

PRODUCTION OF FOOD SYRUPS FROM SUGAR SORGHUM

N. Husiatynska, O. Kalenyk

National University of Food Technologies

N. Hryhorenko

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

Key words:

Sugar sorghum
Syrup technology
Ultrafiltration
Syrup quality
Trace elements

Article history:

Received 17.05.2023

Received in revised form
31.05.2023

Accepted 14.06.2023

Corresponding author:

N. Husiatynska

E-mail:

ngusyatynska@ukr.net

Citation:

Гусятинська
Н.А., Каленик О.С.,
Григоренко Н.О. (2023).
Виробництво харчових
сиропів із сорго
цукрового. *Наукові праці
НУХТ*, 29(3), 128—138.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-3-12

ABSTRACT

The results of researching of technological quality of food syrups obtained from sugar sorghum are presented in the article. A promising direction for expanding the range of sugar products is the production of organic products, as well as sugars with an enriched macro- and microelement composition. At the same time, the actual issue is the production of sweet syrups obtained from sugar sorghum as an alternative for using sugar in food products.

The technology of food syrups from sugar sorghum involves the use of a number of technological stages, in particular, juice purification. The technology of producing food syrup using the methods of adsorption purification, membrane filtration and ion exchange were described. The results of researching the technological qualities of syrups, their carbohydrate and mineral composition were presented. Determination of the carbohydrate composition of syrups was carried out using the method of liquid chromatography. The qualitative and quantitative composition of mineral elements was determined using an elemental composition analyzer EXPERT 02L.

Based on experimental studies, it was established that the carbohydrate composition of the obtained syrups differed slightly in terms of quantitative content and it was, on average, as a percentage of the total sugar content in the range: sucrose 53.4—55.8%, glucose 20.93—24.5%, fructose 19.7—20.93%.

The average content of mineral elements for syrups obtained using zeolite-clinoptilolite for purification of the initial juice, mechanical filtration, ultrafiltration, ion exchange was given. It was shown that the mineral composition of the obtained food syrups from sugar sorghum included such elements as: magnesium, silicon, phosphorus, sulfur, chlorine, potassium, calcium, manganese, iron, bromine. It was determined that the mineral composition of the food syrup differed in the case of purification using ion exchange resins. In particular, magnesium content was not detected in this syrup.

ВИРОБНИЦТВО ХАРЧОВИХ СИРОПІВ ІЗ СОРГО ЦУКРОВОГО

Н. А. Гусятинська, О. С. Каленик

Національний університет харчових технологій

Н. О. Григоренко

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України

У статті наведено результати дослідження технологічної якості харчових сиропів, одержаних із сорго цукрового. Перспективним напрямком розширення асортименту цукропродуктів є виробництво органічних продуктів, а також цукрів зі збагаченим макро- та мікроелементним складом. Водночас актуальним питанням є виробництво солодких сиропів, одержаних з цукрового сорго, як альтернативи застосування цукру у харчових продуктах.

Технологія харчових сиропів із сорго цукрового передбачає застосування ряду технологічних стадій, зокрема очищення соку. Описано технологію одержання харчового сиропу з використанням методів адсорбційного очищення, мембранного фільтрування та іонного обміну. Наведено результати досліджень технологічної якості сиропів, їх вуглеводного та мінерального складу. Визначення вуглеводного складу сиропів проведено з використанням методу рідинної хроматографії. Якісний і кількісний склад мінеральних елементів визначали за допомогою аналізатора елементного складу речовин EXPERT 02L.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що вуглеводний склад одержаних сиропів незначно відрізняється за кількісним вмістом і становить у середньому у відсотках до загального вмісту цукрів в межах: цукрози 53,4—55,8%, глюкози 20,93—24,5%, фруктози 19,7—20,93%.

Наведено середній вміст мінеральних елементів для сиропів, одержаних із застосуванням для очищення вихідного соку цеоліту-клинотилоліту, механічного фільтрування, ультрафільтрації, іонного обміну. Показано, що до мінерального складу одержаних харчових сиропів із сорго цукрового входять такі елементи, як магній, кремній, фосфор, сірка, хлор, калій, кальцій, марганець, залізо, бром. Визначено, що мінеральний склад харчового сиропу відрізнявся у разі використання очищення із застосуванням іонообмінних смол. Зокрема, у такому сиропі не виявлено вмісту магнію.

Ключові слова: сорго цукрове, технологія сиропу, ультрафільтрація, якість сиропу, мікроелементи.

