

CROP PRODUCTION

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.1.21.15>

Kibalnik O.P.^{1*}, Kameneva O.B.², Larina T.V.³, Semin D.S.⁴, Efremova I.G.⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Russian Research and Design–Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

* Corresponding author (kibalnik79[at]yandex.ru)

Received: 23.03.2022; Accepted: 24.03.2022; Published: 11.04.2022

A STUDY OF THE FRACTIONAL COMPOSITION OF SUGARS IN THE JUICE OF THE STEM OF SUGAR SORGHUM IN ARID CONDITIONS OF RUSSIA

Research article

Abstract

Sugar sorghum is an agricultural plant capable of generating a high content of water-soluble sugars in the juice of the stem (18–22%). Due to its biological characteristics, the cultivation of this crop opens up wide possibilities for use in various branches of the agro-industrial complex of arid regions of the world: it is an alternative source of raw materials in the preparation of rich and concentrated feeds used both in the food industry and as a renewable energy source. This article presents the results of the selection of starting material for the breeding of new F1 hybrids and varieties with a high content of both monosaccharides and disaccharides in the stem juice. The analysis of sugar content involved varieties, hybrids, and lines (93 in total) bred at the Institute of RosNIISK "Rossorgo". The study identifies samples with different ratios of mono- and disaccharides from 8,9:86,6% to 97,0:2,8%, respectively. To increase the sucrose content in the stem juice, it is proposed to involve the "Kapital" variety and the lines L-75, L-21, L-5, L-4 in the breeding process, in which the ratio of disaccharides is 17.74–19.18%, and monosaccharides – 1.89–3.38%. With the goal of conducting breeding in the trajectory of a high content of monosaccharides, the Chaika variety should be used, which is characterized by 13.76% of monosaccharides and an insignificant amount of disaccharides – 0.36% in acutely arid conditions of the year.

Keywords: sorghum, sucrose, fructose, glucose, yield.

Кибальник О.П.^{1*}, Каменева О.Б.², Ларина Т.В.³, Семин Д.С.⁴, Ефремова И.Г.⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

* Корреспондирующий автор (kibalnik79[at]yandex.ru)

Получена: 23.03.2022; Доработана: 24.03.2022; Опубликовано: 11.04.2022

ИЗУЧЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА САХАРОВ В СОКЕ СТЕБЛЯ САХАРНОГО СОРГО В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ РОССИИ

Научная статья

Аннотация

Сахарное сорго – сельскохозяйственное растение, способное генерировать высокое содержание водорастворимых сахаров в соке стебля (18–22%). Благодаря своим биологическим особенностям возделывание этой культуры раскрывает широкие возможности использования в различных отраслях АПК засушливых регионов мира: это альтернативный источник сырья в приготовлении сочных и концентрированных кормов, в пищевой промышленности и в качестве возобновляемого источника энергии. В данной статье представлены результаты по подбору исходного материала для селекции новых гибридов F1 и сортов с высоким содержанием в соке стебля как моносахаров, так и дисахаров. В анализе сахаристости принимали участие сорта, гибриды и линии (всего 93), выведенные в институте ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Выявлены образцы с различным соотношением моно- и дисахаров: от 8,9:86,6% до 97,0:2,8 %, соответственно. Для повышения содержания сахарозы в соке стебля предлагается в селекционный процесс вовлекать сорт Капитал и линии Л-75, Л-21, Л-5, Л-4, у которых дисахаров 17,74–19,18%, а моносахаров – 1,89–3,38%. С целью ведения селекции в направлении высокого содержания моносахаров следует использовать сорт Чайка, характеризующегося 13,76 % моносахаров и незначительным количеством дисахаров – 0,36 % в остро засушливых условиях года.

Ключевые слова: сорго, сахароза, фруктоза, глюкоза, урожайность.

1. Введение

В настоящее время существует ряд способов расширения ассортимента выпускаемой сахарной продукции за счет получения глюкозо–фруктозо–сахарозных сиропов [1, С. 432]. В связи с этим становится актуальным увеличение сахарной продукции за счет широкого внедрения сахарного сорго, произрастающего в засушливых регионах, где выращивание свеклы экономически невыгодно или невозможно. Следует отметить, что эта культура отличается высокой адаптивностью к агроклиматическим условиям и характеризуется не только кормовым направлением использования, но и энергетическим, пищевым [2, С. 645], [3, С. 01027].

