	8,9 ±1,41	23,5 ±3,77	17,8 ±2,19	14,5 ±1,92	1,2	0,0	13,6 ±1,72	103,8 ±13,0
вр.к-1117	49,25 ±3,97	7,5 ±0,29	9,5 ±0,35	24,25 ±1,03	18,25 ±1,11	16,0 ±0,91	1,1	5,5 ±0,28	11,0 ±0,71	87,6 ±13,57
вр.к-1252	35 ±3,5	7,5 ±0,29	7,75 ±0,38	17,25 ±0,85	13,37 ±0,55	12,87 ±0,31	1,0	0,0	8,17 ±0,44	94,2 ±8,39
"SX" *	35,9 ±3,55	9,4 ±0,31	13,5 ±0,52	35,0 ±1,80	40,5 ±0,83	25,0 ±0,96	1,6	6,7 ±0,45	15,0 ±0,49	228,1 ±23,0

\* Сортообразец "SX" выращивали в необогреваемой пленочной теплице ЦСБС СО РАН.

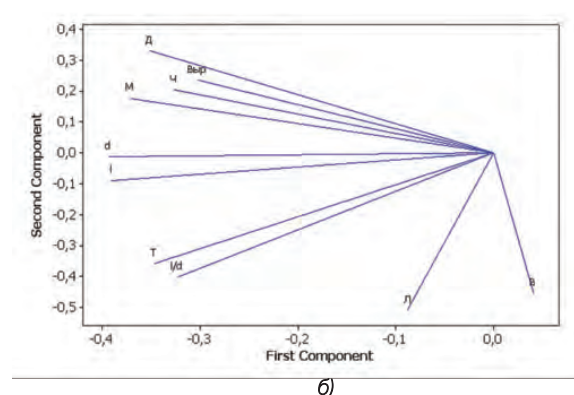
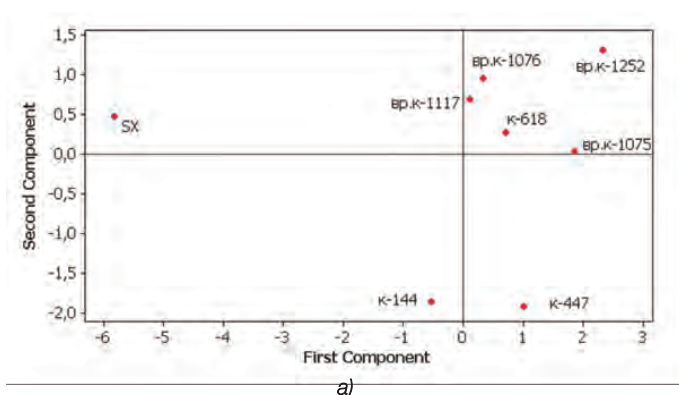


Рис. 1. Анализ методом главных компонент матрицы данных с сортообразцами китайской брокколи в качестве объектов (а) и морфометрическими показателями растений (б) в качестве переменных анализа: расположение переменных в плоскости первых двух главных компонент. Обозначения: В - высота растения, l - число листьев, l и d - длина и ширина листа, l/d - отношение длины листа к его ширине, Т - толщина стебля на уровне корневой шейки, Д - диаметр стебля, Ч - длина черешка листа, Выр - наличие (длина) выроста листа; М - масса товарной части стебля.

Fig. 1. Principal component analysis of the data from the matrix with Chinese broccoli accessions as objects (a) and morphometric indices of plants (b) as variables: the location of variables in the plane of the first two principal components. Designation: B - height of the plant, l - number of leaves, l and d - length and width of the leaf, l/d - ratio of leaf length to its width, T - stem thickness at the root crown level, Ч - length of leafstalk, Выр - the presence (length) of the leaf outgrowth; M - mass of a product part of the stem.

Характерный вырост на листе, формирующийся из его центральной жилки у формы "SX" показан на рисунке 2.

Окраска цветков у большинства образцов китайской брокколи, за исключением к-447, имеющего бледно-желтую окраску, белая (Рис.3). У образца "SX" единичное (10%) цветение наступало на 59-63 сутки, массовое цветение (75%) - на 65-68 сутки. Ко времени окончания вегетации в пленочной теплице (последняя декада сентября) плоды и семена в плодах не успевали вызреть, однако плоды вместе со срезанной фитомассой стеблей в течение 3-4 недель хорошо дозариваются, формируя полноценные семена со всхожестью выше 85%, соответствуя стандарту (ГОСТ 32592-2013) для семян капусты белокочанной.

