

Каменева О.Б., Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Семин Д.С., Калинин Ю.А.
Сахарное сорго как сахаронос и альтернативный источник биоэнергии (обзор)

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 633.174:633.62

Сахарное сорго как сахаронос и альтернативный источник биоэнергии (обзор)

Каменева О.Б., Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Семин Д.С., Калинин Ю.А.

*Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы*

Аннотация

*Способность растений сахарного сорго накапливать в соке стеблей 18-24 % водорастворимых сахаров расширяет потенциальные возможности культуры не только как сырья для производства кормов (зеленый корм, силос), но и в различных областях перерабатывающей промышленности на пищевые (глюкозо-фруктозный сироп, сорговый мед) и технические цели (биоэтанол, биотопливо). В кратком обзоре представлены данные о происхождении; биологических особенностях сорго; о фракционном составе водорастворимых сахаров; о мировых тенденциях применения возобновляемых энергетических источников. Отражено преимущество выращивания *Sorghum saccharatum* как сахароноса в регионах с недостаточным увлажнением.*

Ключевые слова: САХАРНОЕ СОРГО, ВОДОРАСТВОРИМЫЕ САХАРА, ФРУКТОЗА, ГЛЮКОЗА, САХАРОЗА, САХАРНЫЙ СИРОП, БИОЭТАНОЛ, БИОТОПЛИВО

Введение

Обеспечение населения страны высококачественными продуктами питания, а также получение новых «зеленых» энергоносителей – важная задача, стоящая перед современной сельскохозяйственной отраслью. В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента № 20 от 21 января 2020 г., развитие сельского хозяйства является основой обеспечения продовольственной независимости России [1]. Для решения этой задачи необходим поиск наиболее перспективных сельскохозяйственных культур, обладающих

высокими пищевыми и кормовыми достоинствами. Одной из таких культур разностороннего использования является сахарное сорго. Сахарное сорго – одна из древнейших сельскохозяйственных культур в мировом земледелии. Родиной сорго считается Северо-Восточная и Экваториальная Африка, в частности Судан и Эфиопия. Издревле оно культивируется в Китае и Индии. Сегодня это очень популярная культура для возделывания в США, Австралии, в ряде европейских стран, Пакистане, странах СНГ. Актуальность использования зеленой массы сахарного сорго заключается в ее энергетической и питательной ценности, не уступающей по своим свойствам кукурузе [2-4]. Биомасса сахарного сорго используется на корм в виде сена, силоса, сенажа, фуража, моноорма, брикетов [5]. Сок и патока могут быть включены в состав грубых и концентрированных кормов для многих категорий сельскохозяйственных животных. Продуктивность зеленой массы сорго в богарных условиях в засушливых регионах достигает 25,0-30,0 т/га. Хорошие показатели были достигнуты при возделывании сахарного сорго в условиях Нижнего Поволжья (в пределах Прикаспийской и Сарпинской низменностей): при формировании 96,4 т/га зеленой массы, характеризующейся 23% содержанием водорастворимых сахаров в соке стебля, и при выходе сока 53,8% сахара получено 11,5 тонны с гектара [6].

Уникальность данного растения позволяет использовать его как сахаронос. Сахар сока стеблей представлен, в основном, смесью глюкозы, фруктозы и сахарозы. Эта особенность исключительно ценна для жаркого и сухого климата, в районах, где получение сахара из сахарной свеклы проблематично [7, 8].

В настоящее время разработаны усовершенствованные приемы очистки сахарных растворов, которые позволяют использовать сироп сахарного сорго в пищевых целях. Сироп сахарного сорго по питательности не уступает сахаросодержащим продуктам из сахарной свеклы, тростника, при этом возделывание культуры более экономично и стабильно в любых условиях выращивания. Кроме того, согласно медицинским исследованиям, сорговый сироп в чистом виде легче усваивается организмом человека и является оздоровительным продуктом питания для больных сахарным диабетом. Также в соке содержится немало макро- и микроэлементов, протеина, пектиновых веществ, ряда незаменимых аминокислот и витаминов [9].