За последнее десятилетие во многих странах мира ведутся исследовательские работы по оценке агропромышленного потенциала сахарного сорго, в том числе и в перерабатывающей области. В литературе этому направлению исследований посвящено несколько работ, в которых исследователи предлагают использовать сахарное сорго для производства глюкозо–фруктозного сиропа и даже кристаллического сахара [4, С. 1], [5, С. 399], [6, С. 31], [7, С. 306], [8, С. 11392]. Сироп из стеблей сахарного сорго содержит наряду с сахарами Са, Р, Mg, К, Na, S, Cu, Co, Mn, Zn, Fe, до 3% протеина, все незаменимые аминокислоты, витамины В1, В2, РР, Е, С [9, С. 6]. Водорастворимые сахара в основном включают 85 % сахарозы, 9 % глюкозы и 6 % фруктозы. Однако, только сахарозу можно преобразовать в сахар [4, С. 3]. Среди множества образцов сорго имеются и такие, у которых к концу вегетации накапливается примерно одинаковое количество моно– и дисахаров. Есть сортообразцы, у которых к концу вегетации, сахарозы накапливается меньше, чем глюкозы и фруктозы, как правило, это малосахаристые образцы с содержанием 6,7–13,6% сахаров в соке. Однако, у подавляющего числа содержание дисахаров в 2 раза больше, чем моносахаров [10, С. 48]. Так, по составу сахаров в соке стебля образцы *Sorghum saccharatum* делят на два типа: saccharian–type («сахарные») и сугар–type («сиропные»). К первому типу относятся образцы с высоким содержанием сахарозы, а ко второму – глюкозы [6, С. 34].

В этой связи целью исследований являлось изучение исходного материала для выявления образцов–доноров «сахаристого» и «сиропного» типа с последующим использованием их в селекционных программах по выведению новых сортов и гибридов сахарного сорго.

2. Материалы и методы

Полевые исследования проводились на опытном поле института в 2021 г. Почва опытного участка представлена черноземом южным среднесуглинистым с содержанием гумуса в пахотном слое 3,5%. Гидротермический коэффициент за период со второй декады мая по третью декаду августа составил 0,56 (сумма активных температур – 2541 °С, количество осадков – 142,6 мм), что свидетельствует об очень засушливых условиях.

Селекционные линии, гибриды и сорта (всего 93), выведенные в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», высевали широкорядным способом с междурядьем 70 см в третьей декаде мая 2021 г. на опытном поле института. Изучаемые образцы включены в питомники с соответствующей площадью делянок: конкурсное сортоизучение – 19 сортов и линий (28,0 м²); предварительное сортоизучение – 24 линий (15,4 м²); селекционный – 49 линий (7,7 м²). Повторность в опыте трехкратная. Размещение делянок рендомизированное. Густоту стояния растений устанавливали вручную – 100 тыс. раст./га. Содержание водорастворимых сахаров в соке стебля образцов оценено в поле экспресс–методом с помощью рефрактометра.

Далее у высокосахаристых образцов определение суммы сахаров в соке стеблей сахарного сорго проводили по методу Бертрана [11, С. 128], основанному на способности редуцирующих сахаров, обладающих свободной карбонильной группой, восстанавливать в щелочном растворе окисную медь (II) в закисную (I).

Содержание сахаров (%) вычисляют по формуле:

$$x = a \times V \times 100 / V_1 \times n$$

где а – количество сахаров во взятом объеме (V_1), найденное по номограмме, мг; V – объем вытяжки, полученной из навески, см³; V_1 – проба вытяжки, взятой для определения, см³; n – масса навески материала, г.

Обработка экспериментальных результатов исследований выполнена статистическим анализом выборки и дисперсионным анализом с помощью программы «Агрос 2.09».

3. Результаты

В литературе отмечено, что качественный состав сахаров зависит от биологических особенностей образца и не зависит от их количественного содержания, а также наибольшее накопление водорастворимых сахаров в средней части стебля, более низкое – в нижней и верхней. Причем, максимальное накопление сахаров происходит в период созревания семян [12, С. 80], [13, С. 179]. Учитывая предыдущие результаты исследователей, извлечение сока проводилось из четвертого междоузлия в фазу восковой спелости.

Первичную диагностику по общему содержанию водорастворимых сахаров провели в поле с помощью рефрактометра у 93 сортов, гибридов и селекционных линий, что позволило кластеризовать их в 5 групп (см. рисунок 1).