Постановка проблеми. На сьогодні у світі змінюються тенденції щодо асортименту та якості харчових продуктів, що пов'язано із зацікавленістю споживачів у здоровому та повноцінному харчуванні. Перспективним напрямком є розширення асортименту цукропродуктів шляхом виробництва органічних продуктів, а також цукрів зі збагаченим макро- та мікроелементним складом.

Традиційною сировиною для одержання цукру в Україні є цукрові буряки. В той же час у світі відбувається невідомий процес кліматичних змін, що негативно

впливає на традиційне сільськогосподарське виробництво. Так, в окремих регіонах України вирощування цукрових буряків без зрошення стає економічно невигідним. Однією з перспективних сільськогосподарських культур є сорго цукрове, оскільки ця культура здатна формувати високі врожаї в різних кліматичних умовах, на різноманітних ґрунтах завдяки потужній, кореневій системі, що глибоко проникає в ґрунт (Найденко, 2020).

Отже, у зв'язку з кліматичними змінами в Україні набуває подальшої актуальності проблема пошуку альтернативних цукровмісних культур і розроблення раціональної технології їх перероблення для розширення асортименту цукристих продуктів (Hryhorenko, Husiatynska, & Kalenyk, 2021).

Наразі інноваційні підходи у сфері виробництва цукрів і харчових цукровмісних сиропів спрямовані на виробництво цукропродуктів підвищеної харчової цінності за вимог їх високої якості та безпечності. Так, світові тенденції розвитку цукрової галузі показали розширення асортименту за рахунок впровадження органічних продуктів, зокрема органічного цукру, а також різних видів цукрів з тростини та цукрових буряків, збагачених макро- та мікроелементами, такими як кальцій, фосфор, магній, натрій, калій тощо (Sugar for decoration, fillings, confectionery and adding flavour, 2023).

Огляд останніх досліджень і публікацій. Наразі значно зростає актуальність використання солодких сиропів, одержаних із цукрового сорго. Пріоритетність сорго цукрового перед іншими цукроносними культурами полягає в тому, що сік стебел цукрового сорго містить від 14% до 20% вуглеводів, основну частку яких складає цукроза — 60—80%, і редукувальні речовини. Також сік є джерелом біологічно активних речовин, він містить аміно- та органічні кислоти, поліфеноли, білки, вітаміни, мінеральні речовини (Umakanth, Kumar, Vermerris, & Tonari, 2019).

Більшість наявних у соку компонентів перешкоджає отриманню кристалічного цукру, тому його концентрують до прозорого сиропу, який має м'який смак, а присутня в ньому фруктоза надає йому ледь помітний медовий тон. В умовах концентрування соків до сиропу під дією високих температур існуючі цукри вступають у складні реакції дегідратації, меланоїдиноутворення (реакція Маяра) тощо, що й призводить до інтенсивного утворення забарвлених речовин, які впливають на харчові властивості сиропу як за кольором, так і за смаком. Крім того, науковці з Кенії (Willis etc, 2013) на основі аналізу хімічного складу отриманого солодкого сиропу із сорго стверджують, що його можна порівняти із сиропом із цукрової тростини, однак завдяки високому рівню загального вмісту фенолів і флавоноїдів сироп володіє відмінними антиоксидантними властивостями, що дає змогу широко його застосовувати в харчовій промисловості як продукт з оздоровчими властивостями. Отже, отримання харчового сиропу із сорго цукрового є хорошим підґрунтям для розроблення біологічно цінних харчових продуктів, які будуть корисними в оздоровчому харчуванні.

Цукровий сироп із сорго можна використовувати в багатьох харчових продуктах. Так, науковцями НУХТ (Карпутіна, Фролова, & Олійник, 2014) розроблено технологію оздоровчих ферментованих напоїв з використанням соку сорго цукрового. Застосування цукрового сорго для виробництва ферментованих напоїв сприяє підвищенню біологічної цінності продукту, збільшенню вмісту корисних

речовин та антиоксидантів, а також поліпшенню смакових властивостей. У (Mazumdar, Poshardi, Ravinder, & Scranivasa, 2012) розроблено технологію напою на основі підготовленого соку цукрового сорго й ароматизатора.