В засушливых регионах РФ, где проблема с влагообеспечением чрезвычайно остра

и усложняется с каждым годом, сорта с содержанием сахаров в соке стеблей 15,0-17,0 % могут обеспечить получение пищевого сахара до 3-4 т/га. Сироп успешно может быть использован в производстве пива, дрожжей, кваса, этанола, а сорговая патока или сорговый мед – в приготовлении напитков и кондитерских изделий. Во многих странах используются технологии по производству сиропа, патоки, этанола [10-12].

Биологические особенности культуры

Род *Sorghum* – африканского происхождения. Он развивался в Северо-Восточной Африке около 5 тыс. лет назад, вероятно, в эфиопско-египетском районе. *Sorghum saccharatum Pers.* – уникальная сельскохозяйственной культура, обладающая не только жаростойкостью, засухоустойчивостью, высокой урожайностью, но при этом невысокой требовательностью к питательным веществам и почвам, солеустойчивостью и способностью произрастать в критически складывающихся климатических условиях, а также высокой экологической пластичностью. Оно возделывается даже на засоленных почвах, которые часто встречаются в засушливых зонах. Сорго – теплолюбивая культура короткого дня. Минимально необходимая температура для прорастания семян 8-9 °С, более дружные всходы появляются при 13-15 °С на глубине заделки семян. Оптимальная температура для прорастания семян – 20-25 °С. Подтверждая статус теплолюбивой культуры, сорго проявляет высокую чувствительность к низким температурам: снижение до минус 2-3 °С для сорго губительно.

Будучи характерным ксерофитом, оно незначительно теряет влагу при транспирации, эффективно использует имеющиеся запасы почвенной влаги и по степени засухоустойчивости относится к числу уникальных растений. Замыкающие клетки устьичного аппарата листовой пластины имеют плотную оболочку, в случае дефицита влаги они при замыкании долгое время не парализуются, а сохраняют возможность к восстановлению растения. Устьичные клетки способны восстанавливать тургор после двухнедельной засухи на фоне высоких температур. Например, кукуруза подобный стресс выдерживает в течение семи дней. Восковой налет листа, особенно влагалищной части, эффективно предохраняет от излишнего испарения влаги [13].

Соцветие – метелка, обладающая большим количеством форм, плотностью, величиной и окраской зерна. Зерно сахарного сорго, в основном, плохо вымолачивается.

После обмолота колосковые чешуи остаются на зерновке, поэтому оно несколько уступает по питательности зерновому сорго.

Уникальная влагорегуляция сорго позволяет использовать меньшее количество влаги для роста и развития, чем другие культуры. Оно превосходит кукурузу по урожайности зеленой массы, а иногда и зерна, при возделывании без орошения в районах с годовым количеством осадков менее 500 мм.

Экстремальные засушливые и жаркие условия влияют на количество вырабатываемого сока, однако концентрация водорастворимых сахаров при этом значительно возрастает.

Фракционный состав водорастворимых сахаров в соке стеблей сорго

Число предприятий по производству сахаров и сахаристых продуктов в Российской Федерации ограничено производством кристаллической сахарозы: свекловичного сахара и крахмальной патоки. Вместе с тем, несмотря на имеющиеся реальные возможности самообеспечения страны отечественным белым сахаром, существует ряд способов расширения ассортимента выпускаемой продукции за счет получения глюкозо-фруктозо-сахарозных сиропов. В связи с этим становится актуальным увеличение сахарной продукции за счет широкого внедрения сахарного сорго, произрастающего в засушливых регионах, где выращивание свеклы нецелесообразно или невозможно. Экономически получать продукцию из сахарного сорго более выгодно, чем из свеклольного и тростникового сырья [14]. Установлено, что при урожайности зеленой массы в среднем 34,2-35,3 т/га и содержании до 20% водорастворимых сахаров в соке стеблей при выходе сока 50,0% сбор сахара составляет от 2,5 до 2,8 тонны с гектара.

