

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИВНИХ ЦУКЕРКОВИХ МАС ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОНЦЕНТРАТУ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ В ЯКОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧА

Досліджено вплив концентрату сироваткових білків в якості піноутворювача на перебіг технологічного процесу та якість збивних цукеркових мас. Визначено температурні режими заварювання цукрово-патоковим сиропом білкової піни, отриманої з концентрату сироваткового білку та вплив комбінованих білкових та гідроколоїдних систем на формування структурних властивостей збивних цукеркових мас типу «м'яких нугатинів» з підвищеною агрегативною стійкістю.

Наведені в статті дані показують можливість подальшого вивчення властивостей концентрату сироваткового білка. Використання комбінованих білкових і гідроколоїдних систем викликає інтерес при створенні нового асортименту збивних цукеркових мас з оригінальною структурою.

Ключові слова: концентрат сироваткових білків, збивні цукеркові маси, цукрово-патоковий сироп, денатурація білків.

Исследовано влияние концентрата сывороточных белков в качестве пенообразователя на ход технологического процесса и качество сбивных конфетных масс. Определены температурные режимы заваривания сахаро-паточным сиропом белковой пены, полученной из концентрата сывороточных белков и влияние комбинированных белковых и гидроколлоидных систем на формирование структурных свойств сбивных конфетных масс типа «мягких нугатинов» с повышенной агрегативной стойкостью.

Приведенные в статье данные показывают возможность дальнейшего изучения свойств концентрата сывороточного белка. Использование комбинированных белковых и гидроколлоидных систем вызывает интерес при создании нового ассортимента сбивных конфетных масс с оригинальной структурой.

Ключевые слова: концентрат сывороточных белков, сбивные конфетные массы, сахаро-паточный сироп, денатурация белков.

We researched influence of concentrate whey protein as foam production in technology process and quality of blown work. Then defined temperature modes boiling sugar syrup on protein foam from concentrate whey protein and influenced complete systems to forming structure properties of blown work as high endurance nougats.

Data from the article shows the ability of next researching the whey protein. Using of complete protein and colloid systems challenges the interest in improving blown work assortment with original structure.

Key words: concentrate whey protein, blown work, sugar syrup, protein melting.

Актуальність теми досліджень. Одними з головних компонентів збивних цукеркових мас є піноутворювачі, які в основному належать до класу білків. В кондитерській промисловості в якості піноутворювачів найчастіше використовуються яечні білки та продукт гідролізу казеїну голландської фірми «Хайфоама». Інші піноутворювачі, такі як білки сої, кров'яний альбумін, екстракт цукрового буряку, корінь солодки не знайшли широкого застосування, так як не відповідають вимогам за органолептичними показниками.

Останнім часом значна увага виробників приділяється використанню молочних білків. При виробництві молочних продуктів утворюються значні обсяги молочної сироватки, яка не дивлячись на високу харчову цінність, ще не достатньо використовується у харчовій промисловості. Тому, доцільність подальшого вивчення та використання біологічно

активних сироваткових білків при створенні нового асортименту збивних цукеркових мас з оригінальною структурою є актуальною та своєчасною.

Постановка проблеми. Основними факторами, що впливають на стійкість і стабілізацію піноподібних систем є концентрація та природа піноутворювача, температура, в'язкість дисперсійного середовища. Проте, необхідно відмітити, що вплив цих факторів на стійкість пін досліджено недостатньо і тому точних даних в літературних джерелах обмаль.

Метою наших досліджень було дослідження впливу концентрату сироваткових білків в якості піноутворювача на перебіг технологічного процесу та якість збивних цукеркових мас.

Сироваткові білки є біополімерами складної будови четвертинної структури. За просторовою структурою пептидних ланцюгів належать до глобулярних білків, в яких кількісно переважають β -лактоглобулін та α -лактоглобумін, що визначають їх загальну поведінку.

Властивості пін залежать від концентрації білків – чим вище концентрація, тим більш жорстка піна. З наукової літератури відомо, що сироваткові альбуміни утворюють стійку піну при концентрації білка 1%. Цей факт був врахований при проведенні досліджень.

Сироваткові білки володіють великою гідрофільністю, внаслідок чого підвищується їх вологоутримувальна здатність та термостійкість.

Результати та їх обговорення.

Для ініціювання драглеутворення біополімерних гелів на основі сироваткових білків застосовують їх обробку високим тиском або використовують нагрівання з наступним охолодженням. Сироваткові білки утворюють при нагріванні незворотні гелі, а в залежності від рН можуть формувати мережеві структурованих двох типів: у вигляді тонкоскручених або розподілених частинок. Термічна денатурація є передумовою для драглеутворення білків под впливом тепла.

