

УДК 631.115(73); 633.1; 634.1; 635.1/8(075.8)

БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА ИЗ СТЕБЛЕЙ СОРГО САХАРНОЕ (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.)

Б.А. Сарсенбаев, Е.А. Киршибаев, М. Камунур, Г.А. Байсеитова,
Э.А. Сарыбаева, Н.К. Нокербекова

Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан
sbat08@rambler.ru

Глобальное изменение климата, которое сопровождается увеличением температуры, уменьшением водных ресурсов, снижением выпадения атмосферных осадков, расширением площадей районов засух и опустыниванием, является одной из ключевых экологических проблем Земли. Это является серьезным основанием для поиска и выявления наиболее засухоустойчивых, жаростойких и в то же время высокопродуктивных культур для обеспечения потребностей пищевой, кормовой промышленности и альтернативной возобновляемой энергетики в новых формирующихся условиях окружающей среды. Сорго сахарное отвечает этим требованиям. Использование растений сорго сахарное в качестве заменителя сахара в пищевой промышленности и источника возобновляемой энергии у нас в стране не рассматривалось. В статье представлены результаты исследования биологической продуктивности наиболее распространенных сортов сорго сахарное в почвенно-климатических условиях юго-востока Казахстана. Показано, что исследуемые сорта сорго сахарное проходят все этапы роста, развития и вызревают до наступления первых морозов. Получены фактические данные, отражающие биологическую продуктивность изучаемых сортов. Сорта отличались между собой по ряду биометрических параметров. Определено содержание растворимых сахаров и динамика их накопления в отдельных органах методом рефрактометрии. Выявлены закономерности распределения растворимых сахаров по органам и междоузлиям. Приведены экспериментальные данные по выявлению оптимальных условий ферментации при получении биоэтанола из сиропа сорго сахарное. Сделано заключение о том, что сорго сахарное может быть включено в список перспективных культур для возделывания в засушливых и изменяющихся почвенно-климатических условиях юго-востока Казахстана в качестве альтернативного, возобновляемого и экологически перспективного источника энергии.

Ключевые слова: сорго сахарное, биологическая продуктивность, растворимые сахара, сироп, ферментация, биоэтанол.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия развития страны до 2050 года, представленная народу Казахстана Президентом Н.А. Назарбаевым, а также проведение ЭКСПО-2017 в Астане открывают огромные перспективы для развития исследований по возобновляемым источникам энергии в нашей стране. Как отметил Глава государства, за предстоящие пять лет Казахстан должен совершить инновационный прорыв в области разработок и внедрения чистых видов энергии. Широкое использование растительной биомассы в качестве возобновляемых источников энергии является воистину зеленой энергетикой в прямом и переносном смысле.

Культура сорго сахарное используется в трех основных направлениях: пищевая промышленность, кормопроизводство и биоэнергетика [1]. Способность растений сахарного сорго аккумулировать большое количество растворимых сахаров делает его потенциальным источником сырья для получения биоэтанола.

Сорго сахарное (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) относится к роду *Sorghum* (L.), Moench. – сорго. Семейство Мятликовые (Poaceae). Растение сахарного сорго представляет собой высокорослый куст (200-350 см) с сочными стеблями (до 60% от общей массы). Урожайность стеблей сорго - 50-60 и более т/га. Биологические особенности этой культуры позволяют получать хороший урожай зеленой массы даже на очень бедных почвах и солончаках в условиях выпадения около 200 мм осадков в год. Наиболее интенсивно сахар в стеблях накапливается после цветения. Максимальное количество сахаров растение содержит в фазе восковой и полной спелости зерна. Сорта сахарного сорго с высоким содержанием сахара в соке были выведены в США в начале 1940 годов в связи с тем, что во время Второй мировой войны снизилось производство сахара из сахарного тростника и сахарной свеклы. Сорго отличается высокой устойчивостью к почвенной и воздушной (атмосферной) засухе благодаря физиологическим особенностям и уникальному механизму влагорегуляции.