Сок растений сорго сахарного содержит моносахариды: глюкозу и фруктозу, дисахариды в виде сахарозы. Сок многочисленных форм (сортообразцов) сахарного сорго характеризуется различным количественным и качественным соотношением этих сахаров. Среди множества образцов сорго имеются и такие, у которых к концу вегетации накапливается примерно одинаковое количество моно- и дисахаров. Есть сортообразцы, у которых сахарозы накапливается меньше, чем глюкозы и фруктозы, и, 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 [15].

Состав сиропа из стеблей сахарного сорго уникален. Он содержит, наряду с глюкозой и фруктозой, множество макро- и микроэлементов, таких как Ca, P, Mg, K, Na, S, Cu, Co, Mn, Zn, Fe, до 3% протеина, витамины B1, B2, PP, E, C. Высокими кормовыми достоинствами обладает не только сироп, но и багасса (жом) сорго. В багассе содержится 2,0-2,5 % протеина, 63-65 % БЭВ, 1-2 % жира, 25-28 % клетчатки, витамины E, B1, B2, PP, каротин, большое число микро- и макроэлементов, большая часть незаменимых аминокислот. По питательности она приближается к сену, в 100 кг содержится 93 к.ед. и 1,5 кг переваримого протеина [16-19].

Сок или приготовленные из него продукты используются как добавки в грубые и концентрированные корма. Кроме того, патока, или сироп из сока, абсолютно безопасна для пчел и является лучшей подкормкой для них. В патоку, или сорговый мед, входит около 70% сахаров, 3-4 % крахмала и 2-3 % минеральных веществ.

Достоверно известно, что сироп из сорго термостабилен, что позволяет добавлять его в напитки, выпечку, карамель. В настоящее время сироп представляет практический интерес в производстве низкокалорийных пищевых продуктов. В последние годы резко возросло число больных сахарным диабетом, поэтому разнообразие генотипов сахарного сорго, обуславливающих довольно большое колебание содержания моносахаров, создает позитивные предпосылки в селекции на повышение доли фруктозы и глюкозы в соке как наиболее качественных сахаров в питании человека [20-22].

Многолетними исследованиями установлено, что интенсивное накопление сахаров в соке стебля начинается в фазе цветения и достигает максимума в фазу молочно-восковой спелости зерна, а к созреванию несколько снижается, при этом стебель остается сочным до конца вегетации. Оптимальным считается сбор урожая на сахар при физиологической зрелости зерна в стадии восковой спелости [23-26].

Согласно литературным данным, количество сока и сахаров в нем зависит от ряда факторов: климатических условий, сроков посева, густоты стояния растений, внесения удобрений и генотипических особенностей растения. Качественный состав сахаров зависит от биологических особенностей образца и не зависит от количественного содержания [27-30].

Немало исследований проводилось по определению максимального накопления водорастворимых сахаров в разных частях стебля растения: в междоузлиях средней части

стебля (3-4 междоузлие) – наибольшее, в нижней и верхней – несколько ниже. Экспериментально доказано, что количество сахара коррелирует с низким урожаем зерна, поэтому пинцировка (удаление) метелок после цветения повышает сахаристость и снижает содержание крахмала и фенольных соединений в соке. Пинцировка – агробиологический прием для увеличения концентрации водорастворимых сахаров в соке стебля, а, следовательно, увеличения сбора сахаров с единицы площади. Так, при помощи удаления метелок в фазу цветения – предотвращается отток сахаристых веществ на формирование зерна и сохраняется накопление сахаров в стеблях. Таким образом, в засушливых районах Юго-Востока Европейской части РФ новый агробиологический прием позволяет получать до 4,5 т/га сахара при урожайности зеленой массы в 35 т/га, сборе стеблей – 28,2 т/га и содержания сахаров в соке до 22,2% [31-32].

