

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 664.134:633.62

Каленик О. С.,
kalenik.olya21@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1234-7063,
Researcher ID: ISU-0305-2023,
аспірантка проблемної науково-дослідної лабораторії,
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Гусятинська Н. А.,
ngusyatinska@ukr.net, ORCID ID:0000-0001-9999-6650,
Researcher ID: D-5051-2019,
д.т.н., проф., професор кафедри технології цукру і підготовки води,
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Григоренко Н. О.,
grygorenko.na@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7291-6331,
Researcher ID: ADO-8329-2022,
к.т.н., завідувач лабораторії молекулярно-генетичного аналізу та технологічної якості,
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРЕСОВОГО ВИЛУЧЕННЯ ЦУКРІВ ЗІ СТЕБЕЛ СОРГО ЦУКРОВОГО

Анотація. Сучасні тенденції розвитку харчових технологій спрямовані на розширення асортименту безпечних і високоякісних продуктів, в тому числі за рахунок застосування альтернативної сировини. Цукрове сорго в Україні як технічна культура не є достатньо поширеною, що зумовлює необхідність проведення досліджень з метою вивчення динаміки накопичення цукрів у стеблах.

У виробництві цукровмісних сиропів важливим етапом є вилучення цільового компоненту, а саме цукрів з рослинної сировини. Метою наших досліджень було подальше вивчення та узагальнення відомостей щодо накопичення цукрів у стеблах сорго, а також технологічних аспектів їх вилучення для виробництва цукровмісних сиропів.

Представлено дослідження технологічних показників якості стебел цукрового сорго та здатності їх до пресування. Показано, що поряд зі збільшенням вмісту цукрів у стеблах, спостерігається підвищення вмісту сухих речовин, що призводить до зменшення кількості пресового соку. Підтверджено, що технологічні показники сорго цукрового залежать від сорту та терміну вегетації, що є важливим критерієм для підбору найбільш перспективних сортів для одержання харчових цукровмісних сиропів.

Проведено аналіз матеріального балансу процесу пресування для вилучення цукрів зі стебел цукрового сорго. Представлено теоретичні розрахунки виходу пресового соку, віджатого жмиху та вмісту цукрів у ньому, залежно від початкового вмісту сухих речовин і цукрів у стеблах, ступеня пресування. Підтверджено, що пресовий спосіб не забезпечує достатнього механічного розкриття клітин стеблової тканини, що зумовлює доцільність додаткового застосування екстракційного способу для знецукрення жмиху з віджатих стебел.

На основі теоретичних розрахунків одержано графічні залежності, що дозволяють прогнозувати кількість пресового соку та жмиху, а також вміст цукрів у жмиху після пресування.

Наведені результати дослідження представляють науково-практичний інтерес для виробництва та подальших досліджень технології цукровмісних сиропів з сорго цукрового.

Ключові слова: цукрове сорго, пресове вилучення цукрів, пресовий сік, харчовий сироп.

Kalenyk O. S.,

kalenik.olya21@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1234-7063,

Researcher ID: ISU-0305-2023,

Graduate Student of the Problem Scientific and Research Laboratory,

National University of Food Technologies, Kyiv

Husiatynska N. A.,

ngusyatynska@ukr.net, ORCID ID:0000-0001-9999-6650,

Researcher ID: D-5051-2019,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Sugar Technology and Water Preparation,

National University of Food Technologies, Kyiv

Hryhorenko N. O.,

grygorenko.na@gmail.com, ORCID ID:0000-0001-7291-6331,

ResearcherID: ADO-8329-2022,

Ph.D., Head of the Laboratory of Molecular Genetic Analysis and Technological Quality,

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PRESS EXTRACTION OF SUGARS FROM SUGAR SORGHUM STALKS

Abstract. *Current trends in the development of food technologies are aimed at expanding the range of safe and high-quality products, including through the use of alternative raw materials. Sugar sorghum in Ukraine as a technical crop is not widespread enough, which necessitates research to study the dynamics of sugar accumulation in stems.*

In the production of sugar-containing syrups, an important step is the extraction of the target component, namely sugars from vegetable raw materials. The purpose of our research was to further study and summarize information on the accumulation of sugars in sorghum stalks, as well as technological aspects of their extraction for the production of sugar-containing syrups.

