

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING SUGAR-CONTAINING SORGHUM SYRUP WITH THE USE OF MEMBRANE METHODS

N. Hryhorenko

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine

N. Husiatynska

National University of Food Technologies

P. Vakuliuk, V. Chibrikov

National University of "Kyiv-Mohyla Academy"

Key words:

*Sweet sorghum
Ultrafiltration
Clarification and
Concentration of juice
Membrane distillation
Sweet sorghum syrup*

Article history:

Received 16.12.2019

Received in revised form
26.12.2019

Accepted 20.01.2020

Corresponding author:

N. Hryhorenko

E-mail:

[grygorenko.na@
gmail.com](mailto:grygorenko.na@gmail.com)

ABSTRACT

The paper presents the results of research on the development of technology of sugar-containing products from alternative vegetable raw materials. The prospect of using sweet sorghum to produce syrup enriched with amino acids, vitamins, macro- and microelements is argued. A brief review of the literature on traditional methods of syrup production has been made, and the feasibility of using membrane methods in the technology of producing sorghum syrup has been substantiated. The possibility of using vegetable raw materials of sweet sorghum in the technology for producing sugar-containing products is substantiated.

The object of the study is technological indicators of the quality of the purified pressed sweet sorghum juice. According to the technological scheme, the pressed juice was purified from high molecular weight compounds (IUDs) and enzymatic hydrolysis of starch was carried out to improve the quality of the syrup and increase the productivity of the concentration process.

As a result of the experimental studies, the technology of obtaining concentrated juices by clarifying and concentrating the purified sweet sorghum juice using ultrafiltration and membrane distillation was proposed.

Indicators of quality of sorghum juice after clarification by the ultrafiltration method are given. Efficiency of removal of IUDs and dyes during ultrafiltration purification of sweet sorghum sugar was found, which provided the reduction of IUD content by 23.2% and coloration by 33 units ICUMSA. The process of concentration of clarified juice by the method of membrane distillation is explored and its optimal parameters are determined. Experimental studies have proven the effectiveness of the use of membrane methods to improve the purity, content of solids and total sugar in syrup obtained from sweet sorghum.

The conducted studies confirmed the prospect of the introduction of membrane methods in the technology of producing sugar-containing syrup from sorghum.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-1-18

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦУКРОВІСНОГО СОРГОВОГО СИРОПУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕМБРАННИХ МЕТОДІВ

Н. О. Григоренко

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України

Н. А. Гусятинська

Національний університет харчових технологій

П. В. Вакулюк, В. В. Чібіров

Національний університет «Києво-Могилянська академія»

У статті представлено результати досліджень з розроблення технології цукровісних продуктів з альтернативної рослинної сировини. Аргументовано перспективність використання сорго цукрового для отримання сиропу, збагаченого амінокислотами, вітамінами, макро- та мікроелементами. Здійснено короткий огляд літературних джерел, у яких описано традиційні методи виробництва сиропів, і обґрунтовано доцільність застосування мембранних методів у технології отримання цукровісного сиропу з сорго.

Метою дослідження є застосування в технології отримання цукровісного продукту мембранних методів освітлення та концентрування соку сорго задля підвищення його якісних показників, що сприятиме подальшому практичному використанню у різних харчових виробках як цукрової складової.

Об'єктом дослідження є технологічні показники якості очищеного пресового соку сорго цукрового. Відповідно до технологічної схеми пресовий сік очищали від високомолекулярних сполук (ВМС) і проводили ферментативний гідроліз крохмалю з метою покращення якості сиропу та підвищення продуктивності процесу концентрування.

У результаті проведених експериментальних досліджень запропоновано технологію отримання концентрованих соків шляхом освітлення та концентрування очищеного соку цукрового сорго методами ультрафільтрації та мембранної дистиляції. Наведено показники якості соку сорго після освітлення методом ультрафільтрації. Встановлено ефективність видалення ВМС та барвних речовин під час ультрафільтраційного очищення соку сорго цукрового, що забезпечило зниження вмісту ВМС на 23,2% та забарвленості на 33 од. ICUMSA. Досліджено процес концентрування освітленого соку методом мембранної дистиляції і визначено його оптимальні параметри. Експериментальними дослідженнями доведено ефективність застосування мембранних методів для підвищення чистоти, вмісту сухих речовин і загального цукру у сиропі, одержаному з цукрового сорго.