Источник сырья для производства биоэтанола

Современные мировые тенденции в энергетике направлены на всестороннее использование воспроизводимых источников энергоносителей, в связи с этим ведутся разработки по получению экологического топлива, которое бы заменило углеводороды

Производство биоэтанола из легковоспроизводимого сырья является наиболее быстроразвивающейся отраслью в мире. Из биомассы растений можно получить биогаз, биодизель и биоэтанол. В настоящее время около 15% мирового производства этанола используется для производства спиртных напитков, остальное – в качестве добавки к топливу для двигателей внутреннего сгорания.

В настоящее время лидерами по производству биоэтанола – технического спирта из сахарного тростника, кукурузы являются Америка и Бразилия. США являются крупнейшим производителем этанола в мире, только в 2017 году произведено почти 16 миллиардов галлонов. На Соединенные Штаты вместе с Бразилией приходится 85% всего производства этанола, а общее мировое производство составляет 27,05 миллиарда галлонов. В 20 штатах США насчитывается свыше 80 заводов по производству этанола. Средним считается завод мощностью 300-400 миллионов литров биоэтанола в год, более мощные производят в год до 1 миллиарда литров.

Интенсивное применение растительного сырья в производстве биоэтанола наблюдается в европейских странах: Испании, Франции, Германии и Италии. На

африканском континенте в производстве этанола лидирует Южноафриканская республика, где из мелассы производится 70% этанола региона. Производство биотоплива предусмотрено Государственными программами во многих странах мира, в том числе Китае и Индии.

Биоэтанол относят к биотопливу первого поколения (1G), получаемый из традиционного пищевого спирта. Основное направление использования биоэтанола – получение смесового топлива с достаточно высоким энергосодержанием. «Зеленый» дизель – так называют биоэтанол, по мнению экспертов может заменить до 60% от общей потребности в дизельном топливе и до 10% в бензине. Смесью бензина и этанола, известная под названием E10 (цифровой индекс показывает процентное содержание биоэтанола в топливе, выраженное в объемных долях), используется уже около 25 лет в мировой автомобильной практике. Этаноловая часть бензина, благодаря содержанию кислорода и высокому октановому числу, как у АИ-108 наделяет бензин высокими качествами: способствует более полному сгоранию топлива и уменьшению выбросов окиси углерода на 30%, а выбросов летучих органических соединений – более чем на 25%. Несмотря на то, что по энергетической плотности биоэтанол значительно уступает бензину (теплота сгорания биоэтанола 19,6 МДж/л, а бензина – 32 МДж/л), замена бензина биоэтанолом приводит к пропорциональному снижению выброса углекислого газа (CO₂) в атмосферу. Использование E10 разрешено всеми крупными производителями автомобилей.

По данным Департамента сельского хозяйства США установлено, что этанол вырабатывает 134% энергии, затраченной при выращивании, уборке и переработке зерновых. Бензин же возвращает лишь 80% энергии, используемой в его производстве. Топливный биоэтанол почти не содержит воды: его концентрация – 99,3-99,9 %. Поэтому в технологии используется дополнительное обезвоживание при помощи молекулярных сит [33-34].

Согласно литературным данным, выход биоэтанола почти в три раза выше из сорго, чем из кукурузы. При этом биоэтанол, полученный из сахарного тростника, отличается самой низкой себестоимостью. Его производство в 5-6 раз эффективнее, чем из кукурузы. Использование в качестве сырья сорго вместо сахарной свеклы позволяет приступить к переработке на 1-1,5 месяца раньше и снизить максимальную нагрузку в производстве сахара-сырца.