The study of technological indicators of quality of sugar sorghum stalks and their ability to pressing is presented. It is shown that along with an increase in the sugar content in the stems, an increase in the solids content is observed, which leads to a decrease in the amount of pressing juice. It is confirmed that the technological indicators of sugar sorghum depend on the variety and growing season, which is an important criterion for the selection of the most promising varieties for obtaining edible sugar-containing syrups.

The material balance of the pressing process for the extraction of sugars from sugar sorghum stalks is analyzed. Theoretical calculations of the yield of pressed juice, pressed pulp and sugar content in it are presented, depending on the initial content of solids and sugars in the stems, the degree of pressing. It is confirmed that the pressing method does not provide sufficient mechanical opening of stem tissue cells, which determines the expediency of additional use of the extraction method for desugaring pulp from pressed stems.

On the basis of theoretical calculations, graphical dependences were obtained that allow predicting the amount of pressing juice and pulp, as well as the sugar content in the pulp after pressing.

The above results of the study are of scientific and practical interest for the production and further research of technology of sugar-containing syrups from sugar sorghum.

Key words: sugar sorghum, sugar extraction, pressed juice, food syrup.

JEL Classification: L 69, L 79

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-01

Постановка проблеми. В умовах погіршення продовольчої безпеки і якості харчування внаслідок включення у харчові вироби синтетичних цукрозамінників, суттєвої перспективи набуває виробництво органічної цукровмісної продукції з альтернативної сировини, а саме – сорго цукрового.

Цукрове сорго як сільськогосподарська культура поширена в багатьох країнах світу, оскільки вона характеризується невибагливістю до кліматичних умов та складу ґрунтів. Останніми роками на території України спостерігається погіршення режиму природного зволоження, що зумовлює необхідність вирощувати такі культури, які

в посушливих районах забезпечували б високі та стійкі врожаї [1]. Врожайність вегетативної маси змінюється залежно від сорту або гібриду сорго цукрового та строку збирання. Збирати вегетативну масу можна з III декади липня, оскільки частка стебел найвища [2].

Використання сорго сільгоспвиробниками різноманітне – виробництво борошна, крупи, спирту та крохмалю. Завдяки високому вмісту вуглеводів у соку стебел його застосовують як сировину для виробництва біоетанолу та харчового сиропу [3]. Суху масу стебел, після віджиму, переробляють на тверді види палива [4]. Цукровий сироп з сорго використовують в багатьох харчових продуктах, зокрема сироп з цукрового сорго може бути використаний в технології безалкогольних напоїв як джерело цукру та натуральний барвник [5].

У виробництві харчового сиропу важливим етапом є процес отримання соку зі стебел цукрового сорго для забезпечення повноти вилучення цукрів із сировини та зменшення вмісту сполук, що негативно впливають на подальші технологічні операції та якість готового продукту [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До складу цукристих речовин соку сорго входять в різних співвідношеннях дисахариди (цукроза, мальтоза) та моносахариди (глюкоза, фруктоза). Необхідно відмітити, що до складу соку з сорго цукрового входить великий перелік макро- та мікроелементів, зокрема: Са, Р, Mg, К, Na, Cu, Zn, Со, Mn, Fe, S, незамінні амінокислоти, вітаміни В1, В2, РР, Е, С [5; 7].

Технологія вилучення соку зі стебла сорго може бути реалізована в різних варіантах [8]. Для цього, зазвичай, використовують два методи: механічне відтискання соку зі стебел за допомогою пресів різної модифікації (вальцевих, шнекових тощо) та дифузійне вилучення розчинником – гарячою водою.

Сорго цукрове, як сировина, подібна до цукрової тростини за характером накопичення цукристих речовин у стеблах рослин, що передбачає подібність технології їх вилучення, зокрема шляхом подрібнення стебел на вальцьовому пресі та одержання пресового соку. Так, в роботі науковців [9] запропоновано застосування трьохвальцевих пресів. При цьому збільшення кількості вилученого соку, а відповідно і цукрів можна досягти за рахунок залучення багатоступеневих технологій екстрагування на вальцьових пресах. Автори [10] запропонували отримувати сік із стебел сорго шляхом пресування на вальцьових пресах за використання декількох ступенів віджиму

з протитечійним потоком соку для висолодження стебел сорго. За таких умов проведення процесу екстракції було отримано біля 87% цукрів від їх загального вмісту.