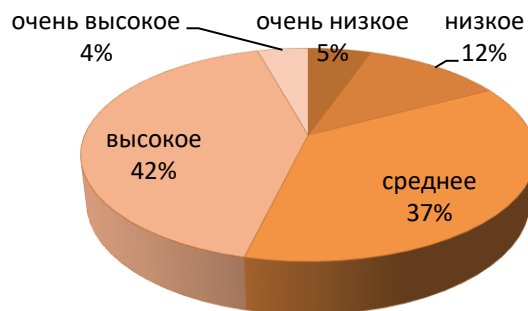


Рис. 1 – Распределение количества образцов сорго по содержанию водорастворимых сахаров в соке главного стебля

Согласно приведенной классификации [14, С. 33] очень низкое содержание сахаров (<8,0%) выявлено у 5 селекционных линий, низкое (8,1–11,0%) – 11 сортов и линий, среднее (11,1–15,0%) – 34 сортов и линий, высокое (15,1–19,0%) – 39 сортов и линий и очень высокое – 3 линии.

Для дальнейшей диагностики фракционного состава водорастворимых сахаров в лабораторных условиях из каждого питомника проведен отбор высокосахаристых образцов, характеризующихся различной продуктивностью биомассы (см. рисунок 2). Так, наибольшую урожайность вегетативной массы в условиях сезона формировали сорта Капитал, Чайка, Сахара, Севилья и гибрид Момент (20,55–21,93 т/га), а также селекционные линии Л-5, Л-67/13, Л-35, Л-42/13, Л-39/12 (23,30–25,90 т/га).