В настоящее время интерес к сахарному сорго как резервной культуре для производства сахара связан с нехваткой и увеличением стоимости нефти и нефтепродуктов, использованием спирта в качестве горючего [2], [3]. Необходимо отметить, что получение этанола из сахарного сорго, по сравнению с зерном кукурузы, менее затратное. При этом отпадает необходимость отчуждения огромного количества кукурузы с пищевой и комбикормовой отраслей. В США из сорго вырабатывают столько биоэтанола, сколько из кукурузы. Этот опыт все шире распространяется на другие страны, такие как Бразилия, Канада, Китай, Филиппины, Иран и др. Получение этанола из сорго развивается в трех направлениях. Это: биотопливо, алкогольные напитки и спирт для медицины. Кроме того, из отходов биомассы сорго (багасса) готовят брикеты и используют в качестве твердого топлива. Необходимо отметить, что в нашей стране этой культуре незаслуженно отводится слишком мало внимания со стороны как науки, так и производства. Целью работы является разработка научных основ получения биоэтанола из стеблей сорго сахарное, выращенных в условиях юго-востока Казахстана.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА

Объектами исследований служили сорта сорго сахарное зарубежной селекции. Это: «Оранжевое-160», «Ларец», «Янтарь ранний», «Ростовский» (Россия). Изучены ростовые биологические параметры, такие как высота растений, длина метелки, количество узлов, число боковых побегов, сухая биомасса отдельных органов методом замеров и взвешиваний [4]. В условиях полевых экспериментов исследованы особенности роста и развития, биологическая продуктивность сортов сорго сахарное [5]. Сбор стеблевого сока осуществлен путем отжима под прессом. Сироп (патока, сорговый мед) получен путем упаривания сока после предварительной фильтрации. Содержание растворимых сахаров определяли с помощью рефрактометра.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение биомассы стеблей сорго сахарное

Прежде всего, необходимо было показать возможность возделывания сорго сахарное в почвенно-климатических условиях предгорной зоны юго-востока Казахстана и получения биомассы стеблей. Возделывание сорго сахарное показало, что отобранные сорта прорастают на 7 день и формируют нормальные всходы. В дальнейшем растения прошли все этапы роста и развития и созрели до наступления первых морозов. Биометрические параметры изучаемых сортов сорго сахарное представлены в таблице 1. Как видно из данных таблицы, сорта отличались между собой по показателям роста. По высоте растений, длине метелок и количеству междоузлий сорт Ростовский существенно опережал другие сорта. Известно, что побегообразующая активность определяет биопроductивность растений. Исследуемые сорта сорго, кроме Ларец, довольно активно кустились, свидетельствуя о благоприятности условий для роста растений. Об этом же говорят данные таблицы 2, где представлены показатели биологической и хозяйственной продуктивности сортов сорго. Из данных таблицы следует, что значительную часть биомассы целого растения составляет масса стеблей (от 60 до 70%). Это характерно для сахарных сортов сорго.

Таблица 1. Биометрические показатели сортов сорго сахарное в условиях Алматинской области

Сорт	Высота раст., см	Длина метелки, см	Кол-во междоузлий, шт.	Кол-во боковых побегов, шт.
Янтарь ранний	273± 20	30,5±0,8	10,0±0,3	5,0±0,6
Оранжевое 160	282± 16	31,5±0,5	10,0±0,2	3,0±0,4
Ростовский	314± 14	39,5±1,3	13,0±0,4	4,0±0,4
Ларец	229± 18	17,6±0,5	10,0±0,2	0

Таблица 2. Биологическая и хозяйственная продуктивность сортов сорго в условиях Алматинской области (кг/м²)

Сорт	Сырая масса				Сухая масса				
	стеблей	листьев	метелок	общ. надз. орган.	стеблей	листьев	метелок	общ. надз. орган.	корней
Янтарь ранний	5,50	1,17	1,08	7,75	2,35	0,50	0,99	3,84	0,68
Оранжевое 160	5,13	0,96	1,62	7,71	2,06	0,36	1,12	3,54	0,61

Ростовский	22,38	6,56	3,67	32,61	11,50	2,03	2,27	15,81	2,11
Ларец	2,11	0,63	0,50	3,24	0,98	0,18	0,25	1,41	0,16

Таким образом, изучаемые сорта сорго сахарное успешно проходили все этапы роста и развития, дали высокий урожай биомассы сочных стеблей и вызревали до наступления первых морозов, показав возможность возделывания их в условиях юго-востока республики.