Постановка завдання. Цукрове сорго як технічна культура не є достатньо поширеною в Україні, що зумовлює необхідність її дослідження з метою вивчення потенційної можливості використання, зокрема, з точки зору накопичення цукристих вуглеводів. Залежно від особливостей сорту і фази збирання вміст цукру у соку цукрового сорго може варіюватися. Важливим етапом в традиційній технології виробництва цукровмісного сиропу з сорго цукрового є вилучення цільового компонента, а саме цукрів з сировини. Метою наших досліджень було подальше вивчення та узагальнення відомостей щодо технологічних аспектів вилучення цукрів зі стебел цукрового сорго для виробництва цукровмісних продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили спільно з науковцями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України на дослідних ділянках поля ІБКЦБ НААН України. Для досліджень використовували стебла цукрового сорго, що відбирали у вегетаційний період молочно-воскової та повної стиглості зерна. Необхідно зазначити, що для досліджень використовувалися сорти різної селекції, зокрема: Мамонт (СГП), Зубр (СГП), Віл (СГП), СУ (іноземна селекція), Мохавк (іноземна селекція).

Проби були відібрані у фазу молочно-воскової та повної стиглості таким чином, що дозволяло простежувати динаміку змін якості сировини для подальшого перероблення. У відібраних зразках стебел сорго визначали вміст цукрів та сухих речовин. Для одержання соку використовували 3-х вальцевий напівпромисловий прес.

На рис. 1 представлено динаміку накопичення загального вмісту цукрів у фазу молочно-воскової та повної стиглості у сортах цукрового сорго Мамонт(СГП), Зубр(СГП), Віл(СГП), СУ (іноземна селекція), Мохавк (іноземна селекція).

Необхідно зазначити, що найкращі результати за показником вмісту цукрів, продемонстрували такі сорти як Мамонт та Віл. Найменший вміст цукрів на період повної стиглості спостерігався у сортів Зубр, СУ та Мохавк.

На рис. 2 представлено динаміку вмісту вологи (води) у стеблах у фазу молочно-воскової та повної стиглості у сортах цукрового сорго.

Аналіз вмісту вологи (води) у стеблах за досліджуваній період продемонстрував його

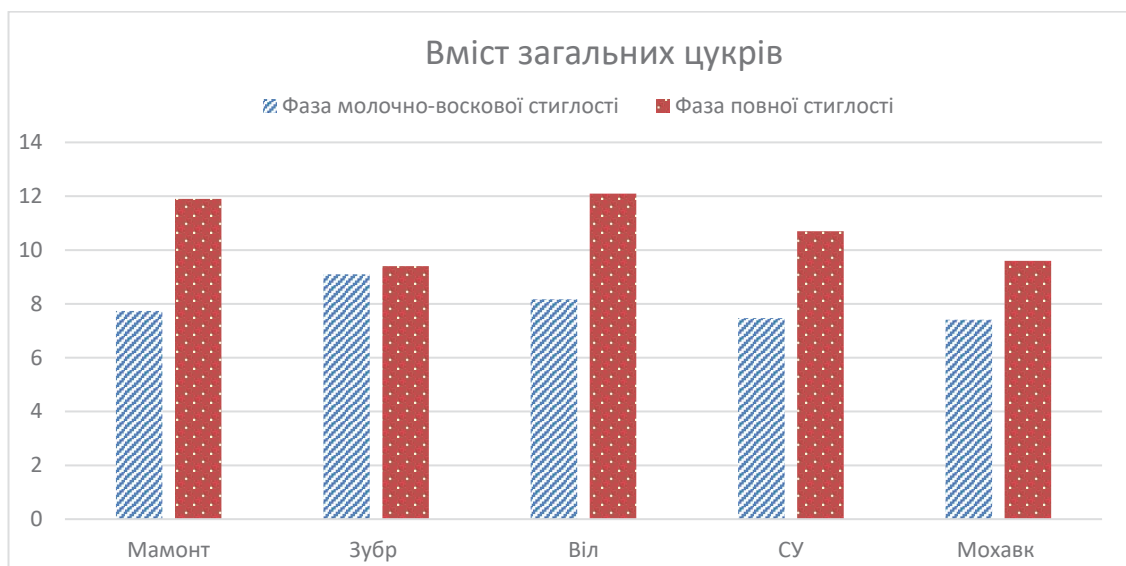


Рис. 1. Порівняльна динаміка накопичення цукрів для різних сортів сорго цукрового у фазу молочно-воскової та повної стиглості