Проведені дослідження підтвердили перспективність впровадження мембранних методів у технологію отримання цукровісного сиропу з сорго.

Ключові слова: сорго цукрове, ультрафільтрація, освітлення та концентрування соку, мембранна дистиляція, сироп цукрового сорго.

Постановка проблеми. Задля успішного розвитку харчової промисловості необхідно створювати технології якісних і безпечних продуктів, які збагачені вітамінами, макро- й мікроелементами та іншими біологічно активними харчовими інгредієнтами. На сьогодні ринок підсолоджувачів представлений природними та штучними продуктами. На жаль, останніми роками в Україні різко збільшилась кількість захворювань, які пов'язані з обміном речовин. До цих захворювань належать ожиріння, цукровий діабет, серцево-судинні захворювання. Першопричиною їх можна вважати зміни в сучасному харчуванні — заміна традиційних натуральних продуктів на продукти рафіновані, консервовані, які практично повністю позбавлені природного комплексу супутніх біологічно поживних речовин. Тож пошук альтернативних натуральних цукрозамінників, які підвищують біологічну цінність та різноманіття харчових продуктів, є актуальним напрямком сучасних досліджень у харчовій промисловості.

Виробництво нових цукровмісних продуктів, які у своєму складі поряд з сахарозою, фруктозою та глюкозою містять природні біологічно активні речовини, є одним із перспективних напрямків розвитку харчової промисловості. Запорукою успіху цих досліджень є розширення асортименту цукровмісних продуктів функціонального, лікувального та дієтичного харчування.

Як перспективна сільськогосподарська культура, новий сировинний ресурс для виробництва натуральних цукровмісних продуктів може використовуватись сорго цукрове. Ця культура характеризується коротким періодом дозрівання, добре переносить ґрунтово-повітряні посухи, забезпечує високі і стабільні врожаї зерна та зеленої біомаси. Всі ці позитивні властивості сорго цукрового дають змогу успішно вирощувати його у кліматичних умовах України [1].

Сік стебел сорго цукрового містить у своєму складі вільні розчинні цукри, амінокислоти, вітаміни, макро- та мікроелементи, що дає підстави вважати сорго цукрове альтернативною сировиною цукровому буряку. Цукрове сорго є чудовою культурою для отримання рідких цукропродуктів підвищеної біологічної цінності, які містять у своєму складі значний відсоток моноцукрів (глюкози та фруктози), що перешкоджають процесу кристалізації сахарози.

Цукрове сорго вирощується у понад 85 країнах світу. Це Східна (Ефіопія) та Центральна (Судан, Кенія) Африка, Східна (Китай) та Західна (Росія) Азія, Північна Америка (США, Сальвадор, Гондурас) та Австралія. Найбільш поширеним культивування сорго є у США (80% від ринку). В Україні центрами вирощування цукрового сорго є південні регіони — Одеська, Миколаївська, Херсонська област. [2]. В останні роки культура сорго цукрового розширила свій ареал вирощування і досить успішно адаптувалась в умовах Центрального Лісостепу України, забезпечуючи за короткий термін вегетації (90—120 діб) достатньо високий урожай зеленої маси (понад 100 т/га).

Перспективність цієї культури для харчової промисловості зумовлюється широким спектром її використання, зокрема для виробництва цукрових сиропів, спирту, ферментованих продуктів, а також для отримання продукції технічного призначення з лігноцелюлозних відходів основного виробництва [3—7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді країн (США, Канада, Австралія, Італія, Індія, Угорщина, Румунія) сорго цукрове досить успішно використовується для отримання сиропів. Лідером з виробництва сиропів цукрового

сорго є США, де налагоджено промислове їх виробництво в Prairie Apiaries (Іллінойс), Oberholtzer's (Кентуккі), Golden Barrel (Пенсильванія) [8].

За підходами до споживання сиропів сорго європейські країни можна умовно розділяти на три категорії — країни з власними потужностями вирощування та виробництва сиропів цукрового сорго (РФ, Болгарія), країни-імпортери сиропів цукрового сорго з США (Німеччина, Австрія, Франція тощо), країни, що не споживають сиропи цукрового сорго (Україна, Іспанія, Греція, Румунія тощо) [9].