Процес фолдинга («складання» білка з лінійної в компактну третинну структуру) поліпептидного ланцюга в унікальну тривимірну структуру досить складний. Стабільність нативної білкової структури визначається як різниця у вільній енергії між нативним та денатурованим станом. Внутрімолекулярні (Ван-дер-ваальсові, стеричні) та міжмолекулярні взаємодії (водневе зв'язування, електростатичне, гідрофобне) впливають на стабільність нативної білкової структури [1].

Денатурація являє собою процес перетворення певної скрученої структури білка, утвореної при фізіологічних умовах в розкрученій стан при нефізіологічних умовах. При поступовому нагріванні розчину білка вище деякої критичної температури відбувається чіткий перехід білка з нативного стану в денатурований. Частково денатуровані білки засвоюються краще, ніж нативні.

При денатурації білків стабільність нековалентних взаємодій зумовлена, насамперед, температурою, та при її підвищенні відбувається дестабілізація водневих зв'язків і електростатичних взаємодій, які є екзотермічними за своєю природою, а також стабілізація ендотермічних гідрофобних взаємодій. Крім нековалентних взаємодій велику роль в стабільності білка грає температурна залежність ентропії конформації, яка при підвищенні температури зростає, а це сприяє «розкручуванню» спіралей молекули білка. Загальна стабільність білка визначається сумарним ефектом цих взаємодій [1].

Оскільки структура – це параметр, який насилу піддається кількісному визначенню, прямі вимірювання частки денатурованого і нативного станів білків в розчині неможливо. Разом з тим, конформаційні перетворення змінюють деякі хімічні та фізичні властивості білків, наприклад в'язкість. Таким чином, денатурацію білків можна вивчати по зміні фізичних і хімічних властивостей білків.

В'язкість білків є поведінкою комплексної взаємодії декількох змінних – розміру і форми молекул білка, взаємодій «білок–розчинник», гідродинамічного обсягу та гнучкості молекул у гідратованому стані.

Відомо, що зміна температури та рН системи мають визначальний вплив на такі властивості білків, як стабілізація пін і формування гелів.

Технологія збивних кондитерських виробів передбачає заварювання цукрово-патоковим сиропом збитих яєчних білків. За традиційною технологією температура сиропу

становить 90–95 °С. У піноподібних кондитерських системах повітря є дисперсною фазою, а клейовий сироп – дисперсійним середовищем.

Вченими [2] встановлено, що температура термічної денатурації яєчного альбуміну становить 76 °С, тоді як β-лактоглобуліну та α-лактоглобуліну 83 °С. Підвищену стійкість сироваткових білків до нагрівання обумовлено наявністю в їх молекулах великої кількості дисульфідних зв'язків.

На термостійкість розчинів білків впливає додавання цукрово-патокових сиропів, що робить білки більш стійкими до термічної денатурації.

Інтенсивний нагрів в ході технологічного процесу істотно впливає на денатурацію білків, у результаті якої відбувається підвищення зв'язування води, забезпечується висока в'язкість і однорідність продукту. Збільшення в'язкості є безпосереднім результатом драглеутворення сироваткових білків під впливом високої температури. Крім того, теплова обробка цукеркової маси сиропом дозволяє покращити консистенцію продукту, інактивувати ферменти для підвищення стійкості мас при зберіганні, знизити кількість мікроорганізмів.

Завданням дослідження було встановлення температурних режимів, при яких зразки цукеркових мас будуть стабільні та стійкі до коагуляції. Температурні режими вибиралися відповідно до літературних даних щодо агрегаційних станів сироваткових білків з урахуванням значень рН модельних зразків цукеркових мас.

Дослідження структурно-механічних властивостей цукеркових мас при різних температурних режимах, наведено у табл. 1, показало істотний вплив температури заварювання на пружно-пластичні властивості цукеркових мас.