Плод - стручок, длина его  $4,7 \pm 0,09$ , ширина  $0,56 \pm 0,03$  см, с числом семян  $8,5 \pm 1,16$  шт. Полученные данные по длине стручка укладываются в размах варьиро-

Таблица 4. Уровень полиморфизма 8 образцов

*B.oleracea* var. *albolabra* при использовании 5 SSR маркеров

Table 4. Levels of polymorphism for 5 SSR markers on 8 *B.oleracea* var. *albolabra* accessions

Маркер	Количество полиморфных фрагментов	Размер полиморфных фрагментов
Na10-D09	3	140
		144
		154
O112F02	2	190
		194
BC 7	5	160
		167
		170
		190
		295
BC 65	2	261
		325
Ra2E12	3	139
		144
		154



Рис. 2. Общий вид растения *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, "SX". Стрелками показаны выросты листа.  
Fig. 2. General view of the *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, "SX" plant. The outgrowth of leaf are shown by arrows.



Рис. 4. Плод и семена *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, "SX". 1 деление=1 мм.  
Fig. 4. Fruit and seeds of *Brassica oleracea* var. *alboglabra*, "SX". 1 division = 1 mm.

вания этого показателя (44,8-71,4 мм) для вида *B. oleracea*, отмеченного в давнем и детальном исследовании таксономических признаков видов *Brassica* L. [24]. В этой работе число семян в плоде у *B. oleracea* var. *acephala* было 30,6 шт., или в 3,6 раза больше по сравнению с нашими данными, а у образца под названием 'Shealiehung chieh-tsai', вероятно, представляющего собой одну из форм *B. oleracea* var. *alboglabra* - 9,6 шт./плод. На рис.4 показаны плод и семена *B. oleracea* var. *alboglabra*, "SX". Семена коричневого цвета (в кодировке Нех: #5E3E23). Масса 1000 шт. семян  $3,58 \pm 0,120$  г.

При электронно-микроскопическом исследовании пыльцы китайской брокколи отмечено формирование в пыльниках кольчатой пыльцы эллипсоидного очертания, размером  $32,9 \pm 0,76 \times 17,8 \pm 0,42$  мкм, характеризующейся фовеолятной орнаментацией, с соотношением длины к диаметру 1,85 (Рис. 5). Морфометрические показатели пыльцевых зерен оказались близки к аналогичным показателям, полученным на виде *B. oleracea* в Японии [25] и Швеции [26].

При исследовании поверхности семенной кожуры (спермодермы) семян видов рода *Brassica* L. установлено сходство крупной ячеистости поверхности семян

*B. oleracea* var. *alboglabra*, "SX" с семенами *B. oleracea* var. *capitata* f. *alba*, сорт Слава (рис. 6). Семена экзотестального типа. На снимках этих двух образцов встречаются эпикуткулярные выделения (третичная скульптура), секретируемые эпикуткулярными структурами, в разной степени выраженности. Отмечено резкое отличие семенной кожуры этих образцов от форм *Brassica rapa* (ssp. *pekinensis* и ssp. *chinensis*). Поверхность спермодермы двух последних сортообразцов отличается мелкоячеистой, ретикулярной скульптурой поверхности.

Китайская брокколи накапливает в продукционной фитомассе (стебель) довольно много азота, фосфора, калия и кальция (табл.5). Благодаря этому атомные отношения элементов оказались довольно узкими (C/N=8,5; C/P=121 и N/P=16), что делает нетоварную фитомассу этой культуры хорошим материалом для компостирования, мульчирования и т.п. Хотя в нашем случае концентрация C и N в фитомассе стебля были выше, их стехиометрия была такой же, как в других исследованиях этой культуры [27]. Содержание других элементов близко к значениям, измеренным в других исследованиях [28], за исключением калия, которого в фитомассе "SX" оказалось почти в 2 раза больше, и цинка, которого было в среднем в 5 раз меньше.

Результаты биохимического исследования фитомассы стеблевой части китайской брокколи выращенной в условиях фитотрона показали значительные отличия между образцами (табл.6). Повышенным содержанием аскорбиновой кислоты отличались формы к-144 и к-618, накапливавшие ее, соответственно, на 23...31% и 16...27% больше, по сравнению с другими образцами. Данный показатель несколько выше его референтного



Рис. 3. Цветок и соцветие *B. oleracea* var. *alboglabra*, 'SX'.  
Fig. 3. Flower and inflorescence of *B. oleracea* var. *alboglabra*, 'SX'.