На сьогодні в Україні не існує діючого промислового виробництва цукровмісного продукту із сорго цукрового. Однак продуктивна наукова робота у цьому напрямку ведеться, яка підкріплюється зацікавленістю виробників аграрного сектору. В перспективі планується впровадження промислових потужностей з виробництва сиропів.

Традиційною технологією цукрових сиропів передбачається термічне випарювання у різних модифікаціях апаратурного оформлення (відкрите, вакуумне, киплячої плівки тощо) [10]. Відомі також методи виробництва концентратів виморожуванням [11] і за допомогою зворотного осмосу [12]. Недоліками кріоконцентрування та зворотного осмосу є висока собівартість концентратів (виморожування), низький вміст сухих речовин (зворотний осмос).

Термічне випарювання полягає у нагріванні вихідного соку та видаленні розчинника (води) із парою або конденсацією. Серед переваг цього способу є простота апаратурного оформлення, висока продуктивність і стерильність процесу. Недоліками високотемпературного концентрування є часткове окиснення термочутливих компонентів соку (зокрема вітамінів і ферментів), відгонка одорантів соку (або необхідність експлуатації додаткових модулів, які здатні відганяти одоранти окремо від соку), значні енергетичні витрати процесу. Найбільш суттєвим недоліком процесу термічного випарювання є виникнення локальних перегрівів соку, що призводить до карамелізації цукрів та утворення барвних речовин. Продукти цього циклу реакцій погіршують органолептичні показники соку (поява гіркого присмаку, суттєве помутніння та потемніння), хімічний склад продукту (зниження вмісту моносахаридів і термочутливих речовин). Тому для забезпечення якісних властивостей отриманих продуктів випарювання соків необхідно здійснювати за більш низьких температур протягом короткого проміжку часу.

Одним із методів концентрування соку зі зниженням енергетичних витрат і збереженням харчового профілю сиропу є мембранна дистиляція, що полягає у проходженні соку через пористий матеріал, який є селективним відносно розчинених речовин. Рушійною силою процесу можуть бути різниця концентрацій, тисків і температур по обидві сторони мембрани. Серед переваг цього методу, порівняно з традиційними, є простота апаратурного оформлення, проведення процесу за нижчих температур, що забезпечує збереження одорантів і термочутливих речовин соку, модульність установки та можливість регулювання робочих параметрів процесу.

У світовій практиці відомі дослідження з концентрування соків шляхом використання мембранної дистиляції [13]. Застосування такої технології здійснюється при відносно низьких температурах, що дає змогу отримувати концентрати з вмістом сухих речовин порядку 60...70% та високою біологічною цінністю. Перевагами мембранної дистиляції, якщо порівняти з іншими техно-

логіями концентрування, є висока якість концентратів, можливість досягнення високого вмісту сухих речовин, зменшення витрат енергоносіїв за рахунок низької температури процесу.

Окрім того, перспективним напрямком застосування мембранних процесів є стадія попереднього освітлення цукровмісних соків. Метою попереднього освітлення соку є максимально повне вилучення високомолекулярних сполук (ВМС), що призводить у подальшому до підвищення чистоти готового продукту та зниження його забарвленості. Традиційно освітлення соків перед їх концентруванням проводять за допомогою бентоніту, желатину, SiO_2 , фільтруванням через діатомітовий і кізельгуровий фільтри. Науковцями [14] запропоновано застосування цеоліту для додаткового очищення цукровмісних соків бурякоцукрового виробництва.

З огляду на зазначене вище, **метою дослідження** є застосування мембранної технології для освітлення та концентрування соку сорго цукрового задля підвищення якісних показників кінцевого продукту і можливості використання його у різних харчових продуктах як цукрової складової.

Матеріали і методи. Як сировину досліджували пресовий сік із стебел цукрового сорго. Зразки рослин сорго цукрового були вирощені і відібрані на дослідних ділянках поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка Васильківського району Київської області).

