

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХЛИВОСТІ МОЛЕКУЛ ВОДИ В ВИРОБАХ З ПІННОЮ СТРУКТУРОЮ ТА ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ЙОДУ

Дейниченко Г. В., Дюкарева Г. І., Дьяков О. Г., Павлюк І. М.

1. Вступ

Як відомо, основою раціонального харчування є достатнє та збалансоване вживання мікронутрієнтів та мікроелементів. Тому бажано створювати нові види харчових продуктів, які б були з одного боку: збагачені корисними речовинами, а з іншого – доступними та популярними у всіх верств населення. В даній роботі розглянуто питання виробів з пінною структурою збагачених йодом.

Вироби з пінною структурою, зокрема морозиво, зефір, бісквіт, є популярними в багатьох верств населення. Але такі продукти харчування не входять до переліку продуктів збалансованого харчування.

В якості корисної добавки було обрано саме йод з декількох причин. Одна з них полягає у тому, що дефіцит йоду призводить до багатьох хвороб порушення функцій щитовидної залози. Тому одним із завдань харчової промисловості є забезпечення населення йодовмісними продуктами, що містять йод у необхідних кількостях та легкій споживчій формі. Друга причина полягає в тому, що вироби з пінною структурою є полідисперсними системами з високою ступінню дисперсності. Головним недоліком таких систем є їх нестабільність, що призводить до швидкого псування таких виробів і необхідності використання шкідливих консервантів та стабілізаторів. Отже маємо ще одну проблему – необхідність використання стабілізатора натурального походження для стабілізації пінної структури продукту.

Виходячи з вищесказаного, вважаємо доцільним використання ламінарії у вигляді добавки – еламіну. Насамперед еламін містить збалансований комплекс макро- та мікро- елементів у органічно зв'язаному стані, а за вмістом йоду, еламін у кілька разів перевищує інші продукти. По-друге, в ньому у великій кількості містяться також альгінати: одна частина альгінової кислоти адсорбує 300 масових частин води. Це зумовлює застосування еламіну як загусника і стабілізатора піни у харчових продуктах.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження даної роботи є пінні структури, що збагачені необхідною кількістю йоду. Піні за своєю природою як технологічний об'єкт відносяться до емульсій, в яких дисперсною фазою є газ. У якості характеристики піни використовують показники піноутворюючої здатності розчину і показник стабільності.

Піни відносяться до нестійких полідисперсних систем та мають свої технологічні особливості. Всебічне дослідження пін як фізичних об'єктів викликає півні труднощі. Це обумовлено тим, що розміри піни у сотні разів перевищують бульбашки газу, з якого формуються бульбашки піни. Піни також відносяться

до термічно нестійких об'єктів, тому що в них відбуваються процеси старіння та руйнування. Вони обумовлені наступними чинниками:

- відбувається зменшення товщини плівок з наступним їх руйнуванням;
- має місце дифузійний перенос газу з комірок малого об'єму у більш великі;
- змінюється гідростатична рівновага стану піни, тому що під дією сили тяжіння виникає перетікання рідини з верхніх шарів у нижні, внаслідок чого може змінюватися щільність піни за висотою.

Тому піні слід розглядати як складну багат шарову структуру у вигляді шарів з різною товщиною. Головним технологічним недоліком і основною проблемою використання пін є їх нестабільність за часом і під впливом зовнішніх факторів, зокрема температури.

Рішення цих проблем полягає у виборі і використанні стабілізатора, який дозволить розв'язати проблему здобуття стабільної пінної структури.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розширення асортименту нових йодовмісних функціональних продуктів харчування на прикладі піновмісних продуктів харчування. Ці продукти сприяють збереженню та поліпшенню здоров'я людини. Метою дослідження також є вдосконалення структури цих продуктів шляхом додавання природних нешкідливих біологічно активних добавок.