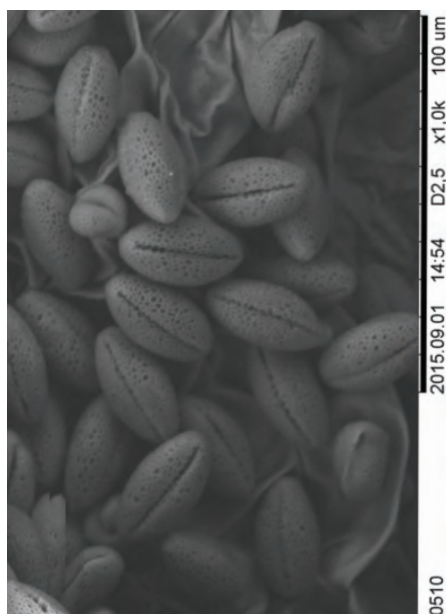


Рис. 5. Скульптура поверхности пыльцевых зерен *B. oleracea* var. *alboglabra*, "SX"  
Fig. 5. Pollen surface grain sculpture of *B. oleracea* var. *alboglabra*, "SX".

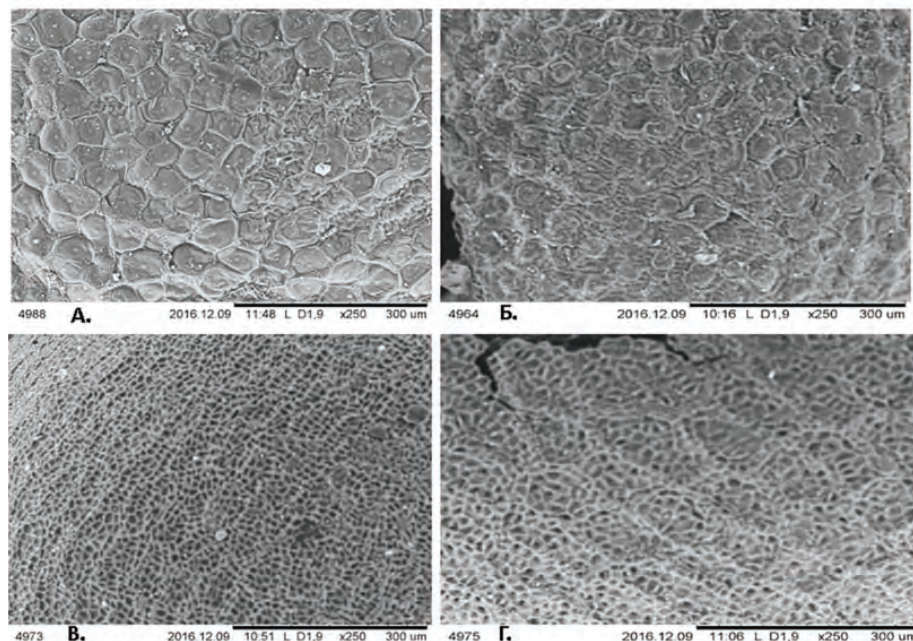


Рис. 6. Скульптура поверхности семян: А. *Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* (L.H.Bailey) Musil., "SX" (КНР); Б. *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba* DC, сорт Слава (Россия); В. *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt, 'Xing Dian 2' (КНР); Г. *Brassica rapa* L. ssp. *chinensis* (L.) Hanelt, 'Nong Yuan Piao ErBai' (КНР)

Fig. 6. Sculpture of the seed surface: A. *Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* (L.H.Bailey) Musil., "SX" (China); B. *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba* DC, 'Slava' (Russia); V. *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt, 'Xing Dian 2' (China); G. *Brassica rapa* L. ssp. *chinensis* (L.) Hanelt, 'Nong Yuan Piao ErBai' (China).

Таблица 5. Содержание некоторых макро- и микроэлементов в фитомассе стебля *B. oleracea* var. *alboglabra* "SX"  
Table 5. Content of some macro- and microelements in *B. oleracea* var. *alboglabra*, "SX" phytomass

Макроэлементы	%	Микроэлементы	мг/кг
C	36,7	Zn	10
N	5,04	Fe	100
P	0,7	Mn	4,9
K	6,6	Cu	5,4
Ca	1,4	Ni	21
Mg	0,32		

значения (29,6 мг%), приведенного на сайте Американского департамента сельского хозяйства (USDA) [29]. По другим данным [30], содержание аскорбиновой кислоты в китайской брокколи (сорт 'Suiho') может достигать 81 мг%. Интересно, что форма к-144 выделялась и по облиственности растений, сформировав листьев на 28% больше при более высоких (на 8...16%) их показателях длины и ширины (в сравнении со средними значениями по всем образцам). Высокое отношение суммы сахаров к кислотности говорит в пользу благоприятных органолептических показателей этого вида капусты.