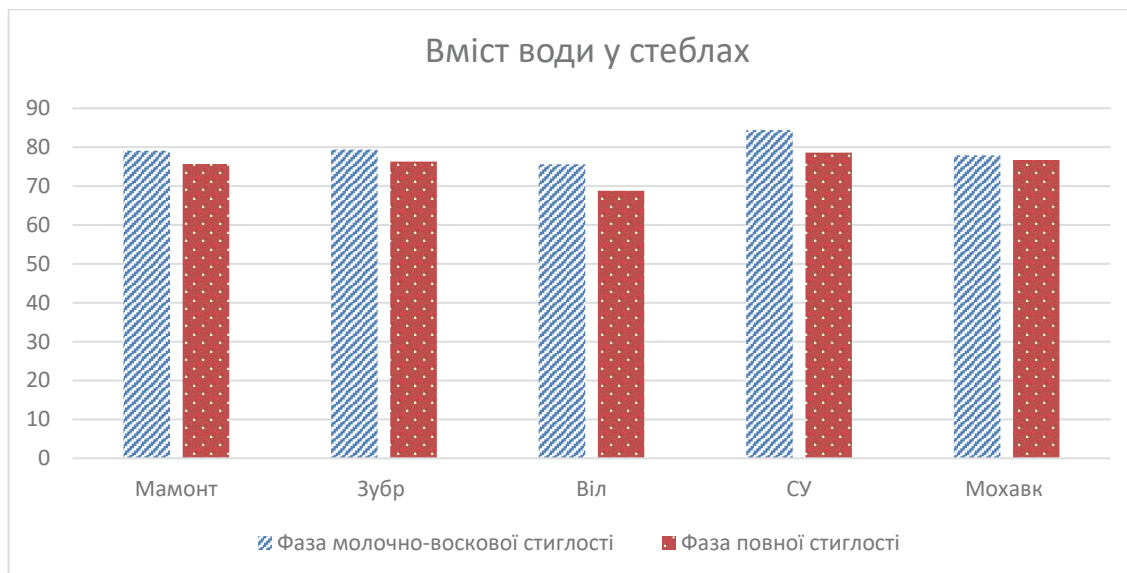


Рис. 2. Порівняльна динаміка вмісту вологи (води) у стеблах для різних сортів сорго цукрового у фазу молочно-воскової та повної стиглості

зменшення у всіх зразках, що пояснюється досягненням стадії технічної стиглості і подальшого переходу до біологічної стиглості сорго. Найбільші зміни відбулися у стеблах таких сортів як Віл (зменшення на 9%) та СУ (зменшення на 6,9%), незначні зміни мали такі сорти як Мамонт (зменшення на 4,3%) та Зубр (зменшення на 3,9%), найменші втрати соку були у сорту Мохавк (зменшення на 1,5%). З точки зору показників цукристості та вмісту соку у стеблах найбільш перспективними є сорти як Мамонт та Віл.

Отже, на основі аналізу результатів досліджень стебел цукрового сорго у фазу молочно-

воскової стиглості можна зробити висновок, що в середньому чистота клітинного соку становила 77,4...84,1%, залежно від сорту; загальний вміст цукрів – 7,4...9,1%; вміст сухих речовин у соку коливався в межах 8,7...10,8%. Вміст води (води) у стеблах сорго становив порядку 77,9...84,4% до маси стебел, а вміст сухих речовин відповідно 15,6...24,4%. Результати аналізів стебел цукрового сорго у фазу повної стиглості демонструють збільшення вмісту загального цукру у всіх досліджуваних сортах. Зокрема, в таких сортах як Мамонт та Віл, загальний вміст цукрів становив в середньому 12%. У зразках Зубр, Мохавк та СУ

вміст загальних цукрів не перевищував 10-11%, що не забезпечило досягнення технологічної зрілості сировини та пов'язано з сортовими особливостями та кліматичними умовами вирощування. Вміст сухих речовин у стеблах сорго різних сортів знаходився в межах 21,4-31,2%, відповідно води – 68,8...78,6% до маси стебел. Крім того, проведені дослідження показали, що за період вегетації сорго досягається достатнє для переробки накопичення цукристих речовин та досягається чистота клітинного соку в середньому 80-83,7%.