У виробництві харчових сиропів із сорго цукрового науковцями було запропоновано застосування різних хімічних реагентів. Так, у дослідженнях (Costa, De Freitas, DeFreita, & Mutton, 2015) автори пропонують освітлення соків сорго цукрового проводити з використанням гідроксиду кальцію та оксиду магнію. На підприємстві в Міссурі, США (Eggleston, Heckemeyer, Cyt, & Wartelle, 2016) для виробництва промислової партії сиропу було апробовано технологію, яка передбачала осадження деаерованого соку у відстійниках, гаряче освітлення соку за температури 80 °C та проведення дефекації до pH 6,5 з вапняним молоком 360г/л та додаванням 5ppm поліаніонного флокулянту.

На основі експериментальних досліджень (Husiatynska, Hryhorenko, Kalenyk, Husiatynskyi, & Teterina, 2021) встановлено, що застосування природного адсорбенту цеоліту для очищення соку сорго сприяє зменшенню його забарвленості та видаленню ВМС та білкових речовин.

Перспективним напрямком очищення цукровмісних соків є застосування мембранних методів фільтрування. У результаті проведених експериментальних досліджень авторами (Григоренко, Гусятинська, Вакулук, & Чібриков, 2020) запропоновано технологію отримання концентрованих соків шляхом освітлення й концентрування очищеного соку цукрового сорго методами ультрафільтрації та мембранної дистиляції.

Метою статті є дослідження технологічних показників якості сиропів, одержаних із цукрового сорго із застосуванням цеоліту-клинотиліоліту і методів ультрафільтрації та іонного обміну для очищення соку.

Матеріали і методи. Як рослинну сировину використовували стебла сорго цукрового гібриду Мамонт одеської селекції (Селекційно-генетичний інститут — Національний центр НААН), які відбирались у вегетаційний період молочно-воскової стиглості зерна на дослідних ділянках поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка 2, Васильківського району Київської області).

Для очищення соку сорго цукрового від високомолекулярних сполук і барвних речовин було застосовано цеоліт-клинотиліоліт, мембранні методи фільтрування та іонообмінне очищення.

Природний цеоліт з фракціями <0,3 (порошкоподібний), 0,2...0,5 мм та 1...3 мм, виготовлений ДП «Закарпатський цеолітовий завод» с. Сокирниця Хустського району Закарпатської області, Україна ТУ У 15.7—31251965—001:2009.

Методика попереднього очищення соку сорго цукрового. Під час проведення досліджень використовували спосіб одержання сиропів, розроблений у (Гусятинська та ін., 2021), відповідно до якого стебла сорго після відділення листя підлягали ополіскуванню з метою очищення від залишків ґрунту. Після цього стебла подрібнювали та віджимали з них пресовий сік за допомогою вальцювого пресу. Макуха після пресування надходила в екстрактор для подальшого знецукрення стебел сорго. До пресового соку додавали одержаний екстракт. У табл. 1 наведено технологічні показники вихідного пресово-дифузійного соку зі стебел сорго.

Таблиця 1. Технологічні показники вихідного пресово-дифузійного соку зі стебел сорго

Найменування показника	Значення
pH ₂₀	4,9
Вміст сухих речовин (СР), %	15,2
Вміст крохмалю, %	2,8
Вміст білкових речовин, %	1,5
Вміст золи, мг/дм ³	153
Вміст високомолекулярних сполук (ВМС), % до маси СР	10,92
Вміст загального цукру, %	13,06
Вміст редуковальних речовин, %	4,32
Вміст сахарози, %	8,74
Чистота, % цукру до маси СР	85,92

Отриманий вихідний сік підлягав попередньому очищенню, що передбачало термічну коагуляцію білків за температури 86—88 °С з одночасним процесом клейстеризації крохмалю. Після цього сік охолоджували до температури 52—55 °С та додавали фермент α -амілаза при перемішуванні протягом 30 хвилин. Після нагрівання соку до температури 58—60 °С додавали розчин глюкоамілази та перемішували протягом 30 хвилин. Сік нагрівали для інактивації ферментів.

В одержаний сік додавали порошкоподібний цеоліт-клинотилоліт у кількості 1,0% за температури 50—60 °С і тривалості процесу обробки 8—10 хвилин. Після обробки цеолітом сік надходив на механічну фільтрацію та ультрафільтраційну установку. Для механічного фільтрування використовували поліпропіленовий картриджний фільтр Ecosoft 2,5×10 зі ступенем розділення 5—10 мкм. Для ультрафільтраційного очищення використовували мембрани Aquafilter TLCHF-2T зі ступенем розділення 0,02—0,1 мкм за робочого тиску 0,1—0,15 МПа.