Повышенным, относительно других образцов, содержанием хлорофилла а и b, их суммы, каротиноидов, в том числе  $\beta$ -каротина, соответственно, на 21-32, 13-30, 9-20 и 12-31%, отличалась желтоцветковая форма к-447. Все эти пигменты

рассматриваются в качестве важных пищевых ингредиентов для поддержания здоровья человека [31].

Форма "SX" при выращивании в условиях необогреваемой пленочной теплицы ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск отличалась высоким содержанием аскорбиновой кислоты (44,4 мг%), умеренным - каротиноидов (18,4 мг%) и низким - катехинов (0,08%) (табл. 7).

#### Заключение

При среднем показателе массы товарной части стебля для всех образцов кайлан, изучавшихся в условиях фитотрона – 92,6 г, наибольшая масса (111,2±10,5 г) была достигнута у формы Kuaida siji Jielan (к-618). В условиях пленочной необогреваемой теплицы этот же показатель у образца "Siji Xianggu jie lan" достиг 228,1±23,0 г. Наибольшим диаметром товарной части стебля отличались формы

Kailan (вр.к-1076), Wan Yang Cu (вр.к-1117) и "Siji Xianggu jie lan".

Ряд образцов китайской брокколи имел отличительные признаки: бледно-желтые, в отличие от белой окраски у большинства других форм, цветки у образца Без названия (к-447), характерный морфологический признак – вырост листа, размером 5,5-6,7 см у образцов Wan Yang Cu (вр.к-1117) и "Siji Xianggu jie lan", а также компактный габитус и выраженную декоративность – у формы Без названия, вр.к-1075. Установлена тесная корреляционная связь между наибольшим диаметром стебля и длиной черешка листа ( $r=0,87$ ,  $p < 0,001$ ), а также между длиной черешка листа и массой товарной части стебля ( $r=0,77$ ,  $p < 0,001$ ).

В результате молекулярно-генетического скрининга 5 SSR маркерами 8 образцов белоцветковой капусты уровень полиморфизма составил 15 полиморфных фрагментов раз-

Таблица 6. Результаты биохимического исследования фитомассы стеблевой части *B. oleracea* var. *alboglabra* при выращивании растений в условиях фитотрона

Table 6. The results of biochemical study of *B. oleracea* var. *alboglabra* phytomass stem part under phytotron conditions

Биохимические показатели	Сортообразцы						
	к-144	к-447	к-618	вр.к-1075	вр.к-1076	вр.к-1117	вр.к-1252
Сухое вещество, %	8,12	<b>8,48</b>	7,76	7,52	7,32	8,20	6,88
Аскорбиновая кислота, мг%	<b>46,24</b>	35,36	<b>43,52</b>	32,64	31,96	38,08	35,36
Хлорофилл А мг/100 г	184,50	244,21	202,18	201,06	195,77	170,83	164,07
Хлорофилл В мг/100 г	80,24	101,44	86,71	95,49	88,18	77,84	71,35
Сумма хлорофилла А + В мг/100 г	264,74	345,66	288,89	296,55	272,12	248,67	235,42
Каротиноиды мг/100 г	29,30	<b>39,04</b>	31,94	33,89	32,78	29,42	27,46
Каротины мг/100 г	9,75	<b>13,83</b>	12,52	11,18	11,11	9,64	9,34
$\beta$ -каротин мг/100 г	5,81	<b>7,65</b>	6,35	6,69	6,42	5,66	5,26

Форма "SX" при выращивании в условиях необогреваемой пленочной теплицы ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск отличалась высоким содержанием аскорбиновой кислоты (44,4 мг%), умеренным - каротиноидов (18,4 мг%) и низким - катехинов (0,08%) (Таблица 6).