Первинним етапом і однією із основних стадій в технології цукровмісного продукту є процес вилучення цільового компонента за умови найменших його втрат та одержання продукту високої чистоти, що в значній мірі визначає якість і вихід готового продукту. Особливістю цукрового сорго є накопичення цукристих речовин у стеблах рослини, що зумовлює подібність технології вилучення до переробки тростини, зокрема стадій подрібнення стебел на вальцювому пресі та одержання пресового соку.

Нами встановлено технологічні показники сировини та соків в процесі пресування з метою вилучення цукрів зі стебел сорго цукрового. Для досліджень було обрано сорт гібриду Мамонт (Одеська селекція СГІ НААН). В стеблах сорго визначали вміст цукрів, в пробах жмиху: вміст сухих речовин, цукрів – сахарози та редукувальних речовин.

Для проведення аналізу матеріального балансу продуктів в процесі пресування стебел визначали такі показники як: маса проби, масова частка: сухих речовин, загальних цукрів, редукувальних речовин та сахарози у свіжій сировині та у жмиху після пресування, також розраховували соковий коефіцієнт у свіжих стеблах.

Усереднені результати проведених експериментальних досліджень представлено у табл. 1.

Таким чином, у разі пресування стебел сорго досягається ефект вилучення цукрів порядку 35-40%. Значна частка соку, а відповідно і цукрів

залишається у жмиху – 8,74%. Це пов'язано з недостатньо високим соковим коефіцієнтом тканини стебел, а також з тим, що пресовий спосіб забезпечує тільки часткову руйнацію клітин стеблової тканини, з яких відбувається вилучення соку, тоді як значна частка соку знаходиться у нерозірваних клітинах і залишається у жмиху.

Нами проведені теоретичні розрахунки, які дозволяють прогнозувати вихід пресового соку, відповідно вихід та вміст цукрів жмиху після пресування. Відповідно, вихід жмиху після пресування стебел сорго розраховуємо за формулою:

$$V_{жм} = \frac{V_c * CP_{ст} * (1 - H_{пр})}{CP_{жм}}, \quad (1)$$

де $V_{жм}$ – вихід жмиху, %;

V_c – відсоткова кількість стебел, % (100%);

$CP_{ст}$ – масова частка сухих речовин в стеблах сорго.

$H_{пр}$ – нормативна величина втрат сухих речовин при пресуванні;

$CP_{жм}$ – вміст сухих речовин у жмиху після пресування;

Вихід пресового соку:

$$V_{пс} = V_c - V_{жм}, \quad (2)$$

де $V_{пс}$ – вихід пресового соку, %.

Залишковий вміст цукрів у жмиху після пресування стебел сорго розраховуємо з врахуванням масової частки сухих речовин після пресування та масової частки загальних цукрів та сухих речовин у вихідних стеблах сорго за формулою:

$$C_{жм} = \frac{C_{ст} \cdot \left(100 - \frac{V_{пс} \cdot 100}{V_c - CP_{ст}} \right)}{100}, \quad (3)$$

де $C_{жм}$ – вміст цукрів у жмиху після пресування, %;

$C_{ст}$ – масова частка цукрів у стеблах, %.

Таблиця 1.

Технологічні показники стебел сорго до та після пресування

Показники	Свіжа сировина	Жмих після пресування
Маса, кг	8,3	6,4
Масова частка, %:		
сухих речовин	26,0	31,4
загальних цукрів	10,26	8,74
редукувальних речовин	4,94	3,70
сахарози	5,32	5,15
Соковий коефіцієнт, %	78,5	-

На основі теоретичного обґрунтування матеріального балансу сировини та продуктів під час пресування (рівняння 1-3) проведено розрахунки з використанням програми Mathcad Professional, а саме: виходу пресового соку, жмиху та вмісту загальних цукрів у ньому. В якості змінних параметрів обрано вміст сухих та цукристих речовин у стеблах сорго до пресування, вміст сухих речовин жмиху після пресування, величина втрат сухих речовин при пресуванні.

На рис. 3 представлено розрахункову графічну залежність: виходу пресового соку від ступеня пресування – g (вмісту сухих речовин у пресованому жмиху). При визначенні залежностей виходу пресованого соку (B01-06) від ступеня пресування початкові значення вмісту сухих речовин у стеблах становили відповідно: 24%; 24,5%; 25%; 25,5%; 26%; 26,5%.