Сахарное сорго, как растение C4, обладает высокой фотосинтетической эффективностью и может за короткий срок формировать мощную биомассу. Способность растений сахарного сорго аккумулировать большое количество водорастворимых сахаров делает его перспективным потенциальным источником сырья для получения биоэтанола (до 50,0 декалитров из 1 тонны сырья). В России, Венгрии, Италии, Румынии и Австралии ведутся исследования по получению биоэтанола из сорго. В литературе описано получение до 40,0-45,0 декалитров гидролизного спирта из 1 тонны сырья из зерна сахарного сорго (при урожае 2,0-2,8 т/га), содержащего до 70,0% крахмала (выход крахмала 62,0%), тогда как у пшеницы – 37 дал, кукурузы – 38 дал. Так, выращивание сортов сахарного сорго в условиях юго-востока Казахстана позволило сформировать 35-100 т/га надземной фитомассы и получить 1283-2063 л/га биоэтанола при содержании водорастворимых сахаров в соке стебля 15-16 %. Таким образом, рассматривая данный вопрос с экономической и энергетической точек зрения, произведенный из биомассы биоспирт превосходит все виды гидролизованного зернового спирта.

Несмотря на большие преимущества возделывания сорго с целью дальнейшей переработки на биоэтанол, существуют некоторые проблемы при его переработке. Одна из самых важных проблем заключается в том, что сахарное сорго – культура позднего срока созревания, что задерживает сроки уборки, но и в то же время ранние заморозки приведут к сбраживанию сахара. Скошенная стебельная масса не подлежит длительному хранению, поэтому необходима немедленная ее переработка. Кроме этого, отсутствуют высокосахаристые сорта раннеспелого срока созревания.

Следует отметить, что себестоимость производства биоэтанола существенно зависит от выбора технологии сбраживания патоки. В последние годы получены результаты по анаэробному ферментированию сока сахарного сорго дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* расой M5 и *Ethanol Red*: такой биоэтанол характеризовался высокими качественными показателями – 96,33%.

Эксперты прогнозируют наибольший спрос на биоэтанол за рубежом. В настоящее время к основным потребителям импортного биотоплива относятся ЕС, Китай, Индия. Расширяется сектор потребления за счет развивающихся стран Азии и Африки, в которых уже рассматриваются национальные биотопливные программы [35-38].

Таким образом, интенсификация производства биоэтанола имеет большие

перспективы. Современная Россия имеет все объективные предпосылки для организации производства биоэтанола в больших масштабах. Использование транспортного этанола может решить локальные проблемы с нехваткой экотоплива.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, основные направления в селекции сортов и гибридов сорго, предназначенных для использования в качестве альтернативного сырья в производстве биоэтанола, должны базироваться на выведении новых сортов и гибридов, отличающихся более коротким вегетационным периодом, повышении содержания водорастворимых сахаров в соке стебля и крахмала в зерне, увеличении продуктивности как всей биомассы, так и стеблей. Расширение научных исследований в техническом и пищевом направлениях применения сорго, внедрение актуальных разработок в различные отрасли Агропромышленного комплекса позволят решить задачи по производству высококачественных продуктов питания и новых энергоносителей, особенно для регионов с недостаточным увлажнением.

Список использованных источников

1. Указ Президента РФ № 20 от 21.01. 2020г. “Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации” [Электронный ресурс].– URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/#review>.

2. Кибальник О.П., Семин Д.С., Ефремова И.Г., Жук Е.А., Бычкова В.В. Энергетическая эффективность биомассы перспективных линий сахарного сорго в условиях Саратовской области // Научное обеспечение устойчивого развития растениеводства в условиях аридизации климата: сборник матер. межд. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во ООО «Амирит». – 2017. – С. 154-158.

3. Володин А.Б., Капустин С.И., Саварцев М.А. Новые нетрадиционные источники сырья для производства пищевого и кормового сахара // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2016. – №12. – С. 305-308.

4. Жужукин В.И., Горбунов В.С., Кибальник О.П., Семин Д.С., Гаршин А.Ю. Изучение комбинационной способности сортообразцов сахарного сорго по биохимическому составу биомассы и зерна // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – №5. – С. 11-15.