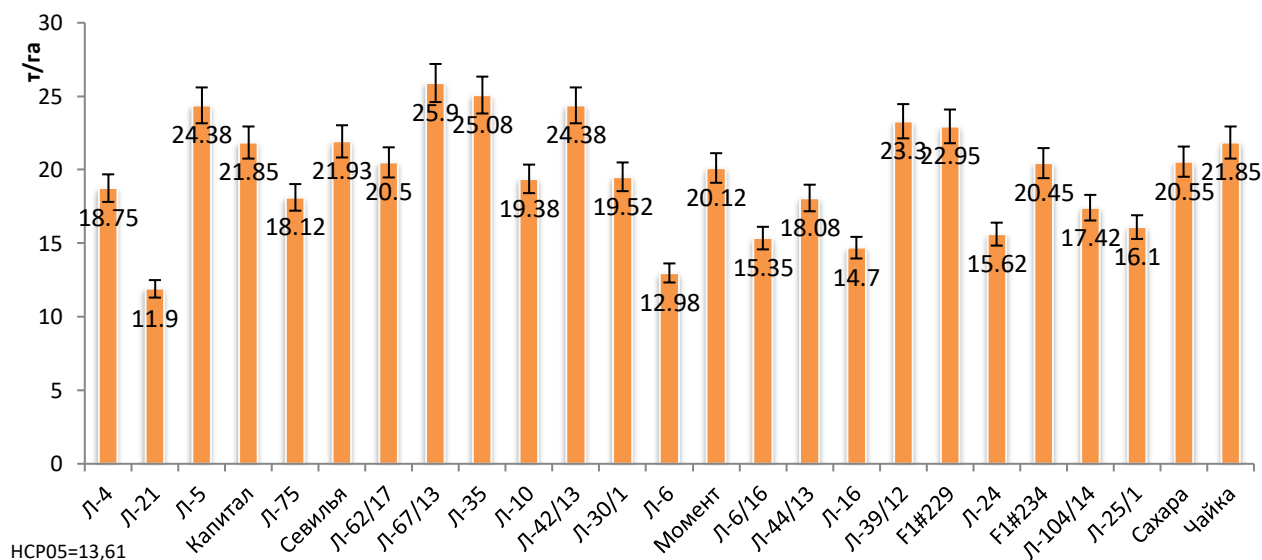


Рис. 2 – Урожайность биомассы сортов и линий сахарного сорго

Исучаемые генотипы сахарного сорго селекции института демонстрируют широкую вариабельность по накоплению моно- и дисахаров в соке главного стебля ($V=37,7-56,0\%$), что создает предпосылки для селекции образцов как «сахарного» типа, так и «сиропного» (см. рисунок 3). Обычно сахарное сорго не используется для производства кристаллического сахара из-за наличия значительного количества глюкозы и фруктозы, а также аконитовой кислоты и крахмала, затрудняющих этот процесс. Также выдвинуто предположение, что одной из причин отсутствия кристаллического сахара у сорго или замедление процесса кристаллизации является наличие в техническом растворе сахарозы некоторой концентрации декстрана. Согласно проведенным исследованиям в Кении, высокое содержание сахарозы в соке стебля еще не гарантирует кристаллизацию сахара-сырца [6. С.37]. Определение сахаров химическим путем показало, что содержание сахаров в соке стебля достигало 24,39%, тогда как в стеблевой массе – 15,91%.

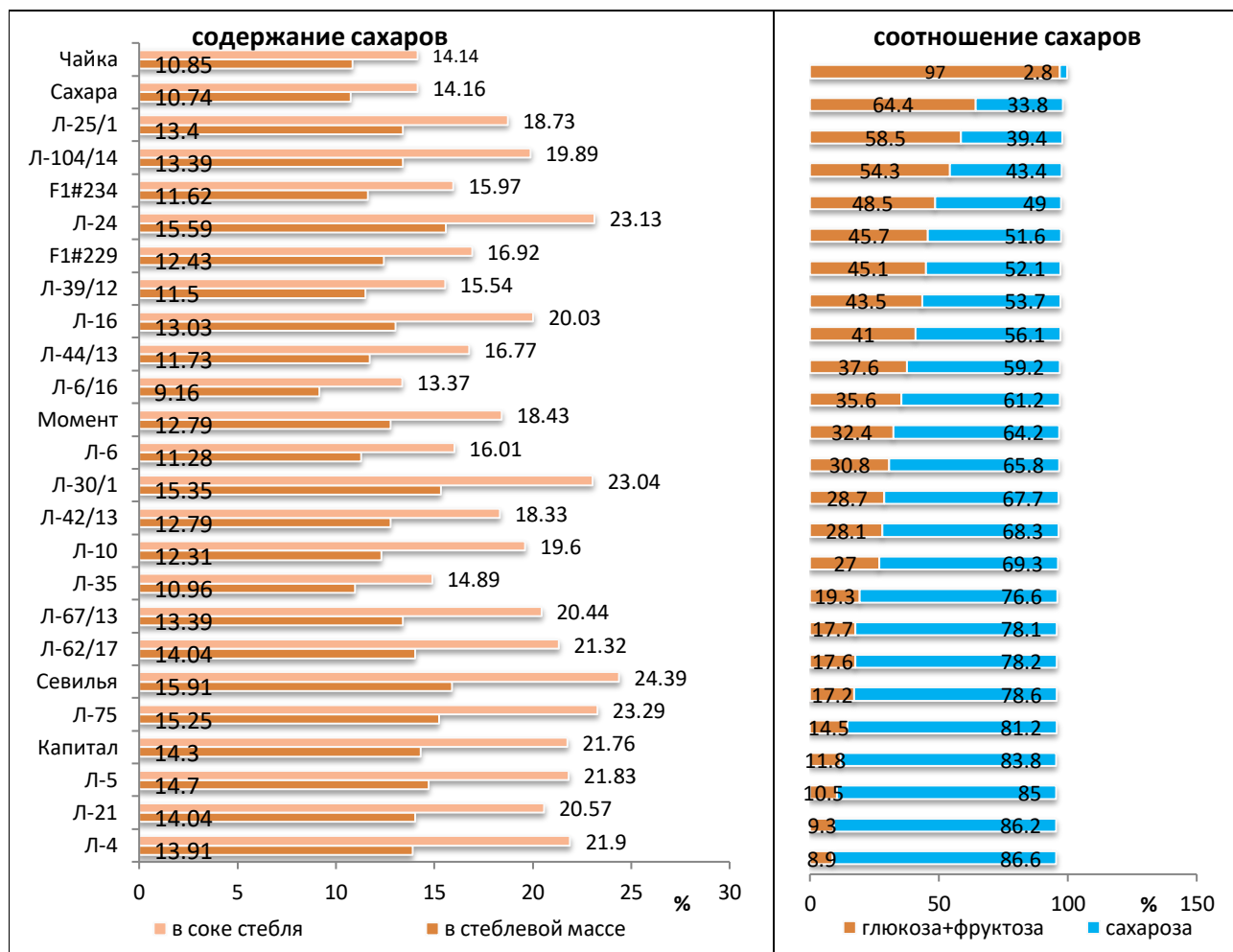


Рис. 3 – Общее содержание сахаров и их фракционный состав у образцов сахарного сорго собственной селекции