Аналіз залежностей, представлених на рис. 3 свідчить, що вихід пресованого соку зі стебел сорго може змінюватися в широких межах залежно від вихідних показників вмісту сухих речовин у стеблах та відповідно ступеня пресування. Так, у разі вмісту сухих речовин 24...25% у стеблах, що підлягають переробленню, вихід соку (при пресуванні до вмісту сухих речовин 32%) становитиме в середньому 28-30%. Зі збіль-

шенням ступеня пресування до 36% теоретичний вихід пресованого соку збільшиться до 35-37%.

Для розрахунку вмісту загального цукру у пресованому жмиху залежно від вмісту сухих речовин після пресування (рис. 4) приймали діапазон зміни початкового вмісту загального цукру у стеблах 12-17%: Gs01 – 12%; Gs02 – 13%; Gs03 – 14%; Gs04 – 15%; Gs05 – 16%; Gs06 – 17%. Діапазон зміни параметрів відповідно становив: g – 28...36%, x – 24...26,5%, S – 12...17%, за сталого значення нормативної величини втрат сухих речовин при пресуванні H – 0,069.

На основі експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків показано, що при пресуванні вихід соку в середньому становить 25-35% до маси стебел. На вихід соку впливає ступінь пресування стебел та вміст клітинного соку в стебловій тканині, що залежить від сортових особливостей сорго цукрового та термінів збирання.

Так, у табл. 2 наведено результати оцінки прогнозованого виходу продуктів при переробленні сорго різних сортів. Так, у разі аналізу проб сировини у період повної стиглості зерна (табл. 2) вихід пресового жмиху стебел для різних сортів становив порядку 53...79%, а вихід пресового соку відповідно 20,9...47,2%

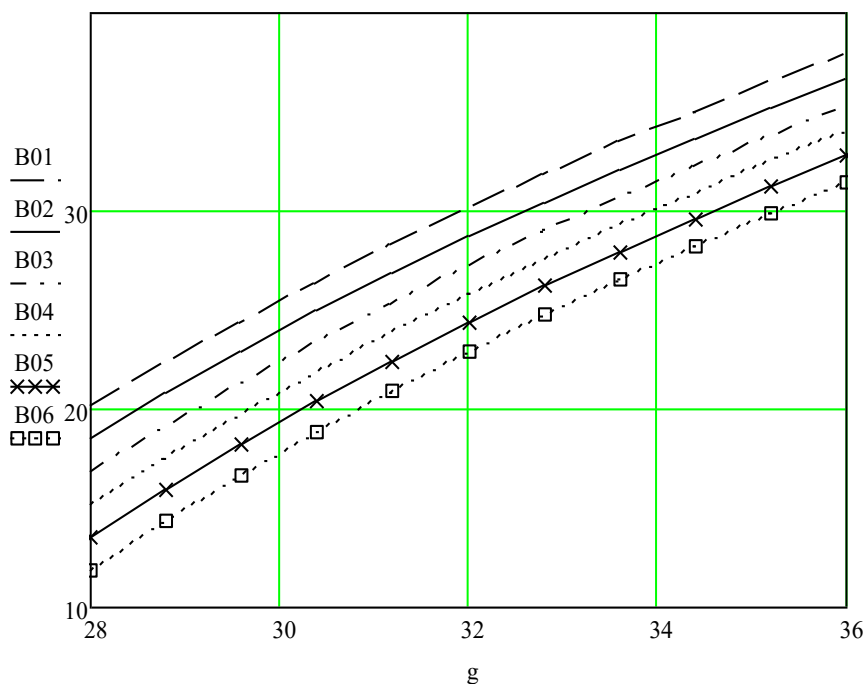


Рис. 3. Залежність виходу пресового соку (V) від вмісту сухих речовин після пресування (g) за значень початкового вмісту сухих речовин у стеблах відповідно, %: B01 – 24; B02 – 24,5; B03 – 25; B04 – 25,5; B05 – 26; B06 – 26,5