5. Метлина Г.В., Горпиниченко С.И., Ковтунова Н.А., Васильченко С.А. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго

сахарного // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 114(10) – С. 1-10.

6. Ефремова Е.Н., Петров Н.Ю. Технология переработки сахарного сорго // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2012. – №4(28). – С. 1-4.

7. Мищенко Г.В., Смиловенко Л.А. Оценка районированных новых сортов и линий сахарного сорго по комплексу хозяйственно-ценных признаков // Фундаментальные исследования. – 2006. – №10. – С. 80.

8. Петров Н.Ю., Ефремова Е.Н., Аббас О.М.Т. Накопление сахаров в стеблях сахарного сорго при различной густоте стояния // Известия ОГАУ. – 2012. – №34-1. – С. 30-31.

9. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго сахарного в качестве источника питательных веществ для человека (обзоры) // Зерновое хозяйство России. – 2019. – №3(63) – С. 3-9.

10. Парамонова И.Е., Кравченко Н.Л., Балпанов Д.С., Тен О.А. Культивирование дрожжей-продуцентов кормового белка на соке сахарного сорго // Биотехнология. Теория и практика. – 2013. – №1. – С. 52-56.

11. Аскарбеков Э.Б., Байгазиева Г.И., Мамаева Л.А. Разработка технологии спирта из сахарного сорго отечественной селекции // Новости науки в АПК. – 2018. – №1(11). – С. 32.

12. Горпиниченко С.И., Ковтунов В.В. Перспективы производства биоэтанола из сорго // Зерновое хозяйство России. – 2009. - №4. – С. 27-34.

13. Сарсенбаев Б.А. Сорго сахарное – перспективная культура многоцелевого использования // Известия Национальной Академии Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская. – 2014. – №3. – С. 3-9

14. [Электронный ресурс]-URL:<https://www.agroone.info/publication/preimushhestva-vnedrenija-saharnogo-sorgo-socialnye-i-jekonomicheskie-factory/>

15. Смиловенко Л.А. Биохимический состав сахара в соке сорго и его изменения в процессе роста и развития растений // Тезисы доклада Всесоюзного совещания «Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР». – Зерноград. – 1990. – С. 173-175.

16. Метлин В.В., Мирзаев М.Н. Использование сиропа из стеблей сахарного сорго в отраслях пищевой, медицинской промышленности и в сельскохозяйственном производстве // Тезисы докладов науч.-практ. конф. «Проблемы селекции, семеноводства, технологии возделывания и переработки сорго». – Саратов. – 1995. – С. 119-125.

17. Болдырева Л.Л., Юдина В.Н. Перспективы селекции сорго сахарного в условиях Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2017. – №11(174). – С. 5-11.

18. Капустин С.И., Володин А.Б., Кухарук М.Ю., Капустин А.С. Оценка исходного материала для селекции высокосахаристых сортов и гибридов сорго // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №2. – С. 43-50.