Методика одержання соку. Підготовчий етап одержання соку сорго цукрового полягав у очищенні та подрібненні стебел, вилученні соку, відокремленні мезги. Наступним етапом було проведення процесу термічної коагуляції нецукрів соку і клейстеризації крохмалю. Ферментативний гідроліз крохмалю здійснювали у два етапи. Декстринізацію й одночасне розрідження крохмалю проводили з додаванням ферментного препарату α -амілази у кількості 2,5—3,0 одиниць активності на 1 г сухої речовини крохмалю за температури процесу 70—75°C і тривалості 30—60 хвилин. Зцукрювання декстринів до глюкози проводили з додаванням глюкоамілази в кількості 3,0—4,0 одиниць активності на 1 г сухої речовини крохмалю за температури процесу 57—58°C і тривалості 30—40 хвилин. Для осадження речовин колоїдної дисперсності до соку цукрового сорго додавали флокулянт, витримували при перемішуванні протягом 20—30 хв за температури 60—70°C та відокремлювали осад шляхом фільтрування [15].

Методика освітлення соку. На наступному технологічному етапі проводили освітлення соку за допомогою методу ультрафільтрації (УФ) [16]. Для проведення ультрафільтрації використовували експериментальну баромембранну установку, обладнану трековою мембраною на основі поліетилентерефталату (ПЕТФ) із діаметром пор мембрани у межах 0,08—0,15 мкм. Процес ультрафільтрації соку сорго проводили в непроточному режимі в ультрафільтраційній циліндричній комірці *Milipore Amicon 8200 Stirred Ultrafiltration Mini Cell* з поліпропілену ємністю 0,2 дм³ та площею робочої поверхні мембрани — 2,9·10⁻³ м². Мембрана в ультрафільтраційній комірці розташована горизонтально, ємність з робочим розчином розташована над мембраною. Для уникнення концентраційної поляризації робочий розчин турбулізували за допомогою магнітної мішалки. Процес проводили за умови перемішування соку зі швидкістю 360—420 об/хв при температурі 12°C та постійному тиску 0,15 МПа.

Продуктивність мембрани та швидкість об'ємного потоку J_v , $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ розраховували за формулою:

$$J_v = \frac{\Delta V}{S \cdot \Delta \tau}, \quad (1)$$

де ΔV — об'єм дистилляту, який пройшов через мембрану площею S за час $\Delta \tau$.

Методика концентрування соку. Концентрування освітленого соку проводили на експериментальній установці контактної мембранної дистиляції (КМД) [17]. В установці КМД мембранна комірка складається з двох камер, розділених гідрофобною мікропористою мембраною, хімічно і механічно стійкою та водонепроникною. Для досліджень використовували гідрофобну мікрофільтраційну мембрану з кополімеру ВДФ (вініліденфториду) з ТФЕ (тетрафторетиленом) на поліпропіленовій підкладці, з діаметром пор мембрани $0,45 \text{ мкм}$ та площею робочої поверхні $7,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Мембрана була розташована горизонтально, причому активний шар мембрани зорієнтований у напрямку гарячої камери.

Циркуляцію розчинів по контурах («контур підігріву» — ємність з початковим розчином і «контур охолодження» — приймальна ємність з дистильованою водою) здійснювали за допомогою перистальтичного насоса при об'ємному потоці $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3/\text{с}$. Температуру теплоносія у контурі підігріву змінювали відповідно до умов експерименту в діапазоні $30 \dots 70^\circ\text{C}$ для визначення оптимальних технологічних значень процесу. Температуру теплоносія підтримували за допомогою термостата Wise Circu WCB-11. Камеру з дистиллятом охолоджували водопровідною водою, температура якої становила $10 \text{—} 13^\circ\text{C}$.

Принципову схему експериментальної КМД установки представлено на рис. 1.