Таблица 7. Результаты биохимического исследования фитомассы стеблевой части *B. oleracea* var. *alboglabra* cv. "SX"\*

Table 7. The results of biochemical study of the *B. oleracea* var. *alboglabra*, "SX" stem part biomass under glasshouse conditions \*

Сухое вещество, %	Аскорбиновая кислота, мг%	Сахара, %	Кислотность, %	Дубильные вещества, %	Катехины, %	Каротиноиды, мг%	Пектины, %	Протопектины, %
4,97	<b>44,4</b>	35,0	11,3	0,3	0,08	18,4	1,0	7,36

\* - растения выращивали в пленочной необогреваемой теплице ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск.

мером от 139 до 295 пар нуклеотидов. Наибольший полиморфизм был при скринировании исследуемого материала маркером BC 7 – пять аллелей размером от 160 до 295 п.н.

Полученные данные по морфометрии пыльцы и поверхности семян данного вида близки к аналогичным показателям у вида *Brassica oleraceae* L., полученным другими исследователями, что подтверждает статус данного вида капусты в качестве разновидности *B. oleraceae* L.

Результаты проведенного исследования показали ценные биохимические качества китайской брокколи: повышенную концентрацию K, Ca, Mg и Cu, высокое содержание аскорбиновой кислоты и сахаров. Желтоцветковая форма Без названия (к-447) выделялась более высоким, относительно других образцов, содержанием хлорофилла а и b, суммы каротиноидов, каротинов, в том числе  $\beta$ -каротина.

Китайская брокколи накапливает в продукционной фитомассе значительное количество биогенных элементов, что позволяет ее рассматривать в качестве перспективного мате-

риала при утилизации остатков для последующего компостирования или выращивания в качестве сидерата.

Достаточно короткий период от всходов до потребительской спелости (49 ... 54 дня) вместе с возможностью ведения семеноводства в течение одного вегетационного периода можно рассматривать как основу для позиционирования этой малораспространенной разновидности капусты в качестве перспективной культуры для овощеводческой отрасли Российской Федерации.

Работы выполнены в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН №0312-2017-0002 по проекту VI.52.1.2 «Анализ внутривидовой структуры ресурсных растений Азиатской России, отбор и сохранение генофонда» и государственных заданий ВИР АААА-А16-116040710369-4 «Раскрытие потенциала наследственной изменчивости культурных растений и их диких родичей по агрономическим и хозяйственно важным признакам с использованием полевых методов, выявление источников этих признаков» и АААА-А16-116040710366-3 «Идентификация и картиро-

вание генофонда важнейших сельскохозяйственных культур, формирование генетических коллекций с ценными для селекции аллелями генов и локусами количественных признаков».

При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534 и ВИР УНУ № USU\_505851.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

При подготовке публикации использовали материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

#### Conflicts of Interest:

The authors declare no conflict of interest.