Таблиця 1

Вплив температури сиропу на показники якості цукеркових мас

| Зразок збивної цукеркової маси | Температура сиропу, °С | Густина, кг/м ³ | Пластична міцність, кПа | Характеристика маси |
|---|------------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| На яєчному білку (контроль) | 90–95 | 950,0 | 1,62 | м'яка, пластична, тягнуча, пориста, тримає форму |
| | 96–100 | 996,0 | 1,69 | м'яка, тягнуча, тримає форму |
| | 100–105 | 1120,0 | 1,87 | м'яка, шорстка, крошлива, тримає форму |
| | 106–110 | 1255,0 | 1,82 | тверда, крошлива |
| На сироватковому білку | 90–95 | 890,0 | 1,76 | м'яка, липка, тягнуча, не тримає форму |
| | 96–100 | 933,0 | 1,92 | м'яка, липка, тягнуча, не тримає форму |
| | 100–105 | 957,0 | 1,98 | м'яка, пластична, тягнуча, пориста, тримає форму |
| | 106–110 | 1092,0 | 2,12 | м'яка, пластична, тягнуча, пориста, тримає форму |
| На суміші яєчного та сироваткового білків | 90–95 | 935,0 | 1,65 | м'яка, липка, тягнуча, не тримає форму |
| | 96–100 | 960,0 | 1,72 | м'яка, пластична, тягнуча, пориста, тримає форму |
| | 100–105 | 1017,0 | 1,90 | м'яка, пластична, тягнуча, пориста, тримає форму |
| | 106–110 | 1026,0 | 1,98 | м'яка, шорстка, крошлива, тримає форму |

Як показали дослідження, теплова обробка цукрово-патоковим сиропом цукеркової маси на яєчному білку при температурі 90–95 °С веде до утворення маси з м'якою пластичною структурою. Підвищення температури негативно впливає на пластичність та густину цукеркової маси. Характеристика цукеркової маси на сироватковому білку при заварюванні сиропом температурою 100–110 °С володіє доброю пластичністю, тримає форму, залишається м'якою. Цукеркова маса на суміші яєчного та сироваткового білків при заварюванні сиропом температурою 96–105 °С також володіє структурно-механічними властивостями, що відповідають вимогам щодо формування цукерок методом екструзії.

Отримані дані можна пояснити тим, що цукри збільшують термодинамічну денатурацію глобулярних протеїнів при заварюванні цукрово-патоковим сиропом. Механізм збільшення температури денатурації білків полягає в тому, що цукор знижує термодинамічну афінність (силу взаємодії речовин) білкових молекул до сиропу. Температурна денатурація глобулярних білків призводить до збільшення поверхні молекул, звернених до сиропу та їх гідрофобності. Таким чином, заварювання білкової піни цукрово-патоковим сиропом гальмує розгортання білків під дією тепла, чим пояснюється більш висока термічна стабільність глобулярних білків у присутності цукрів.

Із збільшенням температури теплова енергія перевищує енергію нековалентних зв'язків у нативній структурі білка, що призводить до їх розриву. В результаті цього відбувається денатурація, тобто конформаційні зміни білкових молекул з порушенням третинної і вторинної структури, в наслідок чого компактно згорнута молекула перетворюється на безладний клубок. При розгортанні поліпептидного ланцюга оголюються неполярні радикали, що супроводжується зменшенням розчинності та збільшенням здатності до міжмолекулярної взаємодії, тобто агрегації. Агрегація є процесом закріплення денатурованого стану молекул та перешкоджає більш повному проходженню ренатурації, настає за рахунок взаємодії сульфгідридних груп. У агрегації денатурованих молекул беруть участь ті ж зв'язки, які стабілізують нативну структуру глобулярних білків: гідрофобні, водневі, електростатичні.

Цукри сприяють збільшенню інтенсивності взаємодій молекул один з одним. По мірі розгортання молекул білків зростають сили притягання між ними, що веде до зміцнення гелю.

Механізм утворення білкового гелю при нагріванні зі стану золю спочатку денатурирується до стану «предгелю» (або «прогелю»). Для золю характерна наявність обмеженого числа нековалентно пов'язаних груп, доступних для утворення мережевої структури, тоді як предгель звичайно являє собою в'язку рідину з частково денатурованого та полімеризованого білку. У предгелі деяке критичне число функціональних груп з водневими зв'язками, та гідрофобних груп, здатних утворювати міжмолекулярні нековалентні зв'язки, які «виступають» з молекули, завдяки чому утворюється мережева білкова структура. Перетворення золю в гель незворотньо, оскільки між «розкрученими» молекулами білка відбуваються численні міжмолекулярні взаємодії. При охолодженні предгелю зменшення термічної кінетичної енергії полегшає утворення стабільних нековалентних зв'язків між «виступаючими назовні» функціональними групами молекул, що і є драглеутворенням [3].

У процесі драглеутворення приймають участь, головним чином, водневі зв'язки, а також гідрофобні та електростатичні взаємодії. Водневе зв'язування і гідрофобні взаємодії обумовлюють більший внесок в утворення мережевої структури, ніж електростатичні взаємодії. Молекули білків мають власний заряд, в результаті чого спостерігається електростатичне відштовхування, яке необхідне для вологоутримувальної здатності гелю.