Для досягнення поставленої мети були сформувані наступні завдання:

1. Дослідити вплив еламіну на стабільність структури полідисперсних пінних виробів.
2. Вивчити механізм зв'язування вологи еламіном.
3. Дослідити залежність стабільності продуктів з еламіном від температури.
4. Обґрунтувати доцільність використання меламіну як харчової добавки.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

В останні роки відмічається дефіцит низки необхідних компонентів, і йодна недостатність відноситься до найбільш розповсюдженого явища та спостерігається у 90 % населення України. У організмі людини йоду міститься 15–20 мг і денна потреба в ньому становить 100–150 мкг [1]. Організм людини не синтезує і не запасає такі речовини, як йод, у достатній кількості і тому вони постійно мають надходити з їжею. Для створення таких продуктів можуть бути використані пастильні вироби з пінною структурою, які належать до групи збивних продуктів. В даній роботі запропоновано збагатити їх йодом, використовуючи концентрат із морської водорості – еламін, як стабілізатор дисперсної системи та як джерело йоду, що міститься у збалансованій легкодоступній формі.

Як відомо з [2], еламін містить вільний альгінат натрію, який завдяки своїй активній формі виконує функцію не тільки загусника, але й ентеросорбента радіонуклідів, важких металів та інших шкідливих речовин. Альгінат натрію – це сіль альгінової кислоти, що відноситься до полісахаридів природного походження, які дуже ефективно зв'язують вологу. Ще однією позитивною рисою еламіну є те, що він має нейтральні смакові якості. Оскільки згідно з [3, 4] біологічно-активні добавки отримані з ламінарії мають неприємний різкий присмак.

В роботі [5] для одержання піни з високими структурно-механічними показниками потрібне введення речовини, яка б виконувала роль стабілізатора пінної системи. Тому актуальним було дослідити вплив еламіну на характеристики водної системи і на його здатність утримувати вологу. Необхідно визначити чинники, які впливають на стан та властивості вологи продукту, оскільки, як показано у [6], зв'язок вологи з іншими компонентами продукту значно впливає на створення біологічно-активного комплексу типу еламін-продукт.

В роботі [7] були проаналізовані технологічні рішення створення раціонів для використання у тваринних господарствах на основі використання водоростей. Розроблені раціони, які збагачені відповідними добавками. Робота [8] присвячена проблемам використання біологічно-активних сполук, що можна здобувати з морських водоростей. Показана доцільність використання біомаси водоростей, яка знаходиться у європейських водах. Також були розглянуті проблеми відбору водоростей з урахуванням їх складового составу. Актуальні питання переробки морських продуктів для використання в продуктах харчування людини були досліджені в [9]. Питання гідролізу полісахаридів на основі використання морських водоростей приведені в [10], Також у цій роботі розглянуті технологічні процеси і проблеми їх оптимізації для збільшення видобування різноманітних сполук з морської біомаси.

В цілому наведений аналіз підкреслює, що питання використання харчових речовин з морських водоростей для потреб харчової промисловості інтенсивно проводяться з метою збільшення кількості сполук, що можна використовувати для харчових технологій.

5. Методи дослідження

Для розв'язування проблематики роботи було вивчено вплив сухого [11] та завареного еламіну [12] на піноутворюючу здатність білка яєць в залежності від способу його введення. У якості досліджуваного об'єкту використовувався порошок еламіну, отриманий з морських водоростей – ламінарій і являє собою порошок від бурого до темно-зеленого кольору. Під час дослідження було висунуте припущення, що добавка також зв'яже вологу, яка знаходиться в білку. Це призводить до підвищення густини піни та її піностійкості, а ефективність зв'язування вологи залежить від температури білка під час введення еламіну. Для дослідження впливу температурного фактора на показники піни було вирішено дослідити зміну часу T_2 в модельних системах. Після чого вивчали характер впливу харчових добавок на значення T_2 .

Дослідження часу спін-спінової релаксації T_2 у розчинах проводилось на лабораторному імпульсному спектрометрі ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) з робочою частотою 16 МГц методом спінової луни [13, 14]. Зразок, з речовиною дослідження, розташовується у радіочастотній котушці, яка знаходиться у сталому магнітному полі H_0 . Під впливом радіочастотних імпульсів, що створюють поле H_1 , збуджується система ядерних моментів зразка і виникає відгук системи у вигляді спінової луни. Прийнятий сигнал підсилюється і після відповідного перетворення відтворюється на екрані комп'ютера з автоматичним ви-

мірюванням його амплітуди та виведенням середнього за кількома значеннями амплітуди сигналу.