Выделены образцы с содержанием сахарозы (более 80% в общем объеме сахаров) – Капитал, Л-75, Л-21, Л-5, Л-4. Фактическое количество сахарозы у данных образцов составило 17,74–19,18%, а глюкозы с фруктозой – 1,89–3,38%. Полной противоположностью по фракционному составу оказался сорт Чайка, у которого моносахаров 13,76% и дисахаров всего 0,36% в соке стебля (см. таблицу). Все остальные высокосахаристые образцы данной коллекции возможно использовать в качестве сырья для производства биоэтанола, так как для этой отрасли фракционный состав не так важен, как для пищевой промышленности.

Таблица 1 – Состав сахаров в соке и стеблевой массе образцов сахарного сорго селекции института (%)

Образец	Стеблевая масса			Сок стебля		
	Глюкоза и фруктоза	Сахароза	Другие сахара	Глюкоза и фруктоза	Сахароза	Другие сахара
Л-4	1,24	12,04	0,63	1,95	18,96	0,99
Л-21	1,30	12,10	0,64	1,89	17,74	0,94
Л-5	1,55	12,49	0,66	2,29	18,56	0,98
Капитал	1,69	11,98	0,63	2,59	18,21	0,96
Л-75	2,21	12,39	0,65	3,38	18,92	0,99
Севилья	2,74	12,51	0,66	4,20	19,18	1,01
Л-62/17	2,47	10,99	0,58	3,75	16,69	0,88
Л-67/13	2,38	10,46	0,55	3,63	15,96	0,85
Л-35	2,12	8,40	0,44	2,88	11,41	0,60
Л-10	3,32	8,54	0,45	5,37	13,52	0,71
Л-42/13	3,60	8,73	0,46	5,13	12,54	0,66
Л-30/1	4,41	10,39	0,55	6,62	15,60	0,82
Л-6	3,47	7,42	0,39	4,94	10,52	0,55
Момент	4,15	8,21	0,43	5,98	11,83	0,62
Л-6/16	3,26	5,61	0,29	4,76	8,19	0,42
Л-44/13	4,41	6,95	0,37	6,32	9,92	0,53
Л-16	5,34	7,31	0,38	8,21	11,24	0,58
Л-39/12	5,00	6,18	0,32	6,76	8,35	0,43
№229 F1	5,61	6,48	0,34	7,64	8,82	0,46
Л-24	7,13	8,04	0,42	10,58	11,93	0,62
№234 F1	5,63	5,69	0,30	6,72	8,89	0,36
Л-104/14	7,27	5,81	0,31	10,80	8,63	0,46
Л-25/1	7,84	5,28	0,28	10,96	7,38	0,39
Сахара	6,92	3,63	0,19	9,13	4,79	0,24
Чайка	10,53	0,30	0,02	13,76	0,36	0,02
$\bar{x} \pm Sx^1$	4,22±0,47	8,31±0,62	0,43±0,03	6,01±0,63	12,32±0,99	0,64±0,05
$V^2, \%$	56,0	37,7	37,7	52,7	40,16	41,37