Одержаний сік розділяли на 2 порції (сік I та сік II). Сік II підлягав додатковому очищенню з використанням процесу іонообмінної сорбції через іонообмінні смоли DOWEX MB-50 змішаної дії (у співвідношенні 1,2:1,0 катіоніту в Н-формі та аніоніту в ОН-формі).

Після очищення обидва зразки соків (сік I та сік II) згущували в лабораторній випарній установці за умови розрідження при температурі 80 °С та одержували два зразки готового продукту: сироп I та сироп II.

Методика визначення основних технологічних показників якості соків сорго цукрового та харчового сиропу. Дослідження проводились з використанням класичних методів аналізу й контролю, існуючих у цукровій і кондитерській галузі та прийнятих у міжнародній практиці. Вміст загальних цукрів і редуковальних речовин визначали за йодометричним методом (Герасименко, & Хвалковський, 1992), який ґрунтується на відновленні лужного розчину міді розчином редуковальних речовин і кількісного визначення відновленого оксиду міді (I). Показник чистоти розраховували як відношення загального вмісту цукрів у продукті до вмісту в ньому сухих речовин, помножений на 100%. Вміст крохмалю визначали методом Морелл Ду Воїл, який ґрунтується на вимірюванні оптичної густини досліджуваного розчину, підкисленого оцтовою кислотою й обробленого йодидом калію на спектрофотометрі СФ-46 за довжини хвилі 570 нм. Концентрацію крохмалю визначали за калібрувальним графіком (Штангеева та ін., 2000). Вміст ВМС і

колоїдів визначали за методом А. В. Думанського і С. Є. Харіна в модифікації С. І. Королькова і П. М. Сіліна, який ґрунтується на властивості гідрофільних колоїдів коагулювати в розчині після додавання етанолу з подальшим кількісним їх визначенням ваговим методом. Вміст білків визначали за методом Л. П. Реви, Г. А. Сімахіної (з біуретовим реактивом) на спектрофотометрі СФ-46 за довжини хвилі 600 нм. Вміст сухих речовин (СР, % до маси продукту) визначали без проведення підготовки проби при температурі 20 °С рефрактометричним методом з використанням рефрактометра РПЛ-3. Активність іонів Н⁺ визначали потенціометричним методом за допомогою універсального іоніміра ЕВ-74. Забарвленість розчинів визначали фотометричним методом, вимірюванням оптичної густини розчинів за допомогою фотоелектроколориметра КФК-3 в кюветі розміром 10 мм та довжини хвилі 560 нм (Купчик та ін., 2007).

Для визначення вуглеводного складу сиропів було проведено дослідження з використанням методу рідинної хроматографії.

Якісний і кількісний склад мінеральних елементів визначали за допомогою аналізатора елементного складу речовин EXPERT 02L, який забезпечував представлення результатів аналізу з автоматизованим розрахунком похибки вимірювання.

Статистичний аналіз. Математична обробка результатів проведених досліджень була опрацьована за допомогою Microsoft Excel 2007.

Результати і обговорення. Відповідно до представленої технології було отримано два зразки готового продукту: сироп І та сироп ІІ, технологічні показники яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Технологічні показники сиропів з цукрового сорго

Показники	Значення	
	сироп І	сироп ІІ
pH ₂₀	4,8	4,65
Забарвленість, од. ICUMSA	1309,6	725,9
Вміст сухих речовин (СР), %	70,9	76,9
Вміст редукувальних речовин, %	28,63	34,13
Вміст цукрози, %	37,65	40,77
Вміст загального цукру, %	66,28	74,9
Вміст золи (кондуктометричної), % на 100 СР	1,39	0,55
Чистота, % цукру до маси СР	93,48	97,4

На основі проведених досліджень встановлено, що чистота сиропу, одержаного з пресово-дифузійного соку без використання додаткового іонітного очищення становила 93,48%, а в разі додаткового очищення соку з використанням іонообмінних смол DOWEX MB-50 чистота сиропу ІІ становила 97,4%. Слід відмітити, що в сиропі І, одержаному без використання іонообмінного очищення, вміст золи кондуктометричної був вищим у 2,5 раза порівняно із сиропом ІІ після додаткового очищення. Також необхідно зазначити, що сироп ІІ характеризувався значно меншим показником забарвленості порівняно із сиропом І.

Наведені результати досліджень демонструють високу якість харчових сиропів, одержаних з пресово-дифузійного соку зі стебел сорго цукрового, за умови

заміни стадії його хімічного очищення шляхом застосування природного сорбенту цеоліту-клиноптилоліту, методів мембранного фільтрування та іонообміну.