19. Ястребов Ф.С., Марченко Л.А. Кормовые достоинства продуктов переработки сахарного сорго // Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Проблемы и задачи по селекции, семеноводству, технологии производства и переработки сорго в СССР». – зерноград. – 1990. – С. 93.
20. Юдина В.Н., Болдырева Л.Л. Изучение содержания водорастворимых сахаров в стеблях сорго сахарного в условиях предгорного Крыма // Растениеводство и луговое хозяйство: сборник матер. Всеросс. науч. конф. с межд. участием. – М.: Изд-во АРС Publ. – 2020. – С. 249-251.
21. Капустин С.И., Володин А.Б., Кухарук М.Ю., Капустин А.С. Оценка исходного материала для селекции высокосахаристых сортов и гибридов сорго // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №2. – С. 43-50.
22. Товолдиев Т., Рустамова Г., Хусанов Б., Набиева Н. Изучение содержания сахара в стеблях сорго // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник матер. IV межд. науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во ИП Петрова. – 2014. – Ч. I. – С. 62-64.
23. Zegada-Lizarazu W., Monti A. An Integrated Approach to Harvest and Storage of Sweet Sorghum at Farm Scale // Bioenergy Reseach. – 2015. – 8 (1). – P. 450-458.
24. Ratnavathi C.V., Komala V.V., Lavanya U. Sorghum Uses-Ethanol // Sorghum Biochemistry an Industrial Perspective. – Publ.: Academic Press. – 2016. – P. 181-252.
25. Reddy S.P., Reddy B., Rao S.P. Genetic analysis of traits contributing to stalk sugar yield in sorghum // Cereal Reseach Communications. – 2011.– Vol. 39 (3). – P. 453-464.
26. Каменева О.Б. Оценка исходного материала для селекции сахарного сорго в условиях Нижнего Поволжья: автореф. дис... канд.с.-х. наук: 06.01.05. – Саратов. – 2011. – 21 с.
27. Reddy P.S., Reddy B.V.S., Rao P.S. Genotype by sowing date interaction effects on sugar-on-sugar yield components in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // SABRAO J. of Breeding and Genetics. – 2014. – Vol. 46 (2). – P. 305-312.
28. Cole M.R., Eggleston G., Petrie E., Uchimiya S.M., Dalley C. Cultivar and maturity effect on the quality attributes and ethanol potential of sweet sorghum // Biomass and Bioenergy. – 2017. – Vol. 96. – P. 183-192.
29. Arora M., Kocher G.S., Sohu R.S. Evaluation of sweet sorghum varieties for their juice characteristics // Food, Agriculture and Environment. – 2017. – Vol. 15 (2). – P. 58-61.
30. Болдырева Л.Л., Бритвин В.В. Создание новых форм сорго сахарного для производства сахарного сиропа // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2015. – № 1 (164). – С. 57-63.
31. Патент на изобретение № 2404567. Способ повышения концентрации сахаров в соке стебля сахарного сорго в процессе технологии возделывания / О.В. Колов, А.Ю. Буенков, А.Г. Ишин, В.С. Горбунов, Г.И. Костина, И.Г. Ефремова. – Режим доступа: <https://patentdb.ru/patent/2404567>.

32. Silva A.F., Ferreira O.E., Costa G.H.G., Mutton M.A., Mutton M.J.R. Technological quality of sweet sorghum processed without panicles for ethanol production // AJCS. – 2016. – Vol. 10 (11). – P. 1578-1582.

33. Саубенова М.Г., Кузнецова Т.В. Производство биоэтанола как альтернативного источника энергии // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 7 (47). – С. 23-26.

34. Umakanth A.V., Kumar A.A., Tonapi V.A. Sweet Sorghum for Biofuel Industry. In: Aruna C., Visarada K.B.R.S., Tonapi V.A. Breeding Sorghum for Diverse End Uses. – Publ.: Elsevier Ltd. – 2018. – P. 255-270.

35. Худашова А.И. Производство биоэтанола из сахарного сорго для агропромышленного комплекса России // Наука без границ. – 2017. – № 1 (6). – С. 40-43.

36. Райс И.В. Биоэтанол из сахарного сорго – альтернативное топливо для ДВС // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. – 2014. – № 2. – С. 171-173.

37. Возобновляемая энергия: Производство биотоплива / под ред. Викаш Бабу П.Д., Ашиш Таплиял П.Д., Гириеш Кумар Патель П.Д. – Беверли: Scrivener Publishing [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://www.gov.kz/uploads/2020/10/7/55715e1de97ee812397cfd57055cfd1f_original.6064251.pdf

38. Большая российская энциклопедия – Биотопливо / К.Н. Трубецкой, Ю.Ф. Лачуга [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/3878201

=====

Цитирование:

Каменева О.Б., Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Семин Д.С., Калинин Ю.А. Сахарное сорго как сахаронос и альтернативный источник биоэнергии (обзор) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_602.pdf.

DOI: <https://doi.org/10.51419/20216602>