Примечание: ¹ – Средняя и ее ошибка; ² – коэффициент вариации

4. Заключение

В результате полевой экспресс-диагностики сахаристости 93 образцов рабочей коллекции установлено, что 46 % сортов и селекционных линий характеризуются высоким и очень высоким содержанием водорастворимых сахаров в соке главного стебля. Дальнейшее изучение фракционного состава выделившихся образцов позволило выявить формы «сахаристого» и «сиропного» типа. С целью ведения селекции в направлении создания гибридов и сортов с высоким содержанием сахарозы в соке стебля необходимо в исходный материал включить следующие образцы – Капитал, Л-75, Л-21, Л-5, Л-4; с высоким содержанием моносахаров – Чайка. Следует отметить, что селекционная линия Л-5 отличается способностью формировать до 24,38 т/га урожайности вегетативной биомассы, что позволяет предполагать более высокий выход сахаросодержащей продукции в засушливых условиях Саратовского Правобережья.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Голубева Л.В. Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого / Л.В. Голубева, Е.А. Пожидаева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – № 3. – С. 431–437. DOI:10.21603/2074-8414-2019-3-431-437
2. Wu L. Sorghum as whole-crop feedstock for integrated production of fermentable sugars / L. Wu, M. Gau, T. Takai et al. // Industrial Crops and Products. – 2013. – V. 49. – P. 645–647.
3. Kibalnik O. Combinational ability of crossing components and heterosis of F1 hybrids of sugar sorghum by biomass yield / O. Kibalnik, D. Semin, I. Efremova et al. // BIO Web of Conferences. – 2021. – V. 36. – 01027. DOI: 10.1051/bioconf/20213601027
4. Kangama C.O. Production of crystal sugar and alcohol from sweet sorghum/ C.O. Kangama, X. Rumei // African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development. – 2005. – V. 5. – N. 2. – P. 1–5.
5. Ratnavathi C.V. Sweet Sorghum as Feedstock for Biofuel Production: A review / C.V. Ratnavathi, K.S. Chakravarthy, V.V. Komala et al. // Sugar Tech. – 2011. – V. 13 (4). – P. 399–407. DOI:10.1007/s12355-011-0112-2
6. Mukabane B.G. Evaluating the Potential of Juice from Some Sweet Sorghum Varieties Grown In Kenya to Crystallize / B.G. Mukabane, G. Thiongo, B. Gathitu et al. // Food Science and Quality Management. – 2014. – V. 30. – P. 31–39.

7. Володин А.Б. Новые нетрадиционные источники сырья для производства пищевого и кормового сахара / А.Б. Володин, С.И. Капустин, М.А. Саварцов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2016. – № 12. – С. 305–308.
8. Содикова Ш.А. Разработка технологии получения соков, из стеблей различных сортов сахарного сорго и исследование химического состава [Электронный ресурс] / Ш.А. Содикова, К.О. Додаев // Universum: технические науки. – 2021. – № 3 (84). – 11392. URL: <https://7universum.com/ru/tegh/archive/item/11392> DOI:10.32743/UniTech.2021.84.3–2.82–86 (дата обращения: 22.03.2022)
9. Болдырева Л.Л. Перспективы селекции сорго сахарного в условиях Крыма / Л.Л. Болдырева, В.Н. Юдина // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2017. – № 11 (174). – С. 5–11.
10. Алдонин М.А. Содержание сахаров и их состав в сухом веществе и соке стеблей сахарного сорго / М.А. Алдонин, А.Н. Слестухина // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 47–49.
11. Методы биохимического исследования растений / под общ. редакцией А.И. Ермакова. – Л. 1987. – С. 128.
12. Мищенко Г.В. Оценка районированных новых сортов и линий сахарного сорго по комплексу хозяйственно-ценных признаков / Г.В. Мищенко, Л.А. Смиловенко // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 10. – С. 80.
13. Романенко Е.С. Получение концентрата из клеточного сока новых сортов сахарного сорго / Е.С. Романенко, Е.А. Миронова, Т.С. Айсанов и др. // Виноградарство и виноделие. – 2021. – № 23 (2). – С. 178–181. DOI:10.35547/IM.2021.23.2.012.
14. Якушевский Е.С. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench* / Е.С. Якушевский, С.Г. Вардинов, В.А. Корнейчук, и др. – Л. 1982. – С. 33.