Для визначення вуглеводного складу сиропів було проведено дослідження з використанням методу рідинної хроматографії. В табл. 3 наведено результати узагальнення хроматографічного аналізу сиропу I, які показують, що масова частка цукрози до загального вмісту цукрів у сиропі I становить 55,8%, глюкози — 24,5% та фруктози — 19,7%.

Таблиця 3. Результати хроматографічного аналізу вмісту цукрів для сиропу I

Пік №	Час утримання	Площа	Висота	Концентрація	Одиниці виміру	Назва
1	37,018	8708365	95547	4,495	мг/мл	Цукроза
2	43,051	4136907	40040	1,972	мг/мл	Глюкоза
3	50,335	3336596	28751	1,588	мг/мл	Фруктоза
Сума:		16181868	164339			

Хроматографічний аналіз вуглеводів, що входять до складу сиропу II (табл. 4), підтвердив аналогічний якісний склад вуглеводів: цукрози, глюкози та фруктози.

Таблиця 4. Результати хроматографічного аналізу вмісту цукрів для сиропу II

Пік №	Час утримання	Площа	Висота	Концентрація	Одиниці виміру	Назва
1	37,026	8427254	92563	4,350	мг/мл	Цукроза
2	43,070	4388837	42705	2,092	мг/мл	Глюкоза
3	50,341	3579082	30810	1,704	мг/мл	Фруктоза
Сума:		16395172	166078			

Згідно з даними, наведеними в табл. 4, вміст цукрози у сиропі II складає 53,40%, глюкози — 25,67% та фруктози — 20,93% від загального вмісту цукрів.

Проведені аналізи свідчать, що вуглеводний склад одержаних сиропів незначно відрізняється за кількісним вмістом і становить в середньому у відсотках до загального вмісту цукрів у межах: цукрози 53,4—55,8%, глюкози 20,93—24,5%, фруктози 19,7—20,93%. За даними хроматографічного аналізу вміст цукрози переважає в обох зразках сиропів.

Також були проведені дослідження з метою визначення елементного та кількісного складу мінеральних сполук одержаних сиропів. Результати досліджень представлені в табл. 5. Для перерахунку вмісту макро- та мікроелементів мінерального складу у відсотках до маси сухих речовин (СР) продукту (сиропу) враховували загальний вміст золи кондументричної у відповідних сиропах.

Таблиця 5. Середні показники відсоткового та кількісного складу мінеральних елементів

Елемент	Сироп I		Сироп II	
	% до маси золи	% до маси СР сиропу	% до маси золи	% до маси СР сиропу
Mg	16,205±2,315	0,22±0,031	—	—

Si	1,118±0,189	0,015±0,003	1,339 ± 0,19	0,007±0,001
P	1,186±0,098	0,016±0,001	1,994±0,106	0,011±0,0006
S	1,773±0,068	0,025±0,001	2,141±0,059	0,012±0,0003
Cl	30,161±0,682	0,42±0,009	39,953±0,206	0,22±0,001
K	11,108±0,242	0,15±0,003	24,144±0,114	0,132±0,0006
Ca	39,755±0,816	0,55±0,011	29,349±0,142	0,161±0,0008
Mn	0,148±0,008	0,002±0,0001	0,144±0,009	0,0007±0,00004
Fe	2,466±0,057	0,034±0,001	0,937±0,016	0,005±0,0001
Br	0,177±0,004	0,002±0,0001	—	—

За даними, наведеними в табл. 5, можна зробити висновок, що сироп I має багатший елементний склад і містить магній, кремній, фосфор, сірку, хлор, калій, кальцій, манган, залізо, бром.

Проведені дослідження показали, що сиропи із цукрового сорго містять необхідні макро- та мікроелементи, що, відповідно, підвищує їх харчову цінність. Так, вміст магнію у сиропі I становив — 0,22±0,031% до маси СР, проте у сиропі II відсутній. Магній відіграє багатогранну роль у функціонуванні організму людини. Його присутність необхідна для нормального перебігу багатьох біохімічних реакцій і фізіологічних процесів, які забезпечують енергетику та функціонування органів, в тому числі бере участь у синтезі та розпаді нуклеїнових кислот, синтезі білків, жирних кислот і ліпідів. Крім того, магній регулює стан клітинної мембрани, трансмембранне перенесення іонів кальцію і натрію, відіграє роль у функціонуванні імунної системи (Гишак, Марушко, & Асонов, 2019).