## ● Литература

- Dixon G.R. Vegetable Brassicas and Related Crucifers. – Wallingford (UK): CABI, 2007. – 327 pp.
- Rana M.K., Reddy P.K. Chinese Broccoli / Chinese Kale. In: Vegetable Crop Science (Ed.: Rana M.K.), Chapter 33. London (UK): CRC Press. 2017. – 472p.
- Rakow G. Species Origin and Economic Importance of Brassica / In: Biotechnology in Agriculture and Forestry. Eds.: Pua E. C., Douglas C. J. Vol. 54. Brassica. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 2004. – P.3-11.
- Xue X., Jinhua G., Dan L., Yimei W., Yuxiao T., Qing C., Fen Zh., Haoru T., Bo S. Optimization of chromosome preparation and karyotype analysis of yellow-flower Chinese kale // J.Zhejiang Univ. (Agric. & LifeSci.). – 2016. V.42, N5. – P.527-534.
- Plant Resources of South-East Asia/ Brassica oleracea Chinese Kale (PROSEA). 2016. URL: [http://uses.plantnet-project.org/en/Brassica\\_oleracea\\_Chinese\\_Kale\\_\(PROSEA\)](http://uses.plantnet-project.org/en/Brassica_oleracea_Chinese_Kale_(PROSEA)) (дата обращения: 11.02.2018)
- Ганнибал Ф.Б., Гасич Е.Л., Орина А.С. Оценка устойчивости селекционного материала крестоцветных и пасленовых культур к альтернариозам. Методическое пособие. Под ред. М.М. Левитина. – С-Пб.: ГНУ ВИЗР Россельхозакадемии. – 2011. – 50 с.
- Буренин В. И., Артемьева А. М., Храпалова И. А., Пискунова Т. М., Кожанова Т. Н., Хмелинская Т. В. Генотипические характеристики коллекций овощных и бахчевых культур/ Труды по прикл. бот., ген. и сел. – 2009. Т.166. – С.20-26.
- Hong De-Yuan, Blackmore S. The plants of China. – Cambridge University Press, UK. 2015. – 488 pp.
- Hu S.-y. Food Plants of China. – Hong Kong: Chinese University Press. 2005. – 844 pp.
- Bothmer R., Gustafsson M., Snogerup S. Brassica sect. Brassica (Brassicaceae) II. Inter- and intraspecific crosses with cultivars of B. oleracea // Genet. Resources Crop Evol. – 1995. V.42, N 2. – P.165-178.
- Chen H. G., Wu J. S. Characterization of fertile amphidiploid between Raphanus sativus and Brassica alboglabra and the crossability with Brassica species// Genet. Resources Crop Evol. – 2008. V.55. – P.143-150.
- Guihua L., Guiquan Z., Yan Z., Kai L., Tingyao L., Hancai C. Identification of quantitative trait loci for bolting and flowering times in Chinese kale (Brassica oleracea var. alboglabra) based on SSR and SRAP markers// J.Hort.Sci.Biotech. – 2015. V.90, N6. – P.728-737.
- Артемьева А.М., Клоке Э., Чесноков Ю.В. Анализ филогенетических связей вида Brassica oleracea L. (Капуста огородная) // Вестник ВОГиС. – 2009. Т.13, № 4. – С. 759-771.
- Li G., Zhang G., Zhang Y., Kai Liu K., Tingyao Li T., Chen H. Identification of quantitative trait loci for bolting and flowering times in Chinese kale (Brassica oleracea var. alboglabra) based on SSR and SRAP markers// The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. – 2015. V. 90, N6. – P.728-737.
- Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // С.-х. биология. – 2015. Т.50, N5. – С.571-578.
- Wang Y.Q., Hu L.P., Liu G.M., Zhang D.S., He H.J. Evaluation of the nutritional quality of chinese kale (Brassica alboglabra Baileyusing UHPLC-quadrupole-orbitrap MS/MS-based metabolomics // Molecules. – 2017. V.22. N8. – P.1-17.