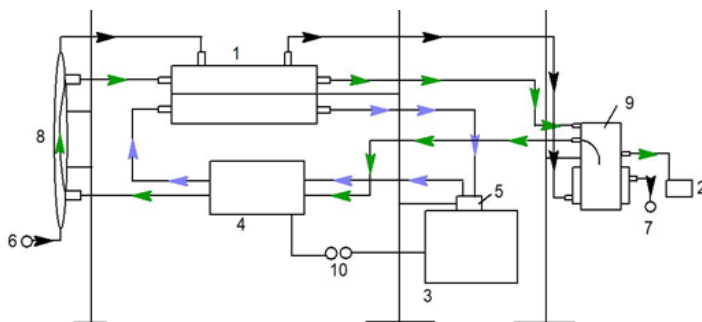


Рис. 1. Схема експериментальної установки контактної мембранної дистиляції:

- 1 — мембранна комірка; 2 — ємність для пермеату; 3 — термостат; 4 — перистальтичний насос; 5 — ємність для початкового розчину; 6 — кран подачі холодоагенту в охолоджувальний контур; 7 — клапан рециркуляції охолоджувального контуру; 8 — теплообмінник; 9 — розподільча ємність, 10 — елемент живлення

Визначення фізико-хімічних показників соку. Для підтвердження ефективності досліджуваних способів освітлення та концентрування соку сорго визначали зміну таких фізико-хімічних показників: вміст ВМС і колоїдів визначали за методом А. В. Думанського і С. Є. Харіна в модифікації С. І. Королькова і П. М. Сіліна [18], забарвленість продукту — методом фотоколориметрії за дов-

жини хвилі 560 нм, рН — потенціометричним методом, вміст сухих речовин — методом рефрактометрії, загальний вміст цукрів та редукувальних речовин визначали за методом Люффа-Шорля [19].

Викладення основних результатів дослідження. Попереднє освітлення соку проводили для вилучення ВМС та стерилізації вихідного продукту. Застосування ферментативного гідролізу крохмалю під час проведення попередньої обробки соку сорго забезпечує його високу фільтраційну здатність унаслідок відсутності декстринів в очищеному соку та сприяє збільшенню вмісту моноцукридів, що підвищує харчову цінність готового продукту. Результати експериментальних досліджень, наведених у табл. 1, показали, що під час попереднього очищення пресового соку сорго видаляється частина високомолекулярних сполук (ВМС) за рахунок їх осадження при взаємодії з флокулянтном, що дає змогу в подальшому суттєво підвищити чистоту продукту та знизити його забарвленість. Так, ефект видалення ВМС у попередньо очищеному соку порівняно з вихідним пресовим соком сорго склав, відповідно, 36,07%.

Крім того, попередня обробка соку сорго забезпечує більшу продуктивність наступної стадії очищення — ультрафільтрації за рахунок зменшення кількості високомолекулярних сполук, внаслідок чого зменшується або відсутнє формування на поверхні мембрани гелевих шарів у процесі мембранного освітлення, що позитивно впливає на продуктивність процесу фільтрації. За результатами експериментальних досліджень, наведених у табл. 1, можна стверджувати, що застосування ультрафільтраційного методу для обробки попередньо очищеного соку сорго забезпечує зниження вмісту ВМС на 23,2% та забарвленості на 33 од. ICUMSA. Поліпшення фізико-хімічних показників освітленого соку забезпечило підвищення його чистоти на 2,6 одиниці.

Таблиця 1. Аналіз фізико-хімічних показників соку до та після процесу ультрафільтраційного освітлення

Параметри	Одиниці вимірювання	Вихідний пресовий сік	Сік після стадії попереднього очищення	Сік після УФ освітлення
Вміст сухих речовин	%	17,60	18,10	16,20
Вміст загальних цукрів	% до маси пр.	14,20	14,93	13,71
Чистота	% цукру до маси СР	80,68	82,48	84,63
Вміст ВМС	% до маси СР	8,76	5,60	4,30
Вміст редукувальних речовин	% до маси пр.	5,23	5,58	4,88
Вміст цукрози	% до маси пр.	8,97	9,35	8,83
Активна кислотність, рН ₂₀		5,31	5,36	5,36
Забарвленість	од. ICUMSA	—	228,4	195,3

Ультрафільтраційне освітлення соку забезпечує видалення суспензійних речовин і поліпшує продуктивність процесу концентрування з мінімальними втратами поживних речовин.

Оскільки переважними характеристиками сиропів для подальшого застосування є приємний аромат, однорідний тьмянний колір, помірна в'язкість, відсутність осаду, м'якоті та висока чистота, а необхідними параметрами процесу концентрування — висока продуктивність, то застосування ультрафільтраційного методу освітлення необхідна складова технологічного процесу.