Одним із найважливіших мінералів для нормального функціонування організму людини є калій. В одержаних сиропих вміст калію становив, відповідно % до маси СР сиропу: 0,15±0,003 (сироп I) та 0,132±0,0006 (сироп II). Основна роль калію полягає в підтриманні рівноваги води в організмі і контролю над діяльністю серцево-судинної системи (Мотрук, 2017).

Вміст кальцію, % до маси СР, становить: у сиропі I — 0,55±0,011, у сиропі II — 0,161±0,0008. Кальцій є одним з найважливіших мінералів в організмі людини і відіграє ряд важливих функцій (Малюк, & Репецька, 2014).

Що стосується Si, P, S, Mn, Fe, Br, то їх вміст значно менший порівняно з вмістом вищезазначених елементів Mg, Cl, Ca, K.

Так, вміст кремнію у сиропі I становить 0,015±0,003% до маси СР, відповідно у сиропі II — 0,007±0,001% до маси СР. Кремній є важливим мікроелементом, який необхідний для нормального функціонування організму. Він знаходиться у лімфатичних вузлах і щитоподібній залозі, а також міститься в різних тканинах (сполучна тканина, кістки, нерви, гіпофіз і волосся). Кремній сприяє біосинтезу колагену, регулює метаболізм 70 мінеральних солей і вітамінів, а також підтримує рівновагу з кальцієм (Геник, 2014).

Вміст фосфору у сиропі I становить 0,016±0,001% до маси СР, відповідно у сиропі II — 0,011±0,0006% до маси СР. Фосфор є необхідним елементом для життя людини, він відіграє важливу роль у багатьох процесах життєзабезпечення. Фосфор є ключовим компонентом клітинних мембран і метаболічних процесів, також входить до складу багатьох біологічно важливих сполук, таких як кофериенти, нуклеїнові кислоти і фосфопротеїни. Фосфор засвоюється організмом

тільки за відповідного співвідношення з кальцієм в органічному зв'язку (Погожих, & Головкин, 2017).

Вміст сірки у % до маси СР у сиропі I становить $0,025 \pm 0,001$, відповідно у сиропі II — $0,012 \pm 0,0003$. Сірка є важливим хімічним елементом для організму людини, входить до складу білків, амінокислот і вітамінів, таких як тіамін і біотин, є компонентом гормонів, ферментів та інших біологічно активних речовин. Сірка також відіграє важливу роль у підтриманні здоров'я шкіри, волосся та нігтів, оскільки вона є необхідною для вироблення колагену та кератину (Сивак, 2014).

Вміст іонів хлору у сиропі I становить $0,42 \pm 0,009\%$ до маси СР, у сиропі II — $0,22 \pm 0,001\%$ до маси СР. Хлор є одним з основних електролітів в організмі людини, тому він відіграє важливу роль у різних фізіологічних процесах, зокрема: регулювання водно-сольового балансу, рівня кислотності (хлор утворює кислу соляну кислоту в шлунку, що допомагає розщеплювати їжу і знижує ризик розвитку захворювань шлунка), підтримання нормальної функції нервової системи, регулювання артеріального тиску (Рижих, 2018).

Вміст мангану у сиропі I становить $0,002 \pm 0,0001\%$ до маси СР, у сиропі II — $0,0007 \pm 0,00004\%$ до маси СР. Манган є одним з важливих мікроелементів, які необхідні для здорового функціонування організму людини. Основна роль мангану полягає в його участі в різних метаболічних процесах. Манган входить до складу багатьох ферментів, які відповідають за обробку макронутрієнтів, таких як вуглеводи, білки і жири. Манган є важливим компонентом системи антиоксидантів організму, захищаючи клітини від шкідливої дії вільних радикалів. Він відіграє роль у підтримці здорової функції нервової системи та розумової діяльності, а також у здоров'ї кісток і зубів (Полумбрик, & Унрод, 2019).

Вміст заліза у сиропі I становить $0,034 \pm 0,001\%$ до маси СР, у сиропі II — $0,005 \pm 0,0001\%$ до маси СР. Залізо є одним з найважливіших мінералів в організмі людини і відіграє ключову роль у багатьох процесах життєдіяльності. Основні функції заліза в організмі: транспортування кисню, участь у багатьох метаболічних процесах, включаючи синтез ДНК, функціонування імунної системи тощо (Клим, 2021).

Вміст бром у сиропі I становить $0,002 \pm 0,0001\%$ до маси СР, у сиропі II — відсутній. Бром — це хімічний елемент, який має ряд важливих фізіологічних функцій в організмі людини, хоча його вміст є досить низьким. Бром сприяє заспокоєнню та розслабленню, допомагає зняти стрес, тривогу та нервозність.

Висновки

На основі проведених досліджень одержано харчові сиропи з цукрового сорго різної технологічної якості. Вуглеводний склад одержаних сиропів незначно відрізнявся за кількісним вмістом і відповідав у середньому вмісту (у відсотках до загального вмісту цукрів): цукрози 53,4—55,8%, глюкози 20,93—24,5%, фруктози 19,7—20,93%. Одержані зразки сиропів містили ряд необхідних макро- та мікроелементів, що підвищують харчову цінність цукропродуктів.

Так, мінеральний склад сиропу I, одержаного із застосуванням для очищення соку цеоліту-клинцитоліту та мембранного фільтрування, відповідав такому вмісту, % до маси СР: магній $0,22 \pm 0,031$, кремній — $0,015 \pm 0,003$, фосфор —

0,016±0,001, сірка — 0,025±0,001, хлор — 0,42±0,009, калій — 0,15±0,003, кальцій — 0,55±0,011, манган — 0,002±0,0001, залізо — 0,034±0,001, бром — 0,002±0,0001. Відповідно, вміст мінеральних сполук у сиропі П (з додатковим іонообмінним очищенням) становить, % до маси СР: магній — відсутній, кремній — 0,007±0,001%, фосфор — 0,011±0,0006, сірка — 0,012±0,0003, хлор — 0,22±0,001, калій — 0,132±0,0006, кальцій — 0,161±0,0008, манган — 0,0007±0,00004, залізо — 0,005±0,0001, бром — відсутній.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропонована технологія дає змогу одержувати харчові сиропи з цукрового сорго без використання хімічних реагентів, що забезпечує високі якісні показники та забезпечує збереження мінерального складу готового продукту.

Отже, виробництво рідких цукровмісних сиропів із цукрового сорго є не тільки актуальним напрямком розширення асортименту цукрів, але й створення нових продуктів, збагачених макро- та мікроелементами. Такі сиропи можуть стати альтернативою цукру в багатьох харчових продуктах: кондитерських виробах, морозиві, йогуртах, безалкогольних напоях тощо.

Література

Геник, С. М. (2014). Кремній-природний ключ до здоров'я. *Галицький лікарський вісник*, 116—118.

Герасименко, О. А., & Хвалковський, Т. П. (1992). Методи аналізу і контролю у виробництві цукру. Київ: *Вища школа*, 388.

Григоренко, Н. О., Гусятинська, Н. А., Вакулук, П. В., Чібріков, В. В. (2020). Удосконалення технології цукровмісного соргового сиропу з використанням мембранних методів. *Наукові праці НУХТ*, 26(1), 142—152. doi:10.24263/2225-2924-2020-26-1-18.

Гусятинська, Н. А., Григоренко, Н. О., Гусятинський, М. В., Каленик, О. С., Штангеева, Н. І., Яремчук, М. В. (2021). *Спосіб отримання органічного харчового сиропу із соку сорго цукрового* (Патент України № 147898). Національний університет харчових технологій. <http://uapatents.com/4-27276-sposib-otrimannya-kharchovogo-siropu-iz-sukrovogo-sorgo.html>

Карпугіна, Д. Д., Фролова, Н. Е., Олійник, С. І. (2014). Обґрунтування перспективності використання цукрового сорго в технології оздоровчих ферментованих напоїв. *Харчова наука та технологія*, 8(6), 9—13. doi:10.15673/2073-8684.29/2014.33523.

Клим, О. (2021). *Дослідження блокуючої дії засвоєння нутрієнтів їжі і вплив на організм людини. «Інновації розвитку харчових технологій та індустрії гостинності у готельно-ресторанному бізнесі»*. Збірник тез доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції. Тернопіль: ДВНЗ «Тернопільський коледж харчових технологій і торгівлі».

Купчик М. П. Рева, Л. П., Штангеева, Н. І. та ін. (2007). *Технологія цукру*. Лабораторний практикум НУХТ, 393.

Малюк, В. І., & Репецька, Г. Г. (2014). *Роль кальцію в організмі людини*. Матеріали Першого науково практичного семінару (10—14 листопада 2014 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). Київ: ДКЗ.