- Jun-lin Y., Xiao-yan Z., Xi-rong C., Pu-yan Z., Yun-yan K., Shi-fang L., Xian Y. Research on main nutritional components and active oxygen metabolism in Chinese kale (Brassica alboglabra Bailey// Guangdong Agricultural Sciences (广东农业科学). 2016 · V.43, N4. P.57-62 (In Chinese). doi : 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.04.012.
- Judprasong K., Ornthal M., Siripinyanonda A., Shiowatana J. A continuous-flow dialysis system with inductively coupled plasma optical emission spectrometry for in vitro estimation of bioavailability // J. Anal. At. Spectrom. – 2005. V.20. – P.1191-1196.
- Tom M., Fletcher T.D., McCarthy D.T. Heavy metal contamination of vegetables irrigated by urban stormwater: a matter of time? // PLoS ONE. – 2014. V. 9, N11. – P.1-21.
- Дорохов Д.Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов // Генетика. – 1997. Т. 33. № 4. – С. 358-365.
- Lowe A.J., Moule C., Trick M., Edwards K.J. Efficient large-scale development of microsatellites for marker and mapping applications in Brassica crop species // Theor. Appl.Genet. – 2004. V.108. – P.1103-1112.
- Ермаков А. И., Арасимович В.В., Ярош Н. П. И др. Методы биохимического исследования растений. Л.: Колос. – 1987. – 430с.
- Zhang J., Zhang L.G. Evaluation of genetic diversity in Chinese kale (Brassica oleracea L. var. alboglabra Bailey) by using rapid amplified polymorphic DNA and sequence-related amplified polymorphism markers // Genetics and Molecular Research. 2014. V.13, N2.– P.3567-3576.
- Sun V.G. The evaluation of taxonomic characters of cultivated Brassica with a key to species and varieties - I. The characters// Torrey Bot. Club Bull. – 1946. V.73, No.3. – P. 244-281.
- Hossain M.M., Inden H., Asahira T. Pollen morphology of interspecific hybrids of Brassica oleracea and B.campestris // HortScience. – 1990. V.25, N1. – P.109-111.
- Snogerup S., Gustafsson M., Von Bothmer R. Brassica sect. Brassica (Brassicaceae) I. Taxonomy and variation // Willdenowia. – 1990. V. 19. – P.271-365.
- La G., Fang P., Teng Y., Li Y., Lin X. Effect of CO2 enrichment on the glucosinolate contents under different nitrogen levels in bolting stem of Chinese kale (Brassica alboglabra L.) // J. Zhejiang Univ. Sci. B. – 2009. V.10, N6. – P.454-464.
- Kopsell D.E., Kopsell D.A., Lefsrud M.G., Curran-Celentano J. Variability in elemental accumulations among leafy Brassica oleracea cultivars and selections // J. Plant Nutr. – 2004. V. 27, N.10. – P.1813-1826.
- National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 slightly revised May, 2016. Agricultural Research Service/ USDA, 2016. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3602?manu=&fgcd=&ds=> (дата обращения: 11.02.2018).
- Kopta T., Pokluda R. Nutritional Parameters of Chinese Broccoli (Brassica oleracea var. alboglabra) under Organic Growing Conditions // Acta horticulturae. – 2015. No1099. – P. 339-345.
- Simpson B.K., Benjakul S., Klomkiao S. Natural Food Pigments/ In: Food Biochemistry and Food Processing, 2nd Edition. Edited by Simpson B.K., Leo M.L. Nollet, Fidel Toldrra, Soottawat Benjakul, Gopinadhan Paliyath and Y.H. Hui: John Wiley & Sons. – 2012. – P.704-722.