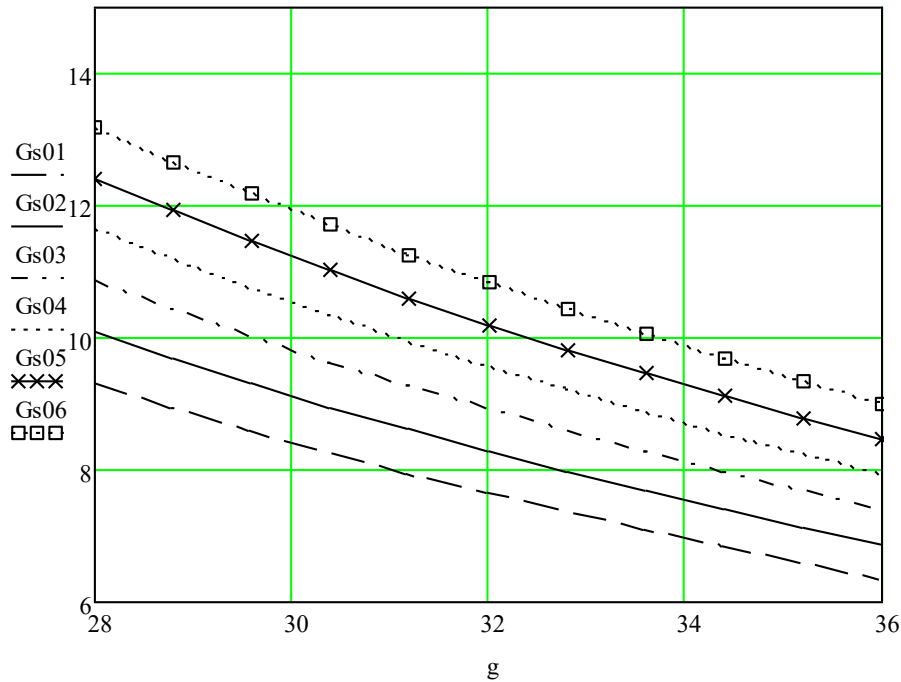


Рис. 4. Залежність вмісту цукру(G) у пресованому жмиху від масової частки сухих речовин після пресування (g) за значень початкового вмісту цукру у стеблах відповідно, %: G01 – 12; Gs02 – 13; Gs03 – 14; Gs04 – 15; Gs05 – 16; Gs06 – 17

Таблиця 2

Аналіз прогнозованого виходу продуктів при пресуванні стебел цукрового сорго різних сортів у фазу повної стиглості

Сорт	Вміст загальних цукрів у соку, %	Вміст СР у стеблі, %	Вміст СР у багасі після пресування, %	Вихід жмиху	Вихід пресового соку	Залишковий вміст цукрів у жмиху
Мамонт	11,9	24,3	35,2	63.8	36.1	6.2
Зубр	9,4	23,7	27,7	79.1	20.9	6.8
Віл	12,1	31,2	40,4	71.4	28.6	7.1
СУ	10,7	21,4	30,6	64.7	35.3	5.9
Мохавк	9,6	23,3	40,8	52.8	47.2	3.7

Найбільший прогнозований вихід пресового соку показав сорт Мохавк (47,2%), нижчі показники виходу соку відповідно для сортів СУ (35,3%) та Мамонт (36,1%).

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Показано, що технологічні показники сорго цукрового залежать від сорту та терміну вегетації, що є важливим критерієм для підбору найбільш перспективних сортів для одержання харчових цукровмісних сиропів.

На основі огляду літературних джерел було показано, що підвищення ефективності процесу **вилучення цукристих речовин** можна досягти за рахунок поєднання пресового та дифузійного методів.

Підтверджено, що пресовий спосіб не забезпечує достатнього вилучення цукрів з пресовим соком. На вихід соку впливає ступінь пресування стебел та вміст клітинного соку в стебловій тканині, що залежить від сортових особливостей сорго цукрового та термінів збирання.