Динамика накопления растворимых сахаров стеблях сорго сахарное

Результаты рефрактометрического определения количества растворимых сахаров в стеблях представлены на рисунке 1. На рисунке отражены усредненные данные содержания растворимых сахаров с целого растения, без разделения на главный и боковые побеги, в динамике, начиная с фазы трубкования до молочно-восковой спелости семян. Как видно из данных, количество растворимых сахаров у всех изучаемых сортов плавно увеличивается по мере роста и развития растений, достигнув максимума к концу вегетации - к фазе молочно-восковой спелости зерна. Было замечено, что содержание растворимых сахаров выше в боковых побегах, нежели в главном. Количество растворимых сахаров возрастает от нижних междоузлий к верхним, достигнув максимума в 7 и 8 междоузлиях. Далее, в 9 и 10 междоузлиях содержание сахаров снова снижалось. Наибольшее содержание сахаров в стеблях зафиксировано у сортов Ростовский и Оранжевое-160.

Получение сока и сиропов из стеблей сорго сахарное

Для получения сока из стеблей сорго сахарное растения (надземная часть) были убраны в молочно-восковую спелость зерна. После освобождения стеблей главного и боковых побегов от листьев взвешивали и нарезали на отдельные куски, из которых тут же выдавливали сок под прессом с вальцовыми валиками (рис. 2). Полученный сок отфильтровали и упаривали на медленном огне электроплитки до состояния патоки. В состоянии патоки сироп хранится долго и используется для разработки биотехнологии получения биоэтанола. В целом, за вегетационный период на экспериментальном участке общей площадью 230 м² получена биомасса стеблей в количестве 1300 кг, из которых выдавлено 237 л сока. Из этого количества сока после упаривания получено 33 л сиропа 75%-ной плотности. Кроме того, с этой площади получено более 900 кг бегассы, который используется как твердое топливо или корм для животных.

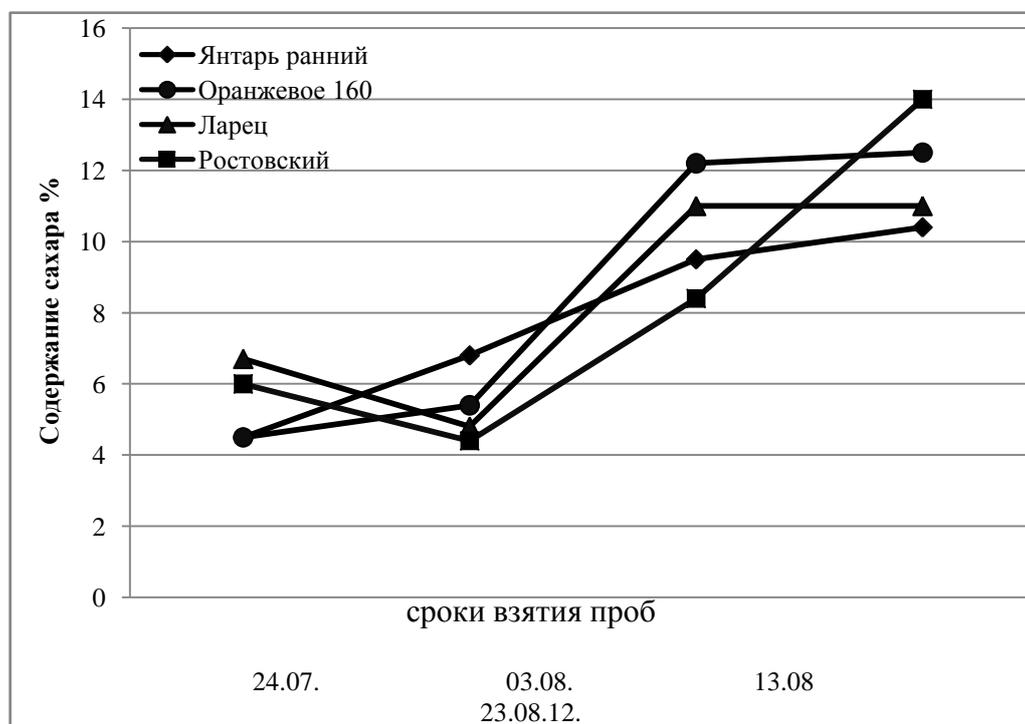


Рис. 1. Динамика накопления растворимых сахаров в стеблях сортов сорго сахарное

Ферментация сиропа и получение биоэтанола

Для получения биоэтанола 75%-ный сироп разбавляли втрое, довели pH до 5,0 и инкубировали в термостате при 28°C сухими дрожжами (*Saccharomyces cerevisiae*) фирмы OZMAYA (Турция, г. Амасия). О завершении ферментации судили по прекращению выделения пузырьков в газоуловителе (рис. 3). Время инкубации зависело от соотношения количества субстрата к ферменту, т.е. от концентрации дрожжевых

клеток в среде. Обычно реакция длилась 72-96 часов. По окончании ферментации этанол отгоняли при температуре 50°C в вакуумротационном испарителе (рис. 4).