## ● References

- Dixon G.R. Vegetable Brassicas and Related Crucifers. Wallingford (UK): CABI, 2007. – 327 pp.
- Rana M.K., Reddy P.K. Chinese Broccoli / Chinese Kale. In: Vegetable Crop Science (Ed.: Rana M.K.), Chapter 33. London (UK): CRC Press. 2017. 472p.
- Rakow G. Species Origin and Economic Importance of Brassica / In: Biotechnology in Agriculture and Forestry. Eds.: Pua E. C., Douglas C. J. Vol. 54. Brassica. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 2004. P.3-11.
- Xue X., Jinhua G., Dan L., Yimei W., Yuxiao T., Qing C., Fen Zh., Haoru T., Bo S. Optimization of chromosome preparation and karyotype analysis of yellow-flower Chinese kale // J.Zhejiang Univ. (Agric. & LifeSci.).2016. V.42, N5. P.527-534.
- Plant Resources of South-East Asia/ Brassica oleracea Chinese Kale (PROSEA). 2016. URL: [http://uses.plantnet-project.org/en/Brassica\\_oleracea\\_Chinese\\_Kale\\_\(PROSEA\)](http://uses.plantnet-project.org/en/Brassica_oleracea_Chinese_Kale_(PROSEA)) (дата обращения: 11.02.2018)
- Gannibal F.B., Gasich E.L., Orina A.S. Evaluation of the resistance of cruciferous and nightshade crop breeding material to alternariosis. Toolkit. Ed.: M.M. Levitin. SPb.: GNU VIZR Rosselkhozakademii. 2011. 50 p. (In Russian).
- Burenin V.I., Artemyeva A.M., Hrapalova I.A., Piskunova T.M., Kozhanova T.N., Hmelinskaya T.N. Genotypic characteristics of vegetable and melon crop collections / Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2009. V.166. P.20-26. (In Russian).
- Hong De-Yuan, Blackmore S. The plants of China. Cambridge University Press, UK. 2015. 488 pp.
- Hu S.-y. Food Plants of China. Hong Kong: Chinese University Press. 2005. 844 pp.
- Bothmer R., Gustafsson M., Snogerup S. Brassica sect.Brassica (Brassicaceae) II. Inter- and intraspecific crosses with cultivars of B. oleracea // Genet. Resources Crop Evol.1995. V.42, N 2. P.165-178.
- Chen H. G., Wu J. S. Characterization of fertile amphidiploid between Raphanus sativus and Brassica alboglabra and the crossability with Brassica species// Genet. Resources Crop Evol. 2008. V.55. P.143-150.
- Guihua L., Guiquan Z., Yan Z., Kai L., Tingyao L., Hancai C. Identification of quantitative trait loci for bolting and flowering times in Chinese kale (Brassica oleracea var. alboglabra) based on SSR and SRAP markers// J.Hort.Sci.Biotech. 2015. V.90, N6. P.728-737.
- Artemyeva A.M., Klocke E., Chesnokov Yu.V. Molecular analysis of phylogenetic relationships of cabbage (Brassica oleracea L.) // Bulletin of VOGIS. 2009. V.13, No. 4. P. 759-771. (In Russian).
- Li G., Zhang G., Zhang Y., Kai Liu K., Tingyao Li T., Chen H. Identification of quantitative trait loci for bolting and flowering times in Chinese kale (Brassica oleracea var. alboglabra) based on SSR and SRAP markers// The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2015. V. 90, N6. P.728-737.
- Chesnokov Yu.V., Artemyeva A.M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity // Agricultural biology. 2015. T.50, N5. C.571-578. (in Russian).
- Wang Y.Q., Hu L.P., Liu G.M., Zhang D.S., He H.J. Evaluation of the nutritional quality of chinese kale (Brassica alboglabra Baileyusing UHPLC-quadrupole-orbitrap MS/MS-based metabolomics // Molecules. 2017. V.22. N8. P.1-17. Jun-lin Y., Xiao-yan Z., Xi-rong C., Pu-yan Z., Yun-yan K., Shi-fang L., Xian Y. Research on main nutritional components and active oxygen metabolism in Chinese kale (Brassica alboglabra Bailey// Guangdong Agricultural Sciences (广东农业科学). 2016 · V.43, N4. P.57-62 (In Chinese). doi : 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.04.012.
- Judprasong K., Ornthal M., Siripinyanonda A., Shiowatana J. A continuous-flow dialysis system with inductively coupled plasma optical emission spectrometry for in vitro estimation of bioavailability // J. Anal. At. Spectrom. 2005. V.20. P.1191-1196.
- Tom M., Fletcher T.D., McCarthy D.T. Heavy metal contamination of vegetables irrigated by urban stormwater: a matter of time? // PLoS ONE. 2014. V.9, N11. P.1-21.
- Dorokhov DB, Klocke E. A rapid and economic technique for RAPD analysis of plant genomes // Genetika. 1997. V. 33. № 4. P. 358-365. (In Russian).
- Lowe A.J., Moule C., Trick M., Edwards K.J. Efficient large-scale development of microsatellites for marker and mapping applications in Brassica crop species // Theor. Appl.Genet. 2004. V.108. P.1103-1112.
- Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. et al. Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Kolos. 1987. 430p. (In Russian).
- Zhang J., Zhang L.G. Evaluation of genetic diversity in Chinese kale (Brassica oleracea L. var. alboglabra Bailey) by using rapid amplified polymorphic DNA and sequence-related amplified polymorphism markers // Genetics and Molecular Research. 2014. V.13, N2. P.3567-3576.
- Sun V.G. The evaluation of taxonomic characters of cultivated Brassica with a key to species and varieties - I. The characters// Torrey Bot. Club Bull. 1946. V.73, No.3. P. 244-281.
- Hossain M.M., Inden H., Asahira T. Pollen morphology of interspecific hybrids of Brassica oleracea and B.campestris // HortScience. 1990. V.25, N1. P.109-111.
- Snogerup S., Gustafsson M., Von Bothmer R. Brassica sect. Brassica (Brassicaceae) I. Taxonomy and variation // Willdenowia. 1990. V. 19. P.271-365.
- La G., Fang P., Teng Y., Li Y., Lin X. Effect of CO2 enrichment on the glucosinolate contents under different nitrogen levels in bolting stem of Chinese kale (Brassica alboglabra L.) // J. Zhejiang Univ. Sci. B. 2009. V.10, N6. P.454-464.
- Kopsell D.E., Kopsell D.A., Lefsrud M.G., Curran-Celentano J. Variability in elemental accumulations among leafy Brassica oleracea cultivars and selections // J. Plant Nutr. 2004. V. 27, N.10. P.1813-1826.
- National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 slightly revised May, 2016. Agricultural Research Service/ USDA, 2016. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3602?manu=&fgcd=&ds=> (дата обращения: 11.02.2018).
- Kopta T., Pokluda R. Nutritional Parameters of Chinese Broccoli (Brassica oleracea var. alboglabra) under Organic Growing Conditions // Acta horticulturae. 2015. No1099. P. 339-345.
- Simpson B.K., Benjakul S., Klomkiao S. Natural Food Pigments/ In: Food Biochemistry and Food Processing, 2nd Edition. Edited by Simpson B.K., Leo M.L. Nollet, Fidel Toldrra, Soottawat Benjakul, Gopinadhan Paliyath and Y.H. Hui: John Wiley & Sons . 2012. P.704-722.