References in English

1. Golubeva L.V. Izuchenie funktsionalno–tekhnologicheskikh svoystv siropa sakharnogo sorgo I ego ispolzovanie v tekhnologii morozhenogo [Study of the functional and technological properties of sugar sorghum syrup and its use in ice cream technology] / L.V. Golubeva, E.A. Pozhidaeva // Tekhnika I tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and technology of food production]. – 2019. – Т. 49. – № 3. – Р. 431–437. DOI:10.21603/2074–8414–2019–3–431–437 [in Russian].
2. Wu L. Sorghum as whole–crop feedstock for integrated production of fermentable sugars / L. Wu, M. Gau, T. Takai et al. // Industrial Crops and Products. – 2013. – V. 49. – P. 645–647.
3. Kibalnik O. Combinational ability of crossing components and heterosis of F1 hybrids of sugar sorghum by biomass yield / O. Kibalnik, D. Semin, I. Efremova et al. // BIO Web of Conferences. – 2021. – V. 36. – 01027. DOI: 10.1051/bioconf/20213601027
4. Kangama C.O. Production of crystal sugar and alcohol from sweet sorghum / C.O. Kangama, X. Rumei // African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development. – 2005. – V. 5. – N. 2. – P. 1–5.
5. Ratnavathi C.V. Sweet Sorghum as Feedstock for Biofuel Production: A review / C.V. Ratnavathi, K.S. Chakravarthy, V.V. Komala et al. // Sugar Tech. – 2011. – V. 13 (4). – P. 399–407. DOI:10.1007/s12355–011–0112–2
6. Mukabane B.G. Evaluating the Potential of Juice from Some Sweet Sorghum Varieties Grown In Kenya to Crystallize / B.G. Mukabane, G. Thiongo, B. Gathitu et al. // Food Science and Quality Management. – 2014. – V. 30. – P. 31–39.
7. Volodin A.B. Novye netraditsionnye istochniki syrya dlya proizvodstva pishchevogo i kormovogo sakhara [New non–traditional sources of raw materials for the production of food and feed sugar] / A.B. Volodin, S.I. Kapustin, M.A. Savartsov // Novye I netraditsionnye rasteniya I perspektivy ikh ispolzovaniya [New and non–traditional plants and prospects for their use]. – 2016. – № 12. – P. 305–308. [in Russian].
8. Sodikova Sh.A. Razrabotka tekhnologii polucheniya sokov, iz stebley razlichnykh sortov sakharnogo sorgo i issledovaniye khimicheskogo sostava [Development of technology for obtaining juices from the stems of various varieties of sugar sorghum and the study of the chemical composition] [Electronic resource] / Sh.A. Sodikova, K.O. Dodaev // Universum: tekhnicheskie nauki [Universum: engineering sciences]. – 2021. – № 3 (84). – 11392. URL: <https://7universum.com/ru/tegh/archive/item/11392> DOI:10.32743/UniTech.2021.84.3–2.82–86 (accessed: 22.03.2022) [in Russian].
9. Boldyreva L.L. Perspektivy selektsii sorgo sakharnogo v usloviyakh Kryma [Prospects for the selection of sugar sorghum in the conditions of the Crimea] / L.L. Boldyreva, V.N. Yudina // Izvestiya selskokhozyaystvennoi nauki Tavridy [Proceedings of agricultural science of Taurida]. – 2017. – № 11 (174). – P. 5–11. [in Russian].
10. Aldonin M.A. Soderzhanie saharov I ih sostav v suhom veschestve I soke steblei sahnarnogo sorgo [The content of sugars and their composition in the dry matter and juice of the stems of sugar sorghum] / M.A. Aldonin, A.N. Slastuhina // Molodaya nauka agrarnogo Dona: traditsii, opyt, innovatsii [Young science of the agrarian Don: traditions, experience, innovations]. – 2018. – Vol. 1. – № 2. – P. 47–49. [in Russian].
11. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical research of plants] / In Eds. A.I. Ermakov. – L. 1987. – С. 128. [in Russian].
12. Mishchenko G.V. Otsenka rayonirovannykh novykh sortov i liniy sakharnogo sorgo po kompleksu khozyaystvenno–tsennykh priznakov [Evaluation of released new varieties and lines of sugar sorghum according to a complex of economically valuable traits] / G.V. Mishchenko, L.A. Smilovenko // Fundamentalnye issledovaniya [Basic Research]. – 2006. – № 10. – P. 80. [in Russia].
13. Romanenko E.S. Poluchenie kontsetrata iz kletochno go soka novykh sortov sahnarnogo sorgo [Obtaining concentrate from cellular new varieties of sugar sorghum] / E.S. Romanenko, E.A. Mironova, T.S. Aisanov et al. // Vinogradarstvo i vinodelie [Viticulture and winemaking]. – 2021. – № 23 (2). – P. 178–181. DOI:10.35547/IM.2021.23.2.012. [in Russian].
14. Yakushevsky E.S. Shirokiy unifitsirovanny klassifikator SEV i mezhdunarodnyy klasifikator SEV vozdeleyvayemykh vidov roda *Sorghum Moench* [A wide unified SEV classifier and an international SEV classifier of cultivated species of the genus *Sorghum Moench*] / E.S. Yakushevsky, S.G. Vardinov, V.A. Korneichuk et al. – L. 1982. – P. 33. [in Russian].