Мережева структура гелю, що забезпечується нековалентними взаємодіями, термічно зворотня. Сироваткові білки з цистеїновими та цистиновими групами при нагріванні можуть піддаватися полімеризації шляхом сульфідрильно-дисульфідних реакцій, утворюючи при подальшому охолодженні безперервний ковалентний ланцюг.

Білкові гелі являють собою сильно гідратовані системи. Вода в структурі гелю володіє хімічним потенціалом, але вона втрачає текучість та з великими труднощами може бути вилучена. Механізм, за допомогою якого рідка вода утримується в гелях у зв'язаному

«напіврідкому» стані, до кінця вченими не з'ясований. Імовірно, більша частина води пов'язана водневими зв'язками з C=O– та N–H– зв'язками пептидних груп та асоційована з зарядженими групами у формі «гідратаційної оболонки» або існує у вигляді воднево-зв'язаних мереж. Можливо також, що всередині просторової обмеженої області гелевої мікроструктури вода може служити засобом перехресного водневого зшивання між C=O– та N–H– групами пептидних сегментів. Це може обмежувати плинність води всередині кожного осередку мережі, причому, чим менше розміри осередку, тим більше зв'язок. Деяка частина «капілярної» води, ймовірно, утримується в порах гелевої структури.

Стійкість мережевої гелевої структури до термічних та механічних впливів залежить від кількості і типів утворених перехресних зшивок, що припадають на один мономер ланцюга. Термодинамічна структура гелю буде стабільна за тієї умови, що сумарна енергія мономерів в гелі більше, ніж їх загальна кінетична теплова енергія. Це залежить як від внутрішніх (форма і розмір молекули, загальний заряд), так і зовнішніх факторів (температура, значення рН, іонна сила).

Процес агрегації може супроводжуватися не тільки коагуляцією денатурованого білка, але й випаданням його в осад, що залежить від іонного стану системи.

Білки найбільш стійкі в ізоелектричній точці, ніж при будь-яких інших значеннях рН. Для сироваткових білків ізоелектрична точка відповідає значенню рН=5,2. Оскільки загальна енергія електростатичного відштовхування мала порівняно з іншими взаємодіями, більшість білків при рН, близькому до нейтрального, стабільні.

Формування гелю здійснюється шляхом зниження сил електростатичного відштовхування між молекулами білків. Значення рН модельної системи яєчний білок (рН = 5,64) – сироп становить 6,65, сироватковий білок (рН = 6,37) – сироп становить 6,39, суміш яєчний / сироватковий білок (рН = 6,13) – сироп складає 6,51. Аналізуючи дані видно, що всі модельні системи мають рН вище ізоелектричної точки (рІ). Із збільшенням рН>рІ білок набуває негативний заряд, що дає можливість регулювати функціональні властивості білка при його комплексоутворенні за рахунок електростатичної взаємодії. Даний факт вказує на те, що підбір значень рН середовища необхідно проводити з урахуванням особливостей властивостей компонентів, що входять до рецептури.

Найбільш структурованою виявилася система, що складається з суміші білків. Це, ймовірно, пояснюється тим, що залишки амінокислот у білках з'єднані амідним зв'язком між α -аміно- та α -карбоксільними групами. При взаємодії яєчного та сироваткового білків утворюється у результаті нековалентних взаємодій пептидів єдиний комплекс. За місцем пептидних зв'язків легко здійснюється таутомерне перегрупування, що призводить до утворення енольної форми пептидних зв'язків, які відрізняються підвищеною реакційною здатністю [1].

Висновки.

Встановлено, що використання концентрату сироваткових білків в якості піноутворювача в технології збивних цукерок має свої особливості. Для вибору правильної технологічної обробки необхідно знати чинники, що впливають на стабільність структури білків у харчових системах. Використання цих властивостей в технологіях збивних цукеркових мас дозволить створити нові типи структур змішаних гелів, що складаються з сироваткових білків та драглеутворювачів.

Запропонованими температурними режимами заварювання цукрово-патоковим сиропом білкової піни, отриманої з концентрату сироваткового білку є температура 100–110 °С, для цукеркової маси на суміші сироваткового та яєчного білків 96–105 °С.

Література

1. Феннема, О. Р. Химия пищевых продуктов / Ш. Дамодаран, К. Л. Паркин, О. Р. Феннема ; пер. с англ. – СПб. : Профессия, 2012. – 1040 с.
2. Bull, H.V. Thermal stability of proteins / Bull H.V., Breese K. // Arch. Biochem. Biophys. – 1973. – № 158. – P. 681–686.
3. Мак Кенна, Б. М. Структура и текстура пищевых продуктов. Продукты эмульсионной природы / Б. М. Мак Кенна ; пер. с англ. Ю.Г. Базарновой. – СПб. : Профессия, 2008. – 480 с.