У даній методиці використовується метод Хана [15], коли на зразок дослідження діють два зондуючі імпульси з інтервалом часу τ між ними. Після їх дії у момент часу 2τ спостерігається сигнал луни, амплітуда якого визначається формулою:

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{2\tau}{T_2}\right), \quad (1)$$

де τ – інтервал між зондуючими імпульсами; T_2 – час спін-спінової релаксації; A_0 – максимальне значення сигналу спінової луни, що визначається кількістю резонуючих ядер у зразку. Визначивши величину сигналу спектрометра ЯМР для різних значень τ можна оцінити стан вологи у зразку.

Визначення часу спін-спінової релаксації проводилось програмою MathCAD з використанням стандартної функції GENFIT, що використовує метод нелінійної регресії.

6. Результати дослідження

За рекомендацією Інституту харчування Міністерства охорони здоров'я України (Київ, Україна) мінімальна раціональна концентрація еламіна, як джерела йоду становить 0,5 % (концентрат еламіна сухого згідно з ТУ У 00382119-02-99). При такій малій концентрації (0,5 %) зміна сигналу ЯМР щодо досліджуваного фактора (температури) дуже мала. Це обумовлено технічними характеристиками спектрометра ЯМР. Тому було прийнято рішення визначити час спін-спінової релаксації для концентрацій 0,1 та 1,5 % і, побудувавши регресійні рівняння, визначити значення T_2 для концентрації 0,5%.

За даними експерименту були отримані наступні значення T_2 , які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення показника T_2 в залежності від концентрації X еламін і температури розчинника

Концентрація еламіну в розчині, %	Час спін-спінової релаксація T_2 , сек	
	Температура розчину t 18–20 °C	Температура розчину t 95–98 °C
0	0,32	0,32
0,5	не визначалась	не визначалась
1,0	0,168	0,012
1,5	0,013	0,010

Знайдені показники були використані для знаходження регресійного рівняння другого порядку, яке описує залежність зміни T_2 від концентрації еламіна для заданих температур t розчину. Побудоване рівняння регресії для температури розчину 18–20 °C має наступний вигляд:

$$T_2(C) = 0,32 - 0,047 \cdot C - 0,0105 \cdot C^2. \quad (2)$$

Для концентрації еламіну 0,5 % за рівнянням (2) було визначено значення T_2 , яке виявилось рівним 0,27 сек.

Для температури розчину 95–98 °C рівняння регресії виглядатиме так:

$$T_2(C) = 0,32 - 0,511C + 0,203 \cdot C^2. \quad (3)$$

У цьому випадку значення T_2 для концентрації еламіну 0,5 % становить 0,115 сек.

Таким чином, в ході експериментів було встановлено, що еламін має здатність утворювати з вологою у продукті міцні зв'язки. Цей факт призводить до зменшення кількості вільної рідини у продукті, переводячи її у зв'язаний стан. Посилення цього ефекту спостерігається за рахунок підвищення температури заварювання еламіну.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Розрахунки собівартості та ціни бісквітів, збагачених меламіном, показали, що ціни на бісквіти «Збагачений» та «Легкий» є нижчими, ніж продукту, виготовленого за традиційною рецептурою, відповідно на 2,3 та 0,9 %. Ціна бісквіта «Здоров'я» перевищує ціну продукту-аналогу на 3,2 %, що може бути компенсовано його поєднаними властивостями, а саме фортифікацією йодом.

Розрахунки інтегрального показника якості відзначили, що цей показник у розроблених зразків бісквітів вище, ніж у зразка, виготовленого за традиційною рецептурою. Бісквіти «Збагачений» та «Здоров'я» мають однакову інтегральну оцінку якості – 0,94, яка перевершує контроль на 10,6 %. Інтегральний показник якості бісквіта «Легкий» становить 0,93, що перевищує значення контрольного зразка на 9,4 %.