З метою дослідження оптимальної тривалості процесу УФ проведено визначення продуктивності процесу освітлення соку сорго та швидкості його об'ємного потоку на трековій мембрані на основі ПЕТФ в часі. Тривалість процесу складала 3,5 год. Параметром, що вказує на якість мембрани, яку застосовували під час освітлення, слугувало значення об'ємного потоку розчинника J_v . Значення зміни продуктивності потоку на цій мембрані має зниження, не досить суттєве у часі: на початку процесу складало 28,4 $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$, а через 3,5 год — 22,6 $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$.

Тож можна зробити висновок, що при проведенні УФ обробки соку сорго досягаються позитивні зміни фізико-хімічних показників освітленого соку за умови відносно стабільної продуктивності процесу у часі.

Концентрування освітленого соку проводили методом контактної мембранної дистиляції. Важливим обґрунтуванням вибору КМД як методу концентрування соку цукрового сорго є простота практичної реалізації, більша швидкість потоку речовини для соків з великою концентрацією грубо дисперсних частинок, яка досягається за рахунок переходу парів соку через мембрану. Наявність теоретичних і практичних моделей концентрування соків методом КМД розширює галузі застосування цього методу з можливістю модифікації робочих параметрів [20]. Основні робочі параметри процесу наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Характеристики робочого процесу концентрування соку

Показник	Одиниці вимірювання	Δt °C					
		20	30	40	50	60	70
Тривалість процесу	год	5,25	4,36	4,16	3,45	3,0	2,14
Продуктивність по соку	$\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$	0,85	0,91	1,38	2,23	2,28	4,87
Продуктивність по воді	$\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$	1,45	1,46	3,08	3,58	4,95	6,25
Температура гарячого кола	°C	30	40	50	60	70	80

Застосування для освітлення попередньо очищеного соку сорго методів ультрафільтрації та концентрування шляхом контактної мембранної дистиляції дало змогу забезпечити оптимальні характеристики отриманого напівсиропу. Так, вміст сухих речовин у продукті підвищився в середньому в 2,09 раза. При цьому забарвленість сиропу збільшилася за рахунок концентрування в 3,06 раза (табл. 3).

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники соку до та після процесу концентрування

Показник	Одиниці вимірювання	Освітлений сік	Δt °C					
			20	30	40	50	60	70
Вміст сухих речовин	%	16,20	21,00	22,00	25,80	33,90	35,00	35,80
Вміст загальних цукрів	% до маси пр.	13,71	17,90	19,00	22,40	29,60	30,10	30,20
Вміст редукованих речовин	% до маси пр. % до маси СР	4,88	6,05 28,81	6,80 30,91	8,36 32,40	11,37 33,54	11,78 33,66	12,06 33,69
Вміст цукрози	% до маси пр. % до маси СР	8,83	11,85 56,43	12,20 55,45	14,04 54,42	18,23 53,77	18,32 52,34	18,14 50,67
Чистота	% до маси СР	84,63	85,23	86,36	86,82	87,31	86,00	84,36
Активна кислотність, рН ₂₀		5,36	4,82	4,93	5,25	5,16	5,20	5,18
Вміст ВМС	% до маси СР	4,30	9,59	9,61	9,67	10,01	11,46	12,38
Забарвленість	од. ICUMSA	195,3	412,9	413,0	415,6	428,0	486,0	602,7

За результатами проведених досліджень, наведених у табл. 3, можна прослідкувати закономірності між робочими параметрами процесу та зміною показників фізико-хімічних характеристик соку.

Так, вміст сухих речовин зростає зі збільшенням різниці температур проведення дослідів. Необхідно відзначити, що при збільшенні різниці температур у діапазоні $\Delta t = 40...50^\circ\text{C}$ спостерігається збільшення вмісту сухих речовин, тоді як подальше підвищення різниці температур процесу забезпечує невелике зростання вмісту сухих речовин, натомість якість продукту суттєво знижується.

У результаті збільшення різниці температури процесу у діапазоні $\Delta t = 60...70^\circ\text{C}$ відмічається поступове зменшення чистоти концентрованого соку сорго, про що свідчать результати досліджень (рис. 2), що зумовлено процесами окиснення органічних речовин соку.