Рис. 2. Получение сока из стеблей сорго сахарное



Рис. 3. Процесс ферментации сиропа в термостате



Рис. 4. Отгонка этанола после ферментации сиропа из стеблей сорго сахарное

В предварительном эксперименте определяли оптимальный уровень pH среды инкубации. Различный уровень pH создавали с помощью соляной кислоты и едкого натрия. Судя по выходу биоэтанола, pH, равная 5,0, является близкой к оптимальной (табл. 3). Как видно, процесс ферментации сопровождается подкислением среды инкубации.

Таблица 3. Изменение pH среды и выход биоэтанола из сиропа сорго сахарное

pH в начале инкубации	pH в конце инкубации	Выход этанола, мл/растение	Выход этанола, л/га
4,50	4,60	19,0	1140
5,00	4,89	21,0	1260
5,50	5,04	20,0	1200
6,00	5,16	19,1	1150

В следующей серии работ определяли оптимальное соотношение дрожжевых клеток к субстрату в среде инкубации. В разбавленный втрое сироп из стеблей сорго сахарное объемом 3000 мл добавляли 15, 20 и 25 г сухих дрожжевых клеток. Инкубировали 72 часа при температуре 28°C. Учет выхода биоэтанола показал максимальное образование его при соотношении субстрата к дрожжевым клеткам 120:1, т.е. 25 г дрожжевых клеток на 3 л, где получено 1260 л с каждого га посевов сорго. Изучаемые сорта сорго сахарное также отличались по выходу биоэтанола с единицы биомассы стеблей. Сорт Ростовский выделялся повышенной сахаристостью стеблей главного и боковых побегов, которая доходила до 15% к концу вегетации. Он же дал максимальное количество (2063 л) биоэтанола в расчете на 1 га площади, тогда как сорт Ларец - 1734, а Оранжевое-160 – 1283 л с каждого га земли.

Таким образом, результаты проведенных работ показали, что в условиях юго-востока Казахстана сорта сорго сахарное зарубежной селекции могут произрастать, давать полноценные семена и биомассу (от 35 до 100 т/га) сочных стеблей с высоким содержанием растворимых сахаров (15-16%) до наступления первых морозов. Доказана возможность получения биоэтанола из сиропа сорго сахарное путем ферментации по схеме: биомасса стеблей сорго – сок – сироп – биоэтанол. Определены оптимальные pH и соотношения дрожжевых клеток к субстрату при ферментации и получении биоэтанола.

Работа выполнена при поддержке КН МОН РК, грант 0059/ГФ, по бюджетной программе 120 «Грантовое финансирование научных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. Морару Г.А. Перспективы использования сахарного сорго для обеспечения жизнедеятельности человека // *Agricultura Moldovei*. – 2000. – №1. – С. 16-19.
2. Berenji J., Dahlberg J., Sikora V., Latković D. Origin, History, Morphology, Production, Improvement and Utilization of Broomcorn [*Sorghum bicolor*(L) Moench] in Serbia // *Econ Bot.* - 2011. – №65. - P. 190-208.
3. Kamrun Nahar. Sweet Sorghum: an Alternative Feedstock for Bioethanol // *Iranica Journal of Energy & Environment*. - 2011. - №2 (1). - P. 58-61.
4. Практикум по физиологии растений / под ред. проф. Н.Н. Третьякова. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. - 270 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.

ҚАНТ ҚҰМАЙЫ (*SORGHUM SACCHARATUM* (L.) PERS.) САБАҒЫНАН БИОЭТАНОЛ АЛУДЫҢ БИОТЕХНОЛОГИЯСЫ

Б.А. Сәрсенбаев, Е.А. Кіршібаев, М. Камунур, Г.А. Байсейітова, Э.А. Сарыбаева, Н.К. Нөкербекова

Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы қаласы, Қазақстан
sbat08@rambler.ru

Температураның көтерілуімен, су ресурстарының азаюымен, атмосфералық жауын-шашын түсуінің төмендеуімен, құрғақшылық аудандары аумағының кеңеюімен және шөлге айналуымен қатар жүретін климаттың ғаламдық өзгеруі Жердің өзекті экологиялық мәселелерінің бірі болып табылады. Қоршаған ортаның осылайша жаңадан қалыптасып келе жатқан жағдайында ыстыққа және құрғақшылыққа төзімділігі жоғары сонымен қатар тағам, мал азық және қайта қалпына келетін баламалы энергетиканың сұранысын қамтамасыз ету үшін мол өнім беретін дақылдарды іздеуге негіз болады. Қант құмайы аталған талаптарға сай келеді. Осы кезге дейін қант құмайы тағам өнеркәсібінде қант алмастырғыш ретінде және қайта қалпына келетін қуат көзі ретінде қарастырылмаған. Мақалада қант құмайының кең таралған сорттарының Қазақстанның оңтүстік-шығыс аймағының топырақ-климаттық жағдайларында биологиялық өнімділігін зерттеудің нәтижелері келтірілген. Қант құмайының зерттелген сорттары өсу мен дамудың барлық кезеңдерінен өтетіндігі және алғашқы суық түспей тұрып пісіп жетілетіндігі көрсетілді. Зерттелініп отырған сорттардың биологиялық өнімділігін көрсететін нақты нәтижелер алынды. Сорттар өзара бірқатар биометриялық көрсеткіштерімен ерекшеленді. Ерігіш қанттардың мөлшері және олардың жеке мүшелерде жинақталу динамикасы рефрактометрия әдісімен анықталды. Ерігіш қанттардың мүшелер мен буын аралықтарында таралу ерекшеліктері зерттелді. Қант құмайы шырынынан биоэтанол алу барысындағы ферментацияның оңтайлы жағдайын таңдау бойынша тәжірибелік мәліметтер келтірілді. Қант құмайы құрғақ және топырақ-климаттық жағдайы өзгеріп тұратын Қазақстанның оңтүстік-шығыс аймақтары жағдайында баламалы, қайта қалпына келетін және экологиялық перспективалы қуат көзі ретінде өсіру үшін перспективті дақылдар тізіміне енгізуге болады деген қорытынды жасалды.

Негізгі сөздер: қант құмайы, биологиялық өнімділік, ерігіш қанттар, шырын, ферменттеу, биоэтанол.

A BIOTECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF BIOETHANOL FROM STEMS SWEET SORGHUM (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.)

Б.А. Sarsenbayev, Е.А. Kirshibayev, М. Kamunur, G.A. Baiseitova, Е.А. Sarybayeva, N.K. Nokerbekova

Institute for Plants Biology and Biotechnology, the Science Committee, Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan
sbat08@rambler.ru

ABSTRACT

Global climate change, which is accompanied by an increase in temperature, a decrease of water resources, reduction in rainfall patterns, expanding acreage areas of drought and desertification is one of the key environmental issues of the earth. This is a good reason to search for and identify the most drought-resistant, heat-resistant and at the same time highly productive crops to meet the needs of the food industry, feed industry and alternative renewable energy in new emerging environments. Sorghum fits the bill. The use of sorghum plant as a substitute for sugar in the food industry and a source of renewable energy is not considered. The paper present the results of a study of the biological productivity of the most common varieties of sugar sorghum in soil and climatic conditions

of the south-east of Kazakhstan. It is shown that the investigated varieties of sorghum are all the stages of growth, development and ripen before the first frost. Produced evidence that reflect the biological productivity of the studied varieties. Cultivars differed on a number of biometric parameters. The content of soluble sugars and the dynamics of their accumulation in specific organs by refractometry. The regularities of distribution of soluble sugars by the authorities and the interstices. The experimental data to identify the optimal conditions of fermentation for ethanol from sweet sorghum syrup. It is concluded that sorghum can be included in the list of promising crop for cultivation in arid and variable soil and climatic conditions of the south-east of Kazakhstan as an alternative, renewable and environmentally promising source of energy.

Keywords: sugar sorghum, biological productivity, soluble sugars, syrup, fermentations, bioethanol.