Таким чином, унаслідок обчислення комплексного та інтегрального показників якості доведена ефективність використання еламіну при формуванні якості бісквітів. Джерелом економічного та соціального ефекту від впровадження бісквітів з еламіном є також більш висока якість розроблених виробів порівняно з контрольним продуктом. Як наслідок, збільшення обсягу реалізації та прибутку та поліпшення структури харчування усіх громадян країни не залежно від рівня доходів шляхом компенсації нестачі йоду в організмі людини та наданні можливості споживання кондитерських виробів.

Weaknesses. До негативного фактору технології виробу даного продукту можна віднести необхідність використання стадії попереднього заварювання еламіну.

Opportunities. При впровадженні даної розробки на підприємстві може бути розширено обсяги збуту продукції за рахунок збільшення майбутніх споживачів.

У якості можливих перспектив використання даних продуктів можна відмітити можливість використання проведеної розробки для створення продуктів медичного спрямування. Ці продукти дали б змогу проводити цілеспрямоване

корегування вмісту йоду в організмі людини при випадках виникнення дефіциту йоду, наприклад, при виникненні техногенних катастроф.

Threats. Негативна дія на об'єкт дослідження зовнішніх факторів може бути при умові розробки більш удосконалених технологій переробки морської біомаси, що дадуть змогу безпосередньо впроваджувати ці речовини у харчові технології, минаючи стадію виготовлення пінних структур.

8. Висновки

1. Показано, що зменшення рухливості води у об'єкті дослідження пояснюється тим, що у складі еламіну наявні солі альгінатів натрію у концентрації 22–27 %, які здатні зв'язувати вологу під час розчинення в дистильованій воді. Виявлено, що у складі еламіну, крім власних сполук альгінату натрію, є натрій в лужній формі, який утворюється при лужному обробленні ламінарії, що здійснюється в ході отримання еламіну з ламінарії. При підвищенні температури до 95–98 °С вільна альгінова кислота з'єднується з моновалентними катіонами металу. Активізується реакція нейтралізації з утворенням додаткової кількості альгінату натрію, який спричиняє збільшення ступеня набрякання еламіну та зменшення рухливості води.

2. Сформовано припущення про те, що здатність йодо-вміщуючої добавки еламіну зв'язувати вільну вологу, переводячи її у в'язкий стан, може бути стабілізатором дисперсної системи продуктів з пінною структурою. За рахунок цієї властивості може підвищуватись в'язкість розчину, за наявності якої, процес стікання рідини із плівок буде уповільнюватися, тим самим зменшиться швидкість їх стоншення та знизиться різниця поверхневого натягу. Зв'язана вода надасть ділянці плівки здатність до зворотнього скорочення. Для утворення піни в рідинах необхідні дві умови: наявність певної в'язкості початкового розчину і низький поверхневий натяг на межі розділу фаз систем «рідина-газ». Тому як напрямок подальших досліджень – дослідження впливу еламіну на поверхневий натяг водних розчинів.

3. При виявленні залежності стабільності виготовлених продуктів з еламіном було встановлено, що продукти дослідження, у межах заданих температурних змін 18–20 °С, 95–98 °С, відповідають заданим показникам якості.

4. Припущення, про властивості еламіну зв'язувати вологу експериментально підтвердились, наслідком чого є висока стійкість ячної піни з еламіном. Піноутворююча здатність дослідного зразку в якій еламін, був введений у сухому стані на 68,6 % менше ніж у контрольному, а піноутворююча здатність зразку із завареним еламіном перевищує контроль на 10–20 %. Можна прогнозувати, що більший вміст «зв'язаної» вологи в дослідних зразках порівняно з контролем буде забезпечувати триваліше збереження свіжості готових виробів. Це відбувається переважно завдяки здатності наявних у ньому альгінатів набрякати та утримувати вільну вологу в просторовому каркасі полімерних волокон. Унаслідок цього вони беруть участь у зміцненні структури білкового каркасу яйця за рахунок зменшення рухливості води в плівках піни. Це підтверджує можливість його застосування як стабілізатора піни під час виробництва нових функціональних продуктів з пінною структурою.