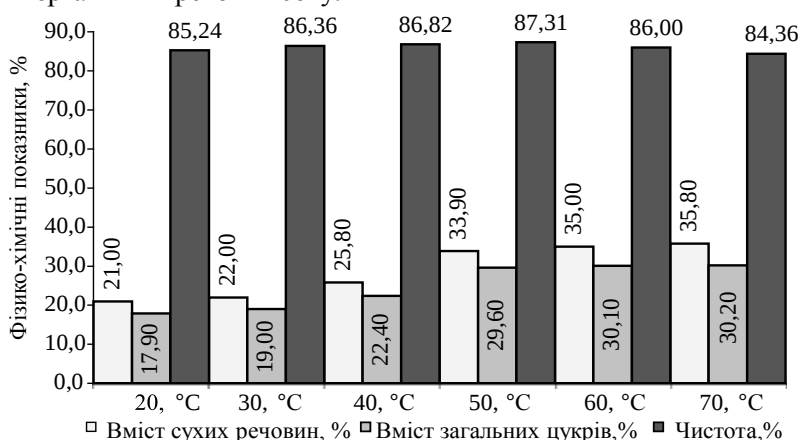


Рис. 2. Залежність фізико-хімічних показників соку сорго від температури процесу концентрування

Оскільки сік сорго цукрового є досить неоднорідною системою, який складається з вуглеводів цукрози, моноцукрів, а також амінокислот та інших органічних речовин і за умов впливу на систему високих температур протягом тривалого часу відбуваються незворотні зміни у її структурі.

Так, в умовах локального перегріву соку відбуваються процеси розкладу як амінокислот, так і відновного цукру, що містить карбонільні групи. З амінокислот утворюються відповідний альдегід, аміак і діоксид вуглецю, а із відновного цукру — фурфурол або оксиметилфурфурол, що легко вступають у взаємодію з утворенням барвних речовин (меланоїдинів), які, у свою чергу, посилюють забарвленість соку, що впливає на якість вихідного продукту як за кольором, так і за смаком.

Крім того, при впливі підвищених температур у низькоконцентрованих розчинах соку сорго та кислому середовищі відбуваються реакції розкладу цукрози з утворенням інвертного цукру. Іони водню, які утворюються в системі внаслідок дисоціації води та цукрози, сприяють прискоренню реакції інверсії, а подальше збільшення їх у системі, завдяки утворенню інвертного цукру та продуктів його розкладу, — органічних кислот, зумовлюють хімічні втрати цукрози.

Аналізуючи результати досліджень (табл. 3 та рис. 2), можна стверджувати, що для отримання напівсиропу із сорго цукрового високої якості необхідно проводити процес концентрування освітленого соку в діапазоні температур $\Delta t = 40 \dots 50^\circ\text{C}$.

Висновки

Доведено ефективність застосування та визначено раціональні умови здійснення процесу освітлення соку сорго цукрового методом ультрафільтрації. Результати експериментальних досліджень засвідчили, що застосування УФ після попереднього освітлення соку сорго забезпечує зниження вмісту ВМС на 23,2% та забарвленості на 33 од. ICUMSA.

Підтверджено ефективність концентрування освітленого соку методом контактної мембранної дистиляції. Встановлено, що під час концентрування вміст ВМС підвищився в 2,23 раза, забарвленість — в 3,06 раза. При цьому продуктивність процесу суттєво зростає: від $0,8 \dots 1,5$ до $2,0 \dots 4,8 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ зі збільшенням від $\Delta t = 20 \dots 40^\circ\text{C}$ до $\Delta t = 50 \dots 70^\circ\text{C}$.

Рекомендовано здійснювати процес концентрування соку сорго методом контактної мембранної дистиляції у діапазоні температур $\Delta t = 40 \dots 50^\circ\text{C}$.

Література

1. Василенко Р. Агротехнологічні прийоми збільшення продуктивності сорго на Півдні України. *Пропозиція*. 2017. С. 82—85.
2. Agrama H. A., and Tuinstra M. R. Phylogenetic diversity and relation ship samong sorghu maccession susing SSRs and RAPDs. *African Journal of Biotechnology*. 2003. № 2. С. 334—340.
3. Teetor V. H., Duclos D. V., Wittenberg E. T., Young K. M., Chawhuaymak J., Riley M. R. & Ray D. T. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Industrial Cropsand Products*. 2011. № 34. P. 1293—1300.
4. Wery T., Petersen G., Aden A., Bozell J., Holladay J., White J. & Jones S. Op value added chemicals from biomass. Volume 1-Results of screening for potential candidates from sugar sand synthesis gas. Department of Energy Washington DC. 2004.

5. Григоренко Н. О., Штангеев В. О., Хомічак Л. М., Гріненко І. Г. Шляхи пошуку розширення асортименту продукції цукрової галузі України. *Цукор України*. 2016. № 6—7 (126—127). С. 41—44.
6. Левандовський Л. В., Олійнічук С. Т., Ткаченко Л. В., Ткаченко А. Ф. Використання соку цукрового сорго для біосинтезу спирту. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 7. С. 63—65.
7. Карпутина М., Прибыльский В., Григоренко Н. Усовершенствование технологии ферментированного безалкогольного напитка с использованием культуры *Medusomyces gisevii*. *Химия и технология пищи*. Каунас, 2014. Т. 48, № 1. С. 5—11.
8. Kupchuk L. A., Kotynska L. Y., Sych N. V., Grigorenko N. A. Microporous carbonate catalysts from lignocellular waste processing sorgho (bagasse). *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 6(70).
9. Golden Barrel. URL <https://goo.gl/AoJfYT>.
10. Sorghum Imports by Country in 1000 MT/ URL: <https://goo.gl/ePv517>.
11. Шобингер У. Фруктовые и овощные соки. Научные основы и технологии. Технология, химия, микробиология, экспертиза, значение и нормативное регулирование. Санкт-Петербург: Профессия, 2004.
12. Пап Л. Концентрирование вымораживанием. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 96 с.
13. Sheu M. J. and Wiley R. C. Preconcentration of apple juice by reverse osmosis. *Journal of Food Science*. 1983. 48.2. 422—429.
14. Kimura S., Nakao S. I., Shimatani S. I. Transport phenomena in membrane distillation. *Journal of Membrane Science*. 1987. № 33. С. 285—298.
15. Husiatynska N., Nechypor T., Husiatynskyi M., Shulga S. Research in to application of zeolite for purification of diffusion juice in sugar production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5(11). Р. 6—13.
16. Пат. 26940 Україна МПК 7 С 13 D 1/02. Спосіб отримання харчового сиропу із цукрового сорго / Штангеева Н. І., Салавор О. М., Штангеев В. О., Григоренко Н. О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. — № 200706340; заявл. 07.06.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.(Авторське свідоцтво UA №26940, МПК (2006) C13D1/00, бюл. № 16, від 10.10.2007).
17. Пат. 119377 Україна МПК 2019.01 С 13 В 20/16. Спосіб отримання харчового сиропу із соку стебел цукрового сорго / Григоренко Н. О., Вакулюк П. В., Штангеев В. О., Чібріков В. В.; заявник та патентовласник Інститут продовольчих ресурсів НААН. — a201705280; заявл. 30.05.2017; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11.
18. Вакулюк П. В., Петрук В. В., Філатова Д. М., Сергійчук І. А., Бурбан А. Ф. Отримання флуоромісних мембран для очистки шахтних вод методом мембранної дистиляції. *Наукові записки НАУКМА. Хімічні науки і технології*. 2014. № 157. С. 38—42.
19. Технологія цукристих речовин. Лаборатор. практикум / М. П. Купчик, Л. П. Рева, Н. І. Штангеева та ін. К. НУХТ, 2007. 393 с.
20. Методи контролю харчових виробництв: Лаб. практикум / Н. І. Штангеева, Л. І. Чернявська, Л. П. Рева та ін. К.: УДУХТ, 2000. 240 с.
21. Bélafi-Bakó K., Koroknai B. Enhanced water flux in fruit juice concentration: Coupled operation of osmotic evaporation and membrane distillation. *Journal of Membrane Science*. 2006. № 269. С. 187—193.