Марушко, Ю. В., Гишак, Т. В., & Асонов, А. О. (2019). Роль магнію в організмі людини та вплив зменшеного вмісту магнію на якість життя дітей із гастроєзофагеальною рефлюксною хворобою. *Современная педиатрия*, 1(97), 124—130. doi:10.15574/SP.2019.97.124.

Мотрук, Д. (2017). Роль мікроелементів у профілактиці та лікуванні артеріальної гіпертензії. *Ліки України*, 8(214), 43—44. doi:10.37987/1997-9894.2017.8(214).222432.

Найденко, В. М. (2020). *Продуктивність гібридів сорго зернового залежно від ширини міжряддя та удобрення в умовах лівобережного лісостепу України*. (Дис. канд. сільгосп. наук). Національний університет біоресурсів природокористування України. Київ.

Погожих, М. І., Головка, Т. М. (2017). Наукове обґрунтування аліментарного забезпечення гомеостазу та мінерального обміну організму людини. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, (1), 35—50.

Полумбрик, О. М., Унрод, В. І. (2019). Антиоксидант індукований стрес і гіпоелементоз. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання». Черкаси: ЧДТУ.

Рижих, А. С. (2018). *Біологічна роль в організмі людини макро-, мікро- та ультрамікро-елементів. Перспективні напрямки сучасної освіти та науки*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів і студентів Донбаського державного педагогічного університету, учителів та учнів загальноосвітніх закладів. Слов'янськ: ДДПУ.

Сивак, Т. (2014). *Роль макро- та мікроелементів II групи періодичної системи Д. І. Менделєєва в роботі та життєдіяльності організму людини*. Матеріали VII Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя.

Штангєєва, Н. І., Чернявська, Л. І., Рева, Л. П. та ін. (2000). *Методи контролю харчових виробництв*. Лабораторний практикум Міністерство освіти і науки України, УДУХТ. Київ: УДУХТ, 240.

Costa, G. H. G., De Freitas, C. M., De Freitas, L. A., & Mutton, M. J. R. (2015). Effects of Different Coagulants on Sweet Sorghum Juice Clarification. *Sugar Tech.*, 17, 210—213. doi: 10.1007/s12355-014-0332-3.

Eggleston, G., Heckemeyer, M., Cyr, E. S., & Wartelle, L. (2016). Case Study: Commercialization of Sweet Sorghum Juice Clarification for Large-Scale Syrup Manufacture. *Sugar Tech.*, 18, 249—257. doi: 10.1007/s12355-015-0387-9.

Eggleston, G., Marsha, C., & Andrzejewski, B. (2013). New Commercially Viable Processing Technologies for the Production of Sugar Feed stocks from Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) for Manufacture of Biofuels and Bioproducts. *Sugar Tech.*, 15(3), 232—249. doi: 10.1007/s12355-013-0229-6.

Hryhorenko, N., Husiatynska, N., & Kalenyk, O. (2021). Substantiation of a rational method of purification of sugar sorghum juice in the technology of food syrup production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 263—276. doi: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-5.

Husiatynska, N., Hryhorenko, N., Kalenyk, O., Husiatynskyi, M., & Teterina, S. (2021). 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*, 4(11(112)), 17. doi: 10.15587/1729-4061.2021.237785.

Mazumdar, D., Poshardi, A., Ravinder, R., & Scranivasa, R. (2012). Innovative use of sweet sorghum juice in the beverage industry. *International Food Research Journal*, № 19(4), 1361—1366.

Ratnavathi, C. V., & Chavan, U. D. (2016). Chapter 5 — Sorghum Syrup and Other by Products. *Sorghum Biochemistry*. Academic Press, 253—310. doi: 10.1016/B978-0-12-803157-5.00005-8.

Sugar for decoration, fillings, confectionery and adding flavour. (2023). Взято з <https://www.nordzucker.com/en/sugar-expertise-products/sugar-for-the-food-industry/special-sugar>.

Umakanth, A. V., Kumar, A. A., Vermerris, W., & Tonapi, V. A. (2019). Sweet sorghum for bio-fuel industry. In *Breeding sorghum for diverse end uses*. Woodhead Publishing, 255—270. doi:10.1016/B978-0-08-101879-8.00016-4.

Willis, O. O., Mouti, M. E., Sila, D. N. Mwasaru, M., Thiongo, G., Murage, H., & Ojijo, N. O. (2013). Physico-Chemical Properties and Antioxidant Potential of Syrup Prepared from “Madhura” Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Cultivar Grown at Different Locations in Kenya. *Sugar Tech.*, 15, 263—270. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0222-0>.