Застосування запропонованих рівнянь для розрахунків матеріального балансу та графічних номограм дозволить прогнозувати вихід основних продуктів під час пресування сировини, що є основою для розрахунку технологічних параметрів та відповідно підбору технологічного обладнання для екстракційного процесу вилучення цукрів з пресованого жмиху.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Василенко Р. Агротехнологічні прийоми збільшення продуктивності сорго на Півдні України. Пропозиція. 2017. С. 82-85.
2. Моргун А. В., Пясецький П. І., Любич В.В. Продуктивність різних сортів і гібридів сорго цукрового за різних строків збирання, 2022. С. 163-173. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-163-173.
3. Володько О.І., Циганков С.П. Технологічні рішення з виділення, очищення та зберігання соку цукрового сорго для подальшої ферментації з метою отримання біоетанолу. Збірник наукових праць за матеріалами XVIII Всеукраїнської науково-технічної онлайн-конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології». 2020. С. 243-247.
4. Олександрюк В. І., Омельченко Н. М., Кучерява В. А. Цукрове сорго як сировина для виробництва біоетанолу. Біологічні дослідження: Збірник наукових праць. 2015. С. 449-451.
5. Карпутіна Д. Д., Фролова Н. Е., Олійник С. І. Обґрунтування перспективності використання цукрового сорго в технології оздоровчих ферментованих напоїв. Харчова наука та технологія. 2014. С. 9-13.
6. Husiatynska N., Hryhorenko N., Kalenyk O., Husiatynskyi M., Teterina S. Studying the process of extracting sugary substances from the stalks of sweet sorghum in the technology of making food syrups. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. С. 17-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237785.
7. Rokaia Ramadan Abdelsalam, Waled Mohamed Abdel-Aleem, Hussein Ferweez, Evaluation of Some Technological Treatments on Juice Quality of Both Sugar Cane and Sweet Sorghum as Fresh Bever or Raw Material for Syrup (Black Honey) Production, International Journal of Nutrition and Food Sciences. 2020. Vol. 9. No. 4. С. 95-103.
8. Ліпєц А.А., Гусятинська Н.А. Сучасні способи інтенсифікації процесу екстрагування сахарози з бурякової стружки. Цукор України. Київ, 2015. № 1. С. 13-18, 44-50.
9. Monroe G.E., Nichols R.L., Bryan W.L., Sumner H.R. Sweet sorghum juice extraction with 3-roller mills. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). 1984. 27(3). С. 651-654. DOI: 10.13031/2013.32845.
10. Gnansounou E., Dauriat A., Wyman C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. Bioresource technology. 2005. 96(9). С. 985-1002.

REFERENCES:

1. Vasylenko R. Ahrotekhnolohichni pryioomy zbilshennia produktyvnosti sorho na Pivdni Ukrainy. Propozytsiia. 2017. S. 82-85.
2. Morhun A. V., Piasetskyi P. I., Liubych V.V. Produktyvnist riznykh sortiv i hibrydiv sorho tsukrovoho za riznykh strokiv zbyrannia. 2022. S. 163-173. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-163-173.
3. Volodko O.I., Tsyhankov S.P. Tekhnolohichni rishennia z vydilennia, ochyshchennia ta zberihannia soku tsukrovoho sorho dlia podalshoi fermentatsii z metoiu otrymannia bioetanolu. Zbirnyk naukovykh prats za materialamy XVIII Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi onlain-konferentsii «Aktualni problemy enerhetyky ta ekolohii». 2020. S. 243-247.
4. Oleksandriuk V. I., Omelchenko N. M., Kucheriava V. A. Tsukrove sorho yak syrovyna dlia vyrobnytstva bioetanolu. Biolohichni doslidzhennia: Zbirnyk naukovykh prats. 2015. S. 449-451.
5. Karputina D. D., Frolova N. E., Oliinyk S. I. Obruntuvannia perspektyvnosti vykorystannia tsukrovoho sorho v tekhnolohii ozdorovchykh fermentovanykh napoiv. Kharchova nauka ta tekhnolohiia. 2014. S. 9-13.
6. Husiatynska N., Hryhorenko N., Kalenyk O., Husiatynskyi M., Teterina S. Studying the process of extracting sugary substances from the stalks of sweet sorghum in the technology of making food syrups. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. S. 17-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237785.
7. Rokaia Ramadan Abdelsalam, Waled Mohamed Abdel-Aleem, Hussein Ferweez, Evaluation of Some Technological Treatments on Juice Quality of Both Sugar Cane and Sweet Sorghum as Fresh Bever or Raw Material for Syrup (Black Honey) Production, International Journal of Nutrition and Food Sciences. 2020. Vol. 9. No. 4. S. 95-103.
8. Lipiets A.A., Husiatynska N.A. Suchasni sposoby intensyfikatsii protsesu ekstrahuvannia sakharozy z buriakovoї struzhky. Tsukor Ukrainy. Kyiv, 2015. № 1. S. 13-18, 44-50.
9. Monroe G.E., Nichols R.L., Bryan W.L., Sumner H.R. Sweet sorghum juice extraction with 3-roller mills. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). 1984. 27(3). S. 651-654. DOI: 10.13031/2013.32845.
10. Gnansounou E., Dauriat A., Wyman C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. Bioresource technology. 2005. 96(9). S. 985-1002.

Стаття надійшла до редакції 31 травня 2023 року