Література

1. TU U 00382119-02-99. Elamin sukhyi poroshkopodibnyi [Text]. – Introduced: 01.01.2000. – Kyiv, 2000. – 12 p.
2. Derevianko, L. P. Elamin – iodiruiushchaia radiozashchitnaia dobavka iz morskoï kapusty [Text] / L. P. Derevianko. – Kyiv, 1999. – 32 p.
3. Erickson, P. S. Short communication: Kelp taste preferences by dairy calves1 [Text] / P. S. Erickson, S. P. Marston, M. Gemmel, J. Deming, R. G. Cabral, M. R. Murphy, J. I. Marden // *Journal of Dairy Science*. – 2012. – Vol. 95, № 2. – P. 856–858. doi:10.3168/jds.2011-4826
4. Marston, S. P. Addition of a Silage Preservative Reduces Spoilage in Wet Brewers Grain1 [Text] / S. P. Marston, D. A. Spangler, N. L. Whitehouse, P. S. Erickson // *The Professional Animal Scientist*. – 2009. – Vol. 25, № 3. – P. 388–392. doi:10.15232/s1080-7446(15)30730-0
5. Fingas, M. Formation of water-in-oil emulsions and application to oil spill modelling [Text] / M. Fingas // *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – Vol. 107, № 1–2. – P. 37–50. doi:10.1016/j.jhazmat.2003.11.008
6. Urdahl, O. Water-in-crude oil emulsions from the Norwegian Continental Shelf. A stabilization and destabilization study [Text] / O. Urdahl, J. Sjoblom // *Journal of Dispersion Science and Technology*. – 1995. – Vol. 16, № 7. – P. 557–574. doi:10.1080/01932699508943707
7. Heins, B. J. Effect of feeding kelp on growth and profitability of grouped calves in an organic production system [Text] / B. J. Heins, H. Chester-Jones // *The Professional Animal Scientist*. – 2015. – Vol. 31, № 4. – P. 368–374. doi:10.15232/pas.2015-01390
8. Holdt, S. L. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation [Text] / S. L. Holdt, S. Kraan // *Journal of Applied Phycology*. – 2011. – Vol. 23, № 3. – P. 543–597. doi:10.1007/s10811-010-9632-5
9. Kim, S.-K. Bioactive compounds from marine processing byproducts – A review [Text] / S.-K. Kim, E. Mendis // *Food Research International*. – 2006. – Vol. 39, № 4. – P. 383–393. doi:10.1016/j.foodres.2005.10.010
10. Sutherland, A. D. Comparison of various microbial inocula for the efficient anaerobic digestion of *Laminaria hyperborea* [Text] / A. D. Sutherland, J. C. Varela // *BMC Biotechnology*. – 2014. – Vol. 14, № 1. – P. 7. doi:10.1186/1472-6750-14-7
11. TU U 15.8-01566330-250:2010. Zefir z kontsentratom elaminu sukhoho [Text]. – Kyiv, 2010. – 20 p.
12. Biletska, Ya. O. Formuvannia yakosti zefiru z vykorystanniam elaminu ta yahidnykh piure [Text]: Thesis of PhD: 05.18.15 / Ya. O. Biletska. – Kharkiv: KhDUKhT, 2012. – 21 p.
13. Sadoc, J. F. Foams and Emulsions [Text] / ed. by J. F. Sadoc, N. Rivier. – Springer Netherlands, 1999. – 348 p. doi:10.1007/978-94-015-9157-7
14. Losche, A. Kerninduktion [Text] / A. Losche. – Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1957. – 605 p.

15. Farrar, T. C. Free Induction and Spin Echoes [Text] / T. C. Farrar, E. D. Becker // Pulse and Fourier Transform NMR. – Elsevier, 1971. – P. 18–33. doi:10.1016/b978-0-08-091812-9.50007-7

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРВИЗДАНИЕМ