

## НАУКОВІ ОСНОВИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЖЕЛЕЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Фошан А. Л.

### ВСТУП

Сучасні умови ринкового господарювання ставлять перед виробниками продуктів харчування завдання впровадження нових конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій з одночасним поліпшенням споживчих властивостей, підвищенням харчової та біологічної цінності, подовженням термінів зберігання й розширенням асортименту продукції.

Серед широкого різноманіття харчових продуктів особливою популярністю у споживачів користується желейна продукція. Це різноманітні цукерки, желе, муси, мармелад, зефір, печиво і тістечка, оздоблені желейними напівфабрикатами, та ін. Ця продукція характеризується привабливим зовнішнім виглядом, високими смаковими властивостями, добре засвоюється організмом людини. Текстура желейної продукції забезпечується введенням у рецептуру різних структуроутворювачів. Вони можуть бути рослинного походження – продукти переробки морських водоростей (агар, агароїд, фуцеларан, каррагінани, альгінати), фруктів та овочів (пектини, крохмалі), насіння рослин (різноманітні камеді); тваринного (желатин) та мікробного походження (ксантан, ксампан). Проте виробництво цієї продукції здійснюється здебільшого з використанням імпортованих, а відповідно дорогих, структуроутворювачів.

Актуальність досліджень полягає у вирішенні важливого завдання харчової індустрії – раціонального використання харчової сировини, зокрема структуроутворювачів різного походження, під час створення кондитерських виробів, збагачених фізіологічно-функціональними інгредієнтами, які можуть зайняти гідне місце на продовольчому ринку.

Останнім часом у світі проводяться ґрунтовні дослідження в цьому напрямі, якими займалися такі вчені, як В.Б. Толстогузов<sup>1</sup>, А.М. Дорохович<sup>2</sup>, П.П. Пивоваров<sup>3</sup>, Ф.В. Перцевий<sup>4</sup>, К.Г. Юргачова<sup>5</sup>, В.В. Євлаш<sup>6</sup>, та ін. Аналіз літературних даних показує, що увага вчених акцентується на розробці технологій желейної продукції з добавками, що корегують показники харчової цінності. Це передбачає не стільки скорочення витрат структуроутворювачів, скільки зменшення вмісту цукру, створення дієтичної продукції й збагачення виробів білками, вітамінами, мінеральними та баластними речовинами. На сьогодні в літературі відсутні завершені теорії та концепції, що дозволяли б однозначно прогнозувати технологічні та споживчі властивості желейних кондитерських виробів на основі знання молекулярної структури та природи структуроутворювачів, що використовуються для їх виготовлення. Відсутні також і методики кількісного визначення функціонально-фізіологічних інгредієнтів, адаптовані для кондитерських виробів з використанням структуроутворювачів різного походження.

У зв'язку з вищевикладеним, наукове обґрунтування, розробка та запровадження нових ресурсозберігаючих технологій желейної продукції, які базуються на дослідженні функціонально-технологічних властивостей сировини, а саме структуроутворювачів різного походження, та дозволяють отримувати вироби із задалегідь прогнозованими характеристиками є актуальною науково-технічною проблемою.

---

<sup>1</sup> Tolstoguzov V. B. Ingredient interactions in complex foods: aggregation and phase separation. In Understanding and controlling the microstructure of complex foods / McClements, D. J. (ed.). Woodhead Publishing, Cambridge. 2007. P. 185–206.

<sup>2</sup> Дорохович, А. М. Використання гідроколідів у кондитерському виробництві / А. М. Дорохович, В. І. Оболкіна, О. О. Кохан, С. Г. Кияниця // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2005. – № 2. – С. 9-11.

<sup>3</sup> Пивоваров П.П., Пивоваров Е.П., Кондратюк Н.В. Перспективы использования агаро-пектиновой смеси в технологии желе // Новое в технике и технологии пищевых производств. – 2013. – №2. – С. 142-148.

<sup>4</sup> Pertsevov F., Foshchan A., Garncarek B., Miskiewicz T. *Modifying additives in jelly products*, Publishing house of National University of Food Technologies, Kiev, 2005, 260 pp.

<sup>5</sup> Юргачова К.Г., Банова С.І. Удосконалення технології збивних кондитерських мас // Наукові праці ОДАХТ. – 2001. – № 22. – С. 8 – 11.

<sup>6</sup> Євлаш В. В., Кузнецова Т. О., Артамонова М. В., та інші. Розробка науково обґрунтованих технологій продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження // Наукові праці Національного університету харчових технологій. Київ, 2017. Т. 23, № 5. С. 115–123.

## 1. Молекулярне моделювання процесів структуроутворення у водних розчинах колагену та агарози

В основі процесу геле- або структуро- утворення лежить утворення просторової сітки між молекулами біополімерів, з'єднаних в окремих «вузлах» силами міжмолекулярної взаємодії або хімічними зв'язками різної природи.

Відповідно до загальноприйнятої концепції<sup>7</sup>, механізм формування гідрогелів агару може бути представлено двома стадіями: 1) формування подвійних спіралей з індивідуальних ланцюгів агарози; 2) асоціація подвійних ланцюгів з утворенням співвісних асоціатів (агрегатів) з наступним утворенням тривимірних структур (рис. 1.1).

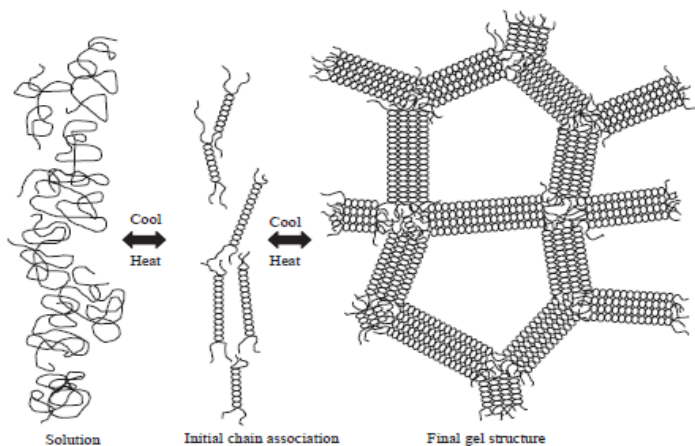
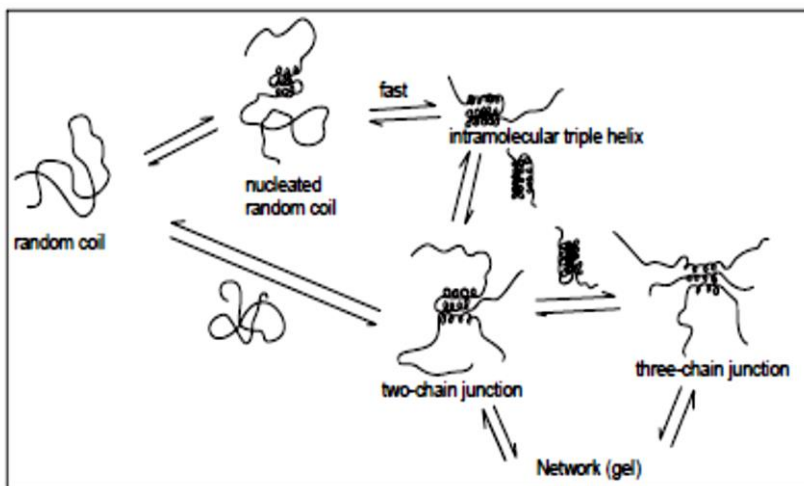


Рис. 1.1. Механізм структуроутворення агару

У водних розчинах желатин (колаген), залежно від температури й концентрації, може існувати у вигляді: а) лінійних  $\alpha$ -ланцюгів, які утворенні повторюванням тріад амінокислот, б) потрійних спіралей (молекул тропоколлагена), в) співвісних асоціатів молекул тропоколлагена, що мають можливість утворювати тривимірні структури (рис. 1.2)<sup>8</sup>.

<sup>7</sup>Rees D.A., Welsh E.J. (1977), Secondary and tertiary structure of polysaccharides in solution and gels, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 15, pp. 214-224.

<sup>8</sup>Fiber, E. G., Franks, F., Phillips, M. C. & Suggest, A., Gel formation from solutions of single chain gelatin. *Biopolymers*, 14(10), (1975) 1995-2005



**Рис. 1.2. Механізм структуроутворення желатину**

Велика розмаїтість видів желатину в залежності від вихідної сировини та технології виробництва є широко відомий факт для фахівців в області харчової технології<sup>9</sup>. Для розуміння впливу складу желатину на особливості гелеутворення необхідно досліджувати цю проблему на атомно-молекулярному рівні.

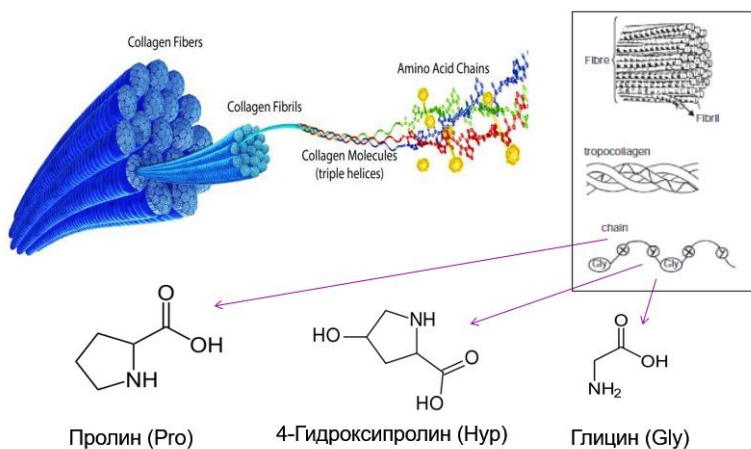
Про молекулярно-біологічну сутність желатину – колаген відомо, що його структуру утворюють повторення триплетів амінокислот, які обов'язково включають гліцин (GLY) та, найчастіше, пролін (PRO) та гідроксіпролін (HYP)<sup>10</sup> (рис.1.3).

Незважаючи на значний успіх останніх років у вивченні структури желатину (колагену) у твердому (кристалічному) стані, окремі етапи механізму гелеутворення за участю колагену залишаються невивченими на атомно-молекулярному рівні. Крім того, безсумнівний інтерес представляє вивчення міжмолекулярної асоціації за участю спіральних структур колагену й агарози (основної складової сульфатованих полісахаридів червоних морських

<sup>9</sup> Phillips G.O., Williams P.A. (2009), *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd edition, Woodhead Publishing, Cambridge.

<sup>10</sup> Bhattacharjee A., Bansal M. (2005), Collagen Structure: The Madras Triple Helix and the Current Scenario, *IUBMB Life*, 57, pp. 161-172.

водоростей) при їхньому спільному використанні в якості гелеутворювачів.



**Рис. 1.3. Структура желатину (колагену)**

Таким чином, вивчення двох найпопулярніших драгелуєтворювачів та їх розчинів на молекулярному рівні, методами квантової хімії і молекулярно-динамічного (МД) моделювання надасть, по-перше, детальний кількісний опис водневих зв'язків, що утворюються в процесі гелеутворення, по-друге, побудову моделей надмолекулярної структури у відповідних системах і прогнозування їх реологічних властивостей.

Метою дослідження було встановлення особливостей міжмолекулярної асоціації (агрегації) у водних розчинах агарози (AG) і колагену (Col), а також ролі водневих зв'язків на атомно-молекулярному рівні з використанням методів молекулярного моделювання.

Для досягнення поставленої мети були розв'язані наступні задачі:

- 1) підбір і валідація моделей силових полів молекул AG і Col для МД моделювання;
- 2) розробка методики МД моделювання асоціативних рівноваг у водних розчинах AG і Col;
- 3) проведення МД моделювання й аналіз структурних і енергетичних характеристик Н-зв'язків між молекулами Col, а також молекулами AG і Col у досліджуваних системах;

4) квантово-хімічний аналіз виявлених водневих зв'язків.

Сутність методу молекулярно-динамічного (МД) моделювання<sup>11</sup> полягає в чисельному рішенні ньютонівських рівнянь руху по заданим парним адитивним модельним потенціалам взаємодії з подальшим обчисленням середніх по ансамблю термодинамічних, структурних і динамічних властивостей модельованої системи за сукупністю миттєвих координат  $r(t)$  і швидкостей  $v(t)$  всіх частинок системи.

Оскільки при МД моделюванні рідини відомі швидкості і координати всіх частинок в системі, є можливість обчислювати різні функції розподілу, кореляційні функції, як одночасткові, так і колективні, а також термодинамічні параметри. В методі МД моделювання можливе обчислення всіх величин, що розглядаються класичною статистичною механікою<sup>12</sup>, у тому числі і недосліджених звичайними статистико-механічними методами.

Модельована система як правило представляється кубічним осередком з довжиною ребра  $L$ , що обчислюється за експериментальної щільності і заданій кількості частинок (атомів, молекул, іонів). З урахуванням істотно різної залежності від міжатомної відстані, в МД моделюванні модельний потенціал взаємодії будь-якої пари частинок (атомів) системи представляється сумою складових короткодючої і електростатичної взаємодії.

Проведення МД моделювання звичайно розбивають на три етапи:

- ініціалізація системи (завдання за певними правилами початкових координат і швидкостей усім атомам (молекулам) в базовій комірці);
- урівноваження (приведення системи в стан термодинамічної рівноваги);
- проведення одного або декількох послідовних запусків (прогонів) з обчисленням всіх структурних, динамічних і термодинамічних властивостей модельованої системи.

У нашій роботі<sup>13</sup> був використаний наступний алгоритм дослідження:

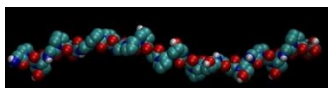
---

<sup>11</sup> Haile J.M. (1992), *Molecular dynamics simulation. Elementary methods*, New York, Wiley.

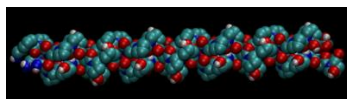
<sup>12</sup> Балеску Р. (1978), *Равновесная и неравновесная статистическая механика, в 2-х т.*, М., Мир.

<sup>13</sup> Калугин О. Н., Вовчинский И. С., Фошан А. Л., Губский С.М., Евлаш В.В. Методы молекулярного моделирования как инструмент для исследования пищевых гелей // Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технологій, енергоєфективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія. Харків: ХДУХТ, 2015. С. 50–101.

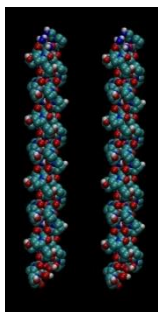
- створення лінійних  $\alpha$ -ланцюгів колагену;
- створення на їхній основі молекули тропоколагену;
- створення модельного водного розчину у вигляді МД комірки із двома молекулами тропоколагену;
- проведення МД моделювання на предмет дослідження динаміки асоціації молекул тропоколагену;
- наступний аналіз топології водневих зв'язків і їх квантово-хімічний аналіз.



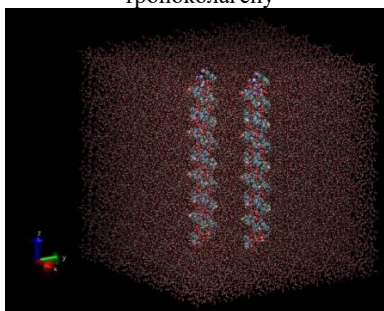
$\alpha$ -ланцюг молекули колагену



Потрійна спіраль молекули тропоколагену



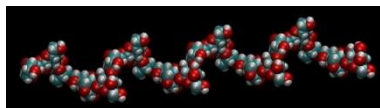
Початкове розташування молекул тропоколагену в МД комірці



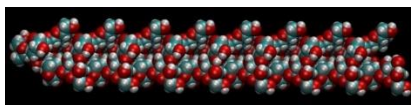
МД комірка з 2 молекулами тропоколагену та 32 560 молекулами води

**Рис. 1.4. Структурні елементи модельного водного розчину тропоколагену для МД моделювання**

Аналогічний підхід використаний для дослідження асоціації між молекулами тропоколагену з подвійною спіраллю агарози (AG) у водному середовищі (рис. 1.5).

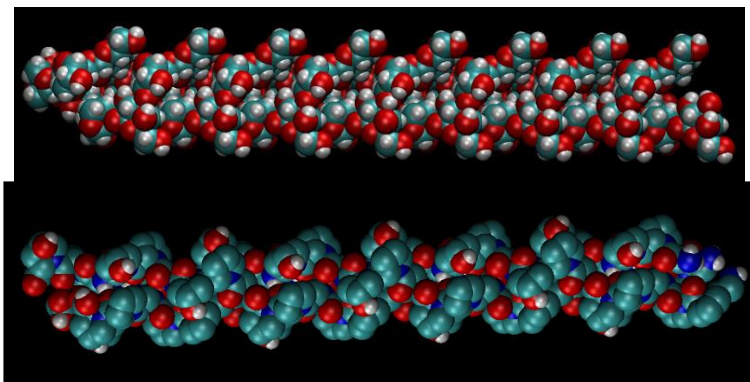


Одинарний ланцюг молекули AG



Подвійна спіраль молекули AG

Початкове розташування молекул тропоколагену та подвійної спіралі агарози



**Рис. 1.5.** Структурні елементи модельного водного розчину тропоколагену та агарози для МД моделювання

Проведене МД моделювання складалось з наступних етапів.

1. *Створення МД комірки*<sup>14</sup>. Після створення моделі та додавання термінальних груп  $-NH_2$  та  $-COOH$  до експериментальної геометрії отримані дві потрібні спіралі тропоколагену було розміщено паралельно одна одній на відстані 2.5 нм в центрі кубічної комірки  $10 \times 10 \times 10$  нм. Після чого вона була рівномірно заповнена 32 560 молекулами води. Отримана геометрія була використана в наступному етапі. Вибір структури колагену обумовлений як наявністю трьох найбільш важливих амінокислот у складі, а саме GLY, PRO і HYP, а також прийнятними розмірами (підсумкова кількість модельованих частинок у потрібній спіралі склала 576). Для створення моделі силового поля була використана утиліта GROMACS (а саме `pdb2gmx`)<sup>15</sup>.

2. *Мінімізація енергії*. Основною метою етапу мінімізації енергії є прискорення термодинамічної рівноваги модельованої системи. За допомогою алгоритму найшорішого спуску знаходиться більш енергетично вигідний стан системи, що відповідає висунутим умовам. Критерієм припинення мінімізації в даному моделюванні була відсутність сил більших за 1000 КДж/моль/нм.

3. *Врівноваження системи з зафіксованими важкими атомами молекул тропоколагену у мікроканонічному (NVT) ансамблі*. Після того як було проведена мінімізація енергії системи, для більш шорішого

---

<sup>14</sup> Lyssenko K.A., et all (2006), Water Clusters in Crystal: Beyond the “Hydrogen-Bonding Graphs”, *ChemPhysChem*, 7, pp. 2453-2455.

<sup>15</sup> <http://www.gromacs.org/>



приведення системи в стан термодинамічної рівноваги було проведене МД моделювання при постійному об'ємі, температурі та кількості модельованих часточок протягом 100 пс кроком 2 фс. Під час моделювання важкі атоми молекул тропоколагену (всі окрім атомів гідрогену) були зафіксовані у просторі з використанням спеціального потенціалу. Таким чином молекули розчинника – води – мали змогу зайняти більш вигідні з енергетичної точки зору позиції навколо ланцюгів тропоколагену. Для підтримання постійної температури 300 К було використано модифікований термостат Берендсена зі значенням константи 0,1 пс. Критерієм варіації виступила потенційна енергія системи, відсутність флуктуацій та трендів на збільшення/зменшення якої вказувала на те, що можна переходити до наступного етапу врівноваження.

4. *Врівноваження системи з зафіксованими важкими атомами молекул тропоколагену у канонічному (NPT) ансамблі.* Геометрія системи отримана на попередньому етапі врівноваження була використана у ролі стартовою для врівноваження у канонічному ансамблі протягом 100 пс кроком 2 фс. Головна відмінність даного етапу від попереднього полягає у тому, що розмір модельованої комірки може мінятися задля відтворення експериментального тиску. Окрім модифікованого термостату Берендсена було використано баростат Паррінелло-Рамана, із константою 2 пс та значенням стислості для води. Незначна зміна густини системи протягом модельованого етапу свідчить про те, що система може переходити до фінального етапу врівноваження.

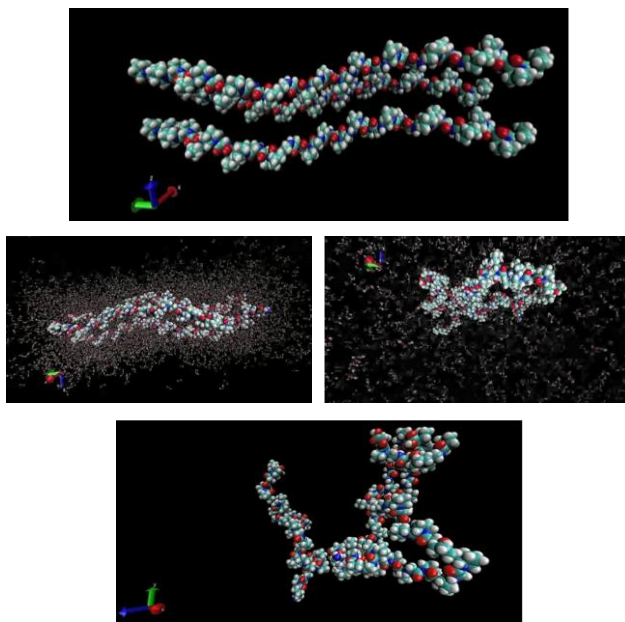
5. *Врівноваження системи без просторових обмежень у NPT ансамблі.* Врівноваження у канонічному ансамблі протягом 15 нс кроком 2 фс є фінальним етапом перед досліджуванням властивостей системи. Протягом визначеного часу молекули тропоколагену зліпилися, утворивши водневі зв'язки між потрійними спіралями. Незначні флуктуації таких показників як: потенційна енергія системи, густина, і найголовніше – постійна кількість водневих зв'язків між потрійними спіралями тропоколагену вказували на те, що система досягла термодинамічної рівноваги та є придатною для розрахунку досліджуваних властивостей.

6. *Моделювання системи для розрахунку досліджуваних властивостей.* Було проведено три послідовних (фінальна геометрія одного моделювання була початковою для наступного) моделювання тривалістю 5 нс кожен із метою оцінити енергетичні та структурні характеристики водневих зв'язків потрійними спіралями тропоколагену. Налаштування моделювання були аналогічні фінальному етапу врівноваження.

Моделювання водного розчину, що містив одну молекулу тропоколагену та подвійну спіраль агарози проводили за аналогічною схемою.

В якості джерела структури подвійної спіралі агарози, було використано данні з роботи<sup>16</sup>. Надзвичайно важливим для МД моделювання є той факт, що ця структура є потенційно нескінченною і відносно короткий вектор трансляції 0.19 нм дозволяє гнучко підбирати довжину ланцюга агарози в залежності від наявних розрахункових ресурсів та інших потреб розрахунку.

Аналіз динаміки міжмолекулярної асоціації (агрегації) двох молекул колагену показав, що протягом кількох сотень пікосекунд дві молекули тропоколагену утворюють динамічно стійкий асоціат (рис. 1.6).



**Рис. 1.6. МД комірка з двома асоційованими молекулами тропоколагену й 32 560 молекулами води**

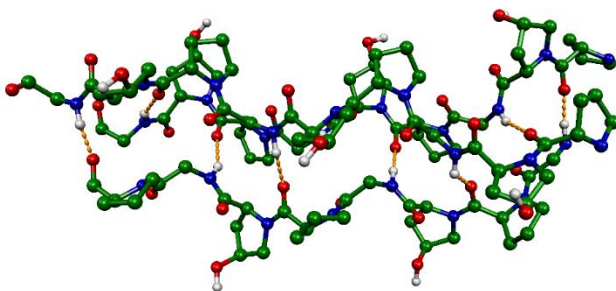
---

<sup>16</sup> Arnott S., Fulmer A., Scott W.E., Dea I.C., Moorhouse R., Rees D.A. (1974), The agarose double helix and its function in agarose gel structure, *J.Mol.Biol.*, 90, pp. 269-284.

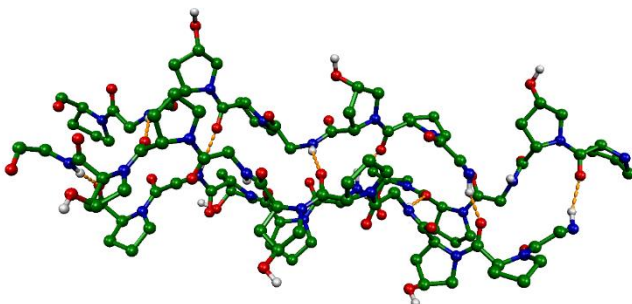
Аналогічну динаміку демонструють і молекули тропоколагену й подвійної спіралі агарози, поміщені в модельне водне середовище – вони також утворюють співвісний асоціат протягом досить короткого часу.

Таким чином, за допомогою методу МД моделювання показано, що найважливішим проміжним етапом гелеутворення за участю колагену й агарози є утворення співвісних асоціатів (агрегатів) спіральних молекул.

Аналіз динамічної структури молекул тропоколагену, що складаються із трьох  $\alpha$ -ланцюгів колагену (позначених як А-В-С і D-E-F) відповідно, у водному розчині показує особливу роль сітки водневих зв'язків між амінокислотними залишками  $\alpha$ -ланцюгів<sup>17</sup> (рис. 1.7, 1.8).



**Рис. 1.7 – Ділянка молекули тропоколагену А-В-С.**  
Внутрішньомолекулярні водневі зв'язки показані пунктиром.



**Рис. 1.8. Ділянка молекули тропоколагену D-E-F.**

---

<sup>17</sup> Grabowski S.J. What Is the Hydrogen Bonding? Chem. Rev. 2011, 111, 2597– 2625.

Внутрішньомолекулярні водневі зв'язки показані пунктиром.

Слід відзначити, що стабільність молекул тропоколагену (потрійних спіралей колагену) у водному середовищі забезпечується головним чином водневими зв'язками між -NH групами гліцину одного з  $\alpha$ -ланцюгів колагену й атомами кисню проліна іншого  $\alpha$ -ланцюгу. Проведений аналіз уздовж фазової траєкторії протягом 15 нс показав, що в середньому на приблизно 9 нм довжини в молекулі тропоколагену реалізується від 15 до 20 сильних водневих зв'язків (табл. 1.1, 1.2).

Таблиця 1.1

**Статистика утворення Н-зв'язків (на 20 нс МД моделювання) між  $\alpha$ -ланцюгами всередині молекули топоколагену А-В-С**

<b>Interaction</b>	<b>Donor</b>	<b>Hydrogen</b>	<b>Acceptor</b>
A-B	GLY7N	GLY7H	PRO5O
A-B	GLY10N	GLY10H	PRO8O
A-B	GLY13N	GLY13H	PRO11O
A-B	GLY19N	GLY19H	PRO17O
A-B	GLY22N	GLY22H	PRO20O
A-C	GLY4N	GLY4H	HYP3O
A-C	GLY16N	GLY16H	PRO14O
A-C	GLY19N	GLY19H	PRO17O
A-C	GLY22N	GLY22H	PRO20O
A-C	GLY25N	GLY25H	PRO23O
B-C	GLY4N	GLY4H	PRO5O
B-C	GLY7N	GLY7H	PRO8O
B-C	GLY10N	GLY10H	PRO11O
B-C	GLY13N	GLY13H	PRO14O
B-C	GLY16N	GLY16H	HYP18O
B-C	GLY19N	GLY19H	PRO20O
B-C	GLY25N	GLY25H	PRO26O

Таблиця 1.2

**Статистика утворення Н-зв'язків (на 20 нс МД моделювання)  
між  $\alpha$ -ланцюгами всередині молекули топоколагену D-E-F**

<b>Interaction</b>	<b>Donor</b>	<b>Hydrogen</b>	<b>Acceptor</b>
D-E	GLY7N	GLY7H	PRO5O
D-E	GLY10N	GLY10H	PRO8O
D-E	GLY13N	GLY13H	PRO11O
D-E	GLY19N	GLY19H	PRO17O
D-E	GLY22N	GLY22H	PRO20O
D-E	GLY25N	GLY25H	GLY25O
D-F	GLY4N	GLY4H	PRO2O
D-F	GLY7N	GLY7H	PRO5O
D-F	GLY10N	GLY10H	PRO8O
D-F	GLY13N	GLY13H	PRO11O
D-F	GLY22N	GLY22H	PRO20O
D-F	GLY25N	GLY25H	PRO23O
E-F	GLY4N	GLY4H	PRO5O
E-F	GLY7N	GLY7H	PRO8O
E-F	GLY10N	GLY10H	PRO11O
E-F	GLY16N	GLY16H	PRO17O
E-F	GLY19N	GLY19H	PRO20O
E-F	GLY25N	GLY25H	PRO26O

В той же час, міжмолекулярна асоціація молекул тропоколагену здійснюється в основному за рахунок водневих зв'язків між гідроксіпроліновими залишками амінокислот, що належать різним молекулам тропоколагену (табл. 1.3).

Аналогічний результат отриманий за результатами аналізу асоціатів тропоколагенових молекул з молекулами агарози.

Із цього можна сформулювати важливий практичний висновок: для поліпшення гелеутворюючих властивостей колагену або подвійних систем на основі агароза+колаген (желатин) бажано використовувати колаген, збагачений гідроксіпроліновими залишками.

Для кількісної оцінки водневих зв'язків, що утворюються між тропоколагеновими молекулами був проведений їхній квантово-хімічний аналіз у рамках квантової теорії Бейдера «Атоми в молекулах» (QTAİM)<sup>18</sup>.

Таблиця 1.3

**Статистика утворення Н-зв'язків (на 20 нс МД моделювання)  
молекулами топоколагену А-В-С и D-E-F**

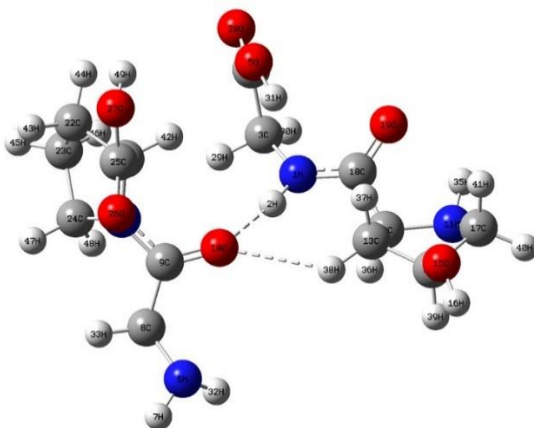
<b>Interaction</b>	<b>Donor</b>	<b>Hydrogen</b>	<b>Acceptor</b>
ABC-DEF	HYP18OD1	HYP18HD1	HYP18O
ABC-DEF	HYP24OD1	HYP24HD1	HYP24OD1
ABC-DEF	GLY1N	GLY1H1	HYP3OD1
ABC-DEF	HYP6OD1	HYP6HD1	HYP6OD1
ABC-DEF	HYP24OD1	HYP24HD1	HYP24OD1

З використанням описаного підходу був проведений вибірковий аналіз двох типів Н-зв'язків, що утворюються між різними амінокислотними залишками двох тропоколагенових молекул, гліцин – гідроксипролін (рис. 1.9) і гідроксипролін – гідроксипролін (рис. 1.10).

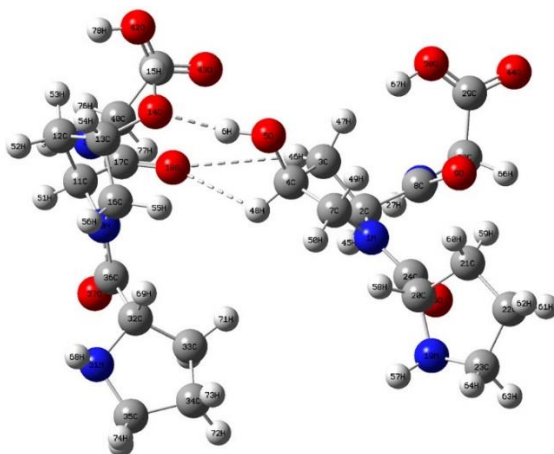
Кількісні характеристики відповідних водневих зв'язків в термінах квантової теорії наведено в табл. 1.4. За результатами квантово-хімічного аналізу відповідних водневих зв'язків встановлено, що донорні атоми кисню гідроксипроліна однієї з  $\alpha$ -ланцюгів колагену однієї молекули утворюють крім класичних (сильних) Н-зв'язків з NH (гліцин) або OH (гідроксипролін) групами  $\alpha$ -ланцюгів колагену іншої молекули також і слабкі водневі зв'язки зі СН групами відповідних молекул, що пояснює високу динамічну стійкість співвісних тропоколагенових асоціатів (агрегатів) у водних розчинах (рис. 1.11).

---

<sup>18</sup> Бейдер Р. (2001), Атоми в молекулах. Квантовая теория. Мир, Москва.



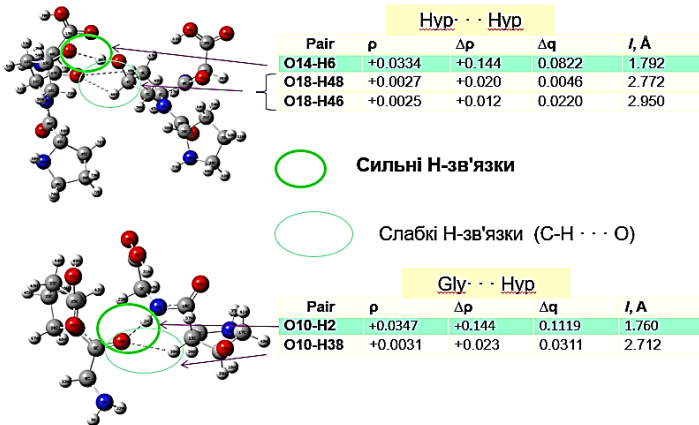
**Рис. 1.9. Приклад водневих зв'язків між амінокислотними залишками гліцин – гідроксипролін двох тропоколагенових молекул**



**Рис. 1.10. Приклад водневих зв'язків між амінокислотними залишками гідроксипролін – гідроксипролін двох тропоколагенових молекул**

**Кількісні характеристики водневих зв'язків, зображених на рис. 1.9 та 1.10, між амінокислотними залишками двох тропоколагенових молекул в термінах квантової теорії «Атома в молекулах»**

Gly-Hyp				
Атоми	$\rho$	$\Delta\rho$	$\Delta q$	$l$ , нм
O10-H38	+0.003122	+0.022680	0.031077	0.271228
O10-H2	+0.034679	+0.144467	0.111862	0.175968
Hyp-Hyp				
Атоми	$\rho$	$\Delta\rho$	$\Delta q$	$l$ , нм
O18-H48	+0.002721	+0.020243	0.004607	0.277263
O18-H46	+0.002549	+0.012544	0.021958	0.295039
H6-O14	+0.033367	+0.143695	0.082228	0.179223



**Рис. 1.11. Схема утворення сильних і слабких водневих зв'язків**

Таким чином, проведене динамічне моделювання підтвердило, що в основі процесів гелеутворення у водних розчинах колагену та агарози лежить утворення міжмолекулярної (міжспіральної) асоціації молекул тропоколагену між собою, та молекулами тропоколагену й подвійних спіралей агарози. Встановлено, що внутрішньспіральна стійкість молекул тропоколагену у водному середовищі обумовлена переважно утворенням міжланцюгових водневих зв'язків гліцин-пролін. Міжмолекулярна асоціація молекул тропоколагену між собою, а також молекули тропоколагену й подвійної спіралі агарози забезпечується головним чином водневими



зв'язками за участю гідроксипроліну колагену. На підставі цього результату рекомендовано для гелеутворення використовувати желатин, збагачений гідроксипроліном. На підставі квантово-хімічних розрахунків і використання теорії «Атоми в молекулах» показано, що додаткова стабілізація міжмолекулярних асоціатів тропоколагену й агарози забезпечується утворенням слабких водневих зв'язків С-Н ··· О.

## **2. Емпіричне моделювання функціонально-технологічних властивостей структуроутворювачів різної природи**

### **2.1. Дослідження впливу зовнішнього силового поля на функціонально-технологічні властивості драглів**

Побудова просторової сітки драглів відбувається при участі ван-дер-ваальсових або молекулярних сил різного походження: водневого зв'язку, електростатичної та гідрофобної взаємодії. На ці сили можуть впливати певні фізичні поля та змінювати властивості драглів<sup>19</sup>.

Досліджено вплив поля надвисокої частоти (НВЧ) різної потужності на міцність драглів агару, фуцеларану та агароїду, одержаних з 1, 2 та 3%-вих розчинів, відповідно.

Методика експерименту полягає у наступному. Після попереднього набухання і наступного розчинення при нагріванні на водяній бані одержували розчини відповідних концентрації. Після цього їх охолоджували до 35...45°C і обробляли у полі НВЧ з частотою 2450 МГц при різній потужності протягом такого проміжку часу, щоб розчин не нагрівався понад 80°C (1...10 хв). Час витримки розчинів полісахаридів у полі НВЧ підбирається експериментально згідно з температурою розчину. Він залежить як від потужності поля, так і від об'єму розчину (рис.2.1.1).

Після застигання міцність драглів вимірювали за приладом Валента<sup>20</sup>. Необроблені зразки приймалися за контрольні. Вплив поля НВЧ на міцність драглів представлено на рисунках 2.1.2 та 2.1.3.

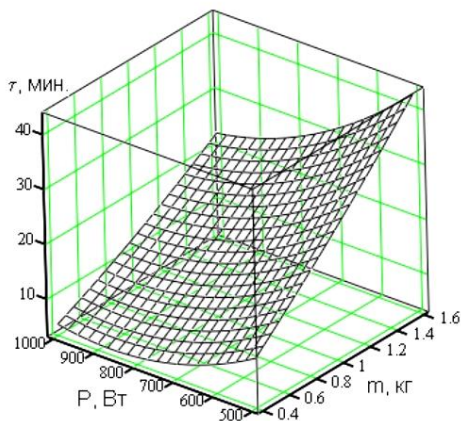
---

<sup>19</sup> Фощан А. Л. Деякі аспекти процесу структуроутворення у розчинах драглеутворювачів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць ХДУХТ. Харків, 2005. Вип. 1. С. 343–348.

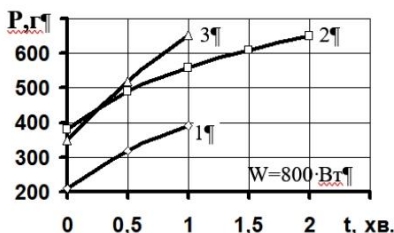
<sup>20</sup> Лурье И. С. Технохимический и микробиологический контроль в кондитерском производстве: Справочник. / И. С. Лурье, Л. Е. Скокан, А. П. Цитович – М. : Колос, 2003. – 416 с.

Видно, що обробка розчинів полісахаридів полем НВЧ приводить до значного (в 1,4...2,2 рази) зміцнення драглів, які вони утворюють.

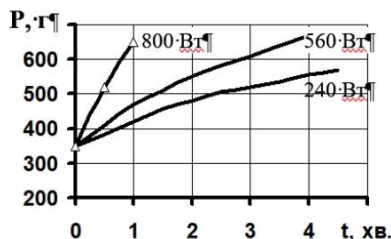
Більш детально, цей спосіб підвищення міцності драглів сульфатованих полісахаридів червоних морських водоростей описано в патенті<sup>21</sup>.



**Рис. 2.1.1. Графік поверхні залежності часу обробки від маси розчину та потужності нагріву**



**Рис. 2.1.2. Залежність міцності драглів агару (1), фуцеларану (2) та агароїду (3) від часу нагріву при потужності нагріву  $W=800$  Вт**



**Рис. 2.1.3. Залежність міцності драглів агароїду від потужності і часу нагріву**

<sup>21</sup> Спосіб підвищення міцності драглів сульфатованих полісахаридів: Деклараційний патент на винахід № 33283 А Україна: А23L1/05 / Холод Т. В., Фоцан А. Л., Перцевий Ф. В., Савгіра Ю. О.; заявл. 08.02.99; опубл. 15.02.01. Бюл. № 1.

Для розуміння дії поля НВЧ на розчини полісахаридів червоних морських водоростей, ми скористувалися методом аналізу спектру каламутності. Цей метод розроблений В. І. Кленіним із співробітниками<sup>22</sup>. Суть його полягає в тому, що за допомогою фотоколориметра при різних довжинах хвиль  $\lambda$  (різні світлофільтри) вимірюється оптична густина  $D$  розчинів структуроутворювача. Каламутність розчину  $\tau$  пов'язана з  $D$  залежністю  $\tau = 2,3 D/l$ , де  $l$  – товщина кювети. Каламутність є функцією  $\lambda$  при даній концентрації розчину  $C$  і температурі  $T$ . При невеликих інтервалах  $\lambda$   $\tau \sim \lambda^{-n}$ , де  $n$  – хвильова експонента, яка може бути подана у явному виді як  $n = -\partial \ln \tau / \partial \ln \lambda$ .  $n$  є функцією відносного розміру часток надмолекулярної структури (НМС) –  $\alpha$  і відносного показника заломлення  $m$ . ( $\alpha = 2\pi r \mu_0 / \lambda_{cp}$ ;  $m = \mu / \mu_0$ , де  $r$  – радіус часток НМС;  $\mu$  і  $\mu_0$  – показники заломлення часток і води відповідно;  $\lambda_{cp}$  – середнє значення довжин хвиль на ділянці лінійної залежності  $\ln \tau$  від  $\ln \lambda$ ). Знаючи  $n$  і  $m$ , по таблицям характеристичних функцій світлорозсіяння знаходять  $\alpha$  і коефіцієнт розсіяння  $k$ . Радіус часток  $r$  та їх концентрацію  $N$  розраховують за формулами:

$$r = \frac{\alpha \cdot \lambda_{cp}}{2 \cdot \pi \cdot \mu_0} \text{ нм} \quad (2.1.1) \quad N = 1.26 \cdot 10^{17} \frac{\tau_{cp}}{(\lambda')^2 \cdot k \cdot \alpha^2}, \text{ см}^{-3} \quad (2.1.2),$$

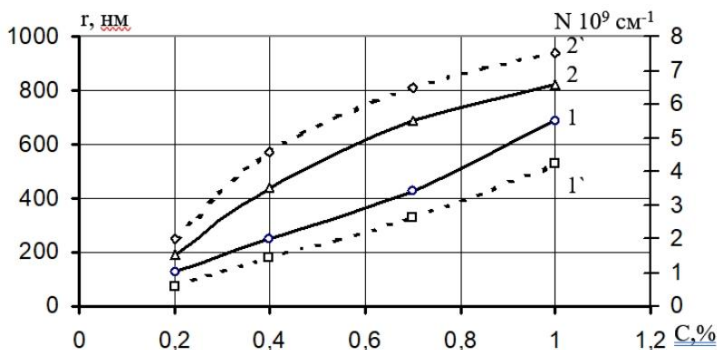
де  $\tau_{cp}$  – середнє значення  $\tau$  на прямолінійній ділянці залежності  $\ln \tau - \ln \lambda$ ;  $\lambda' = \lambda_{cp} / \mu_0$ .

Ми досліджували водні розчини агару з концентрацією 0,2; 0,4; 0,7; 1,0%. Для приготування розчину полісахарид замочували у воді при кімнатній температурі на протязі доби, потім при  $t = 85 \dots 100^\circ\text{C}$  розчиняли. Отримані розчини фільтрували, доводили до необхідної температури, витримували кювету з розчином протягом 30 хвилин для встановлення рівноваги і вимірювали  $D$  при різних  $\lambda$  в фотоелектроколориметрі КФК-1. Частину розчину до термостатування витримували у полі НВЧ потужністю 400 Вт протягом 3 хвилин. За результатами вимірювання  $D$  і розрахунку  $\tau$  будували залежність  $\ln \tau - \ln \lambda$ . Розрахунок  $r$  і  $N$  проводимо за формулами (2.1.1) і (2.1.2).

Рис. 2.1.4 показує вплив концентрації агару на  $r$  і  $N$  НМС. Пунктиром показаний цей вплив після обробки розчинів полем НВЧ. З рисунка видно, що із зростанням концентрації розчину

<sup>22</sup> Кленин В.И., Щеглов С.Ю., Лаврушин В.И. Характеристические функции рассеяния дисперсных систем. Саратов: изд. СГУ, 1977, 176 с.

збільшуються як  $N$  так і  $r$ . Поле ж НВЧ впливає на міжфазовий розподіл макромолекул агару. Розмір вузлів – частинок НМС зменшується, а їх кількість зростає.



**Рис. 2.1.4. Залежність НМС від концентрації структуроутворювача при 20°C 1 –  $r=f(C)$ ; 1' –  $r=f(C)$  після НВЧ; 2 –  $N=f(C)$ ; 2' –  $N=f(C)$  після НВЧ**

Відповідно до теорії структуроутворення<sup>23</sup> при високих температурах молекули полісахаридів знаходяться в розчині у вигляді глобул. По мірі охолодження молекули розправляються, скручуються у спіралі, подвійні спіралі, які групуючись, утворюють частки. Усі фрагменти розчиненої речовини: спіралі, подвійні спіралі і частки беруть участь в побудові структури драглу. Як показано раніше, обробка розчинів агару полем НВЧ зміцнює структуру драглу. Зіставляючи дані дослідження впливу поля НВЧ на міцність, можна зробити висновок про те, що чим більше концентрація часток НМС і менше їх розмір при даній концентрації структуроутворювача, тим більш міцні драгли утворюються.

Нагрівання розчинів у змінному електромагнітному полі зумовлено наявністю полярних молекул, груп атомів, іонів. Змушені коливання цих часток трансформують енергію поля в тепло. У розчинах полісахаридів гідратовані полярні групи атомів, які знаходяться як у іонізованому, так і у неіонізованому станах, можуть частково втрачати свої гідратні оболонки, що значно

<sup>23</sup> Rees D.A. Conformational analysis of polysaccharides // V.I. Chem. Soc. B / 1970. 5. p. 877.

полегшує внутрішньо- та міжмолекулярні взаємодії і конформаційні перетворення макромолекул. Все це повинно збільшити число подвійних спіралей та укріпити фрагменти сітки драглів, що і спостерігається на практиці.

В процесі виготовлення желейних виробів важливим технологічним параметром, який впливає на якість готової продукції, є температура застигання желейної маси та температура плавлення драглів. Для того, щоб желейні вироби зберігали свою форму і мали гарний товарний вигляд, необхідно, щоб температура плавлення желейної маси була якомога вище. Цього можна досягнути збільшивши концентрацію структуроутворювача, що призведе до підвищеного видатку цієї дорогої і дефіцитної сировини.

Оскільки обробка розчинів полісахаридів червоних морських водоростей полем НВЧ призводить до підвищення міцності драглів, то було б доцільним припустити, що така обробка може також змінювати і температури плавлення та застигання. Тому дослідження цих показників представляє практичний інтерес.

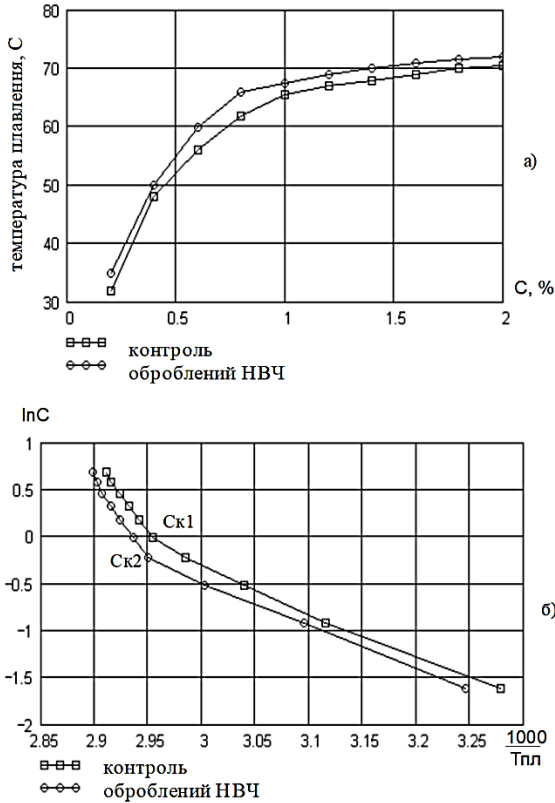
На рисунку 2.1.5 (а) наведено результати дослідження температур плавлення драглів агару необроблених, та оброблених у полі НВЧ залежно від концентрації структуроутворювача. Видно, що обробка розчинів агару полем НВЧ призводить до підвищення температури плавлення драглів у порівнянні з необробленим зразком при тій же концентрації структуроутворювача.

Важливою характеристикою стану структури драглів є середня енергія одиничного вузла зв'язку драглевої сітки, або ентальпія плавлення гелю, що характеризує енергію розпаду вузлів сітки драглів. Взаємозв'язок цієї величини з температурою плавлення драглів описується рівнянням Елдріджа-Феррі:

$$\Delta H = -R \frac{\Delta \ln C}{\Delta T_{пл}^{-1}} \quad (2.1.3)$$

де  $\Delta H$  – енергія розпаду вузла зв'язку,  $R$  – універсальна газова стала,  $C$  – концентрація структуроутворювача,  $T_{пл}$  – температура плавлення драглів даної концентрації.

На рис. 2.1.5 (б) наведені криві залежності  $\ln C$  від  $1000/T_{пл}$ , розраховані за даним, наведеним на рис. 2.1.5 (а).



**Рис. 2.1.5 Залежність температури плавлення драглів агару від концентрації структуроутворювача (а) і залежність  $\ln C$  від зворотної температури плавлення  $T_{пл}$  (б)**

Ці залежності являють собою криві з характерним зломом. Концентрація, при якій спостерігається злам на цих кривих, називається критичною,  $C_k$ , і характеризує, перехід молекулярної структури в понадмолекулярну. Молекулярна структура драглів характеризується неміцними зв'язками. Зв'язки між окремими одиницями такої структури виникають внаслідок взаємодії молекул або подвійних спіралей шляхом водневих зв'язків або при участі води. При концентрації структуроутворювача в розчині вище  $C_k$  в утворенні структури драглів, поряд з окремими подвійними спіралями, беруть участь і їхні агрегати. Структура драглів стає понадмолекулярною і в

утворенні одиничного вузла студневої сітки бере участь вже більше число зв'язків. Видно, що обробка розчинів агару у полі НВЧ призводить до пониження критичної концентрації переходу молекулярної структури гелю у понадмолекулярну ( $C_{K1} > C_{K2}$ ).

За нахилом кривих  $\ln C$  від  $1000/T_{пл}$ , згідно з рівнянням Елдріджа-Феррі (2.1.3), можна розрахувати величину енергії одиничного вузла зв'язку драглевої сітки  $\Delta H$ . Значення  $\Delta H$  занесені в таблицю 2.1.1.

Таблиця 2.1.1

**Дані розрахунку енергії одиничного вузлу зв'язку сітки драглів**

Агар	$\Delta H_1$ , кДж/моль	$\Delta H_2$ , кДж/моль
Контрольний зразок	38	130
Зразок, оброблений у НВЧ полі	40	150

Молекулярна структура драглів характеризується неміцними зв'язками і, як слідство, невеликою величиною ентальпії плавлення гелю ( $\Delta H_1$ ). При концентрації структуроутворювача в розчині вище  $C_K$ , в утворенні структури драглів, поряд з окремими подвійними спіралями, бере участь вже більше число зв'язків, що характеризується більшою величиною ентальпії плавлення ( $\Delta H_2$ ). Видно, що величина  $\Delta H_1$  приблизно однакова як для обробленого розчину так і для необробленого. Однак величина  $\Delta H_2$  для обробленого у НВЧ полі зразка більше, що говорить про утворення більш міцних зв'язків між макромолекулами полісахариду.

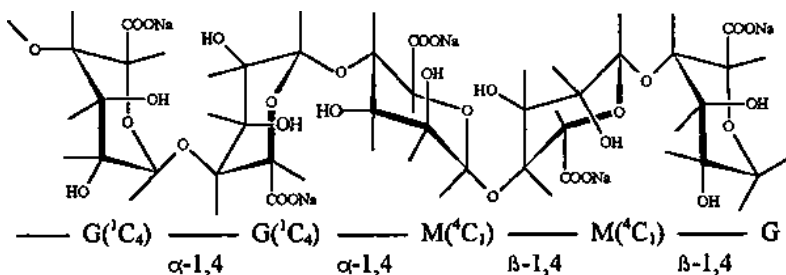
Таким чином, обробка розчинів структуроутворювачів полем НВЧ призводить до зміцнення структури драглів, а завдяки цьому дає можливість зниження видатку структуроутворювача при виробництві желейних виробів і веде до зниження собівартості готових желейних виробів.

**2.2. Вивчення впливу додавання альгінату натрію і хлористого кальцію на властивості драглів сульфатованих полісахаридів червоних морських водоростей**

Одним із способів зниження витрат структуроутворювачів при виробництві желейної продукції, є введення в рецептурну суміш різних добавок, що призводять до підвищення структуроутворюючої

здатності полісахаридів червоних морських водоростей<sup>24,25,26</sup>. Це дозволяє заощадити деяку кількість желуючої сировини без погіршення якості готового продукту.

Альгінова кислота та її солі широко використовуються у народному господарстві. З її солей найбільш часто застосовують альгінат натрію. Альгінат натрію є сіллю альгінової кислоти, що у виді змішаних солей кальцію, магнію та інших металів складає основну частину стінок клітин бурих морських водоростей сімейства ламінарієвих. Хімічна структура альгінату натрію, як і хімічні структури багатьох інших водоростевих полісахаридів, непостійна і залежить від виду водоростей та інших факторів. Структурна формула альгінату натрію має наступний вид:



Макромoleкули побудовані з двох компонентів – залишків L-гулуранової і D-мануранової кислот, що мають лінійну структуру і зв'язаних (1→4) зв'язками, що з'єднують окремі моносахариди. Молекули води, що зв'язують молекули альгінату не показані в даній структурній формулі.

Чисельні токсикологічні дослідження, проведені у світі, підтвердили нешкідливість альгінату натрію і можливість

<sup>24</sup> Перцевой Ф. В., Савгира Ю. А., Фощан А. Л., Гринченко О. А., Пивоваров П. П., Гарнцарек Б. Ч. Технология переработки продуктов питания с использованием модификаторов: монография. Харьков: ХГТУСХ, 1998. 178 с.

<sup>25</sup> Перцевой Ф. В., Фощан А. Л., Савгира Ю. А., Гринченко О. А., Пивоваров П. П. Производство желейной и взбивной продукции с использованием модификаторов: монография. Днепропетровск: Пороги, 2003. 201 с.

<sup>26</sup> Pertsevoy F., Savgira Yu., Foshchan A., Ukrainets A., Garncarek B., Miskiewicz T. Modifying additives in jelly products (Модифікуючі добавки в желейній продукції): монографія (англ. мовою). Київ: Бізнесполіграф, 2005. 260 с.



використання альгінатів як харчової добавки<sup>27</sup>. При цьому були встановлені припустимі для людини дози альгінату натрію, що склали до 50 мг/кг ваги тіла у добу.

Альгінати є ефективними сорбентами. Їх можна використовувати як харчову лікувально-профілактичну добавку<sup>28</sup> для виведення з організму важких металів, радіонуклідів, шлаків і токсинів. Крім того, їх використовують при лікуванні шлунково-кишкових захворювань: хронічних колітів, гастриту, виразкової хвороби дванадцятипалої кишки, хронічного гепатиту; при захворюваннях печінки, підшлункової залози та серцево-судинної системи.

При виготовленні харчових продуктів альгінати застосовуються для зберігання консистенції продукту під час заморожування і відтавання, забезпечують одержання в'язких середовищ, що швидко утворюють гелі, стабілізують систему, додають твердість, зменшують виділення вологи, служать для загущення і стабілізації<sup>29</sup>.

На підставі вищесказаного ми припустили, що введення цього препарату у рецептурну суміш желейних виробів дозволить суттєво змінити структурно-механічні властивості драглів, зміцнити їхню структуру, що призведе до зменшення видатку та економії коштовних драглеутворювачів. Для цього нами було вивчено вплив альгінату натрію та хлористого кальцію на структурно-механічні властивості драглів полісахаридів червоних морських водоростей агару, агароїду, фуццеларану.

Підвищення міцності драглів рівносильне можливості зменшення витрат драглеутворювачів. З органолептичною оцінкою готового продукту пов'язані такі структурно-механічні показники як міцність, пружність, пластичність, еластичність. Характеристика структурно-механічних властивостей продуктів в пружно-пластично-міцнісних показниках дає можливість вирішувати ряд важливих практичних

---

<sup>27</sup> Хотимченко Ю.С., Ковалев В.В., Савченко О.В. Физико-химические свойства, физиологическая активность и применение альгинатов – полисахаридов бурых водорослей // *БИОЛОГИЯ МОРЯ*, 2001, том 27, № 3, с. 151-162

<sup>28</sup> Тутельян, В. А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека: справочное руководство по витаминам и минеральным веществам / В. А. Тутельян, В. Б. Спиричев, Б. П. Суханов – М. : Колос, 2002. – 423 с.

<sup>29</sup> Фошан А.Л., Овсяникова Л.Г., Перцевий Ф.В. Використання альгінату натрію для удосконалення технології кулінарної продукції // *Зб. наук. праць «Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування та економічні проблеми торгівлі» ХДУХТ. Харків, 2003. – С. 456-462.*

завдань: вони з успіхом можуть бути використані для спрямованого керування технологічним процесом отримання виробів із заданими властивостями. Крім того, відомо, що міцність і структура одержаних драглів в значній мірі визначаються природою зв'язків, які об'єднують макромолекули в структурову сітку, а також всілякими конформаційними перетвореннями, здатними надавати студням більш-менш виражені пружно-еластичні або пластично-в'язкі властивості. З цієї точки зору, вивчення впливу добавок, що вводяться, на структурно-механічні властивості драглів має великий теоретичний інтерес.

Нами був обраний такий шлях досліджень, згідно з яким спочатку необхідно було знайти оптимальні концентрації пропонованих добавок і їх співвідношення, що призводять до підвищення структуроутворюючої здатності полісахаридів. За критерій була прийнята механічна міцність драглів. Потім досліджувати вплив добавок у встановлених концентраціях на структурно-механічні властивості драглів, а тим самим на характер зв'язків елементів просторової структури гелю.

Відповідно до прийнятої послідовності вивчення структурно-механічних властивостей сульфатованих полісахаридів, першим етапом дослідження було вивчення міцності драглів агару, фуцеларану і агароїду у присутності альгінату натрію і хлористого кальцію. Концентрація драглеутворювачів була обрана експериментально: агар – 1%, фуцеларан – 2%, агароїд – 4%. При більш низьких концентраціях драглі мали недостатню механічну міцність, і було потрібно тривалий час для структуроутворення, при більш високих концентраціях розчинність полісахаридів погіршувалася, і утворювалися неоднорідні драглі.

Допустимі концентрації добавок, що вводяться: не більше 1% для альгінату натрію і не більше 3% для хлористого кальцію  $\text{CaCl}_2$ <sup>30</sup>.

Приготування розчинів і драглів здійснювалося наступним чином. Певну кількість драглеутворювача заливали необхідною кількістю дистильованої води з температурою 20°C і залишали для набухання на 1,5...2 години. Потім драглеутворювач розчиняли при кип'ятінні на водяній бані в колбах зі зворотним холодильником. Після цього гарячі водні розчини полісахаридів розливали в чашки для застигання, які поміщали в ексікатор над водою, щоб уникнути утворення на поверхні драглу кірки.

---

<sup>30</sup> Нечаев, А. П. Пищевые добавки / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. Н. Зайцев. – М. : Колос, 2001. – 295 с.

Альгінат натрію вводили на стадії набрякання драглеутворювача у вигляді 5%-го розчину, а іони кальцію (у вигляді 2,8%-го розчину  $\text{CaCl}_2$ ) в охолоджений до  $70^\circ\text{C}$  розчин полісахариду, тому що при більш високих температурах спостерігається деструкція молекул і міцність зразків різко падає.

Процес структуроутворення у водних розчинах полісахаридів при  $20^\circ\text{C}$  на 75...85% відбувається в перші 24 години. Тому, з метою отримання порівнянних результатів, драглеутворення зразків проводили в однакових і постійних умовах при температурі  $20^\circ\text{C}$  протягом 24 годин.

Експериментальні дані про вплив добавок альгінату натрію і хлористого кальцію на зміну міцності драглів 1% розчину агару, 2% розчину фуццеларану і 4% розчину агароїду наведені на рис. 2.2.1-2.2.3.

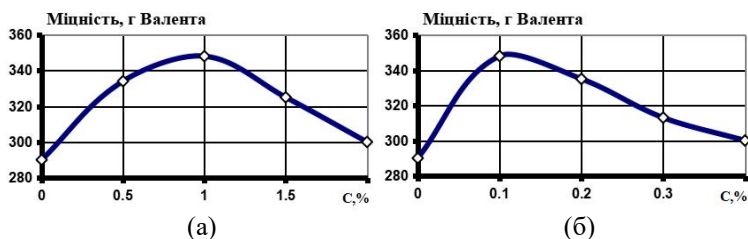


Рис. 2.2.1. Залежність міцності драглів 1% розчину агару від концентрації альгінату натрію (а) та хлористого кальцію (б)

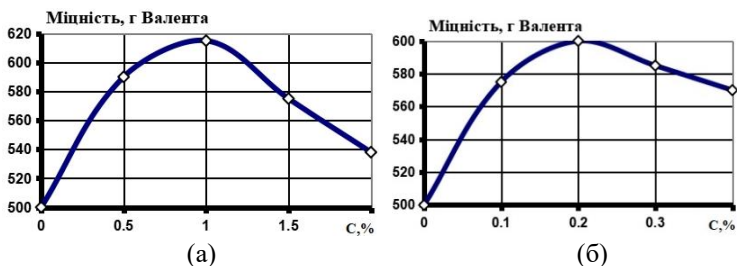
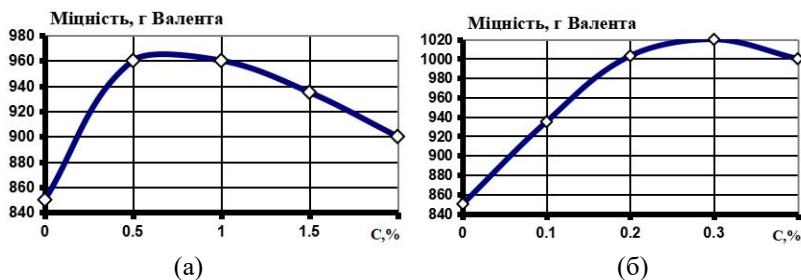


Рис. 2.2.2. Залежність міцності драглів 2% розчину фуццеларану від концентрації альгінату натрію (а) та хлористого кальцію (б)



**Рис. 2.2.3. Залежність міцності драглів 4% розчину агароїду від концентрації альгінату натрію (а) та хлористого кальцію (б)**

З графіків видно, що дія добавок на міцність драглів сульфатованих полісахаридів залежить від концентрації добавки і природи драглеутворювача. Концентрацією, при якій спостерігається максимальне зміцнення системи, є 0,5...1% альгінату натрію. При цьому міцність системи збільшується на 15% для агару, 17% для фурцеларану і 18% для агароїду у порівнянні з контрольним зразком. При введенні хлористого кальцію концентрацією 0,08...0,1%, (що відповідає 0,03...0,04% іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ) для агару, 0,18...0,20% (або 0,06...0,07%  $\text{Ca}^{2+}$ ) для фурцеларану і 0,2...0,22% (або 0,07...0,08%  $\text{Ca}^{2+}$ ) для агароїду, міцність драглів цих полісахаридів збільшується на 17, 20 і 25 %, відповідно.

Збільшення міцності при введенні в систему альгінату натрію пов'язано, ймовірно, з тим, що незначні кількості альгінату натрію в розчинах полісахаридів призводять до конформаційних змін макромолекул драглеутворювача, в результаті яких утворюється більш міцна тривимірна сітка драглу.

Відомі три основних типи структур, які виникають в результаті структуроутворення двох високомолекулярних компонентів<sup>31</sup>. Аналіз цих типів структур показав, що драгли які утворюють сульфатовані полісахариди спільно з альгінатом натрію відносяться до типу систем, в яких структури полімерів різних інгредієнтів не перемішуються. Це призводить до скупчення молекул альгінату натрію в сітці структуроутворювача. Наслідком цього може служити

<sup>31</sup> Перцевой Ф. В. Технология желейной продукции перерабатывающей отрасли с модифицирующими добавками: монография / Ф. В. Перцевой, Б. Ч. Гарнцарек, В. А. Кузнецов, Ю. А. Савгира; АО «Экспересс-агро», ХГАТОП, ХТУСХ. – Х., 1996.

посилення міжмолекулярної взаємодії драглеутворювача при певних концентраціях другого компонента з відповідним зростанням міцності драглу. Подальше збільшення концентрації солі альгінової кислоти викликає часткове висолювання драглеутворювача. В результаті знижується величина заряду молекул полісахариду. Зниження заряду молекул нижче оптимального значення призводить до переважання сил молекулярного тяжіння над силами електростатичного відштовхування. В результаті утворюються пухкі, і як наслідок, неміцні драгли.

З рис. 2.2.1-2.2.3 (б) видно, що підвищення міцності драглів спостерігається вже при введенні невеликої кількості хлористого кальцію. Максимальна міцність спостерігалася для 1% драглів агару при 0,08...0,1%  $\text{CaCl}_2$ , (що відповідає 0,03...0,04% іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ), для 2% драглів фуццеларану при 0,18...0,20%  $\text{CaCl}_2$  (0,06...0,07%  $\text{Ca}^{2+}$ ), для 4% драглів агароїду при 0,2...0,22%  $\text{CaCl}_2$  (0,07...0,08%  $\text{Ca}^{2+}$ ). Подальше підвищення концентрації хлорного заліза призводить до поступового зниження міцності драглів.

Концентрація іонів кальцію, при якій спостерігається максимальна міцність драглів, збільшується від агару до фуццеларану, а від нього до агароїду. Аналогічним чином змінюється зміст в полісахаридах сульфатних груп  $\text{SO}_3\text{M}$  (M-іон металу), здатних дисоціювати у воді з утворенням високомолекулярних поліаніонів. Іони кальцію, додані до розчинів полісахаридів, зменшують заряд їх молекул, екрануючи заряд аніонів, і тим самим зменшують сили відштовхування між молекулами. Що призводить до утворення більш міцних драглів. Видно, що добавки хлористого кальцію найбільш ефективно діють на полісахариди які мають меншу структуроутворюючу здатність.

Драгли розглянутих полісахаридів, що містять в якості добавки хлористий кальцій, мають більшу міцність у порівнянні з драглями, що містять альгінат натрію. Пояснюється це, ймовірно, тим, що іони кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  поряд з простим екрануванням заряду сульфатних груп здатні утворювати мостичні зв'язки іонного типу, що зв'язують полімерні ланцюги полісахариду.

При спільному введенні у розчини полісахаридів розглянутих добавок міцність отриманих драглів значно вище, ніж міцність зразків, що мають тільки одну добавку. Так, міцність 1%-го розчину агару на 25% вище міцності контрольного зразку, міцність 2% -го розчину фуццеларану на 30%, міцність 4%-го розчину агароїду на 44% відповідно (рис. 2.2.5).

На рис. 2.2.4 наведені графіки кривих рівних значень міцності драглів агару, фуццеларану та агароїду в залежності від концентрації добавок, що вводяться. Ці криві побудовані шляхом математичної обробки експериментальних даних, отриманих за приладом Валента (табл. 2.2.1), за допомогою ЕОМ.

Механічні властивості драглів грають важливу роль не тільки при їх виробництві, а й при споживанні. Продукт піддається різним типам деформацій і руйнувань (стиснення, розтягнення, зріз), які діють у комбінації або окремо. Тому, становить практичний інтерес вивчення впливу добавок що вводяться на такі характеристики драглів як пружність, пластичність, еластичність. Драгли полісахаридів червоних морських водоростей агару, агароїду, фуццеларану, містять у своїй структурі значну кількість агрегатів молекулярних спіралей, та у більшій мірі проявляють пружно-еластичні властивості (табл. 2.2.2). Пластичні властивості розвинені слабше, при перевищенні граничної напруги зсуву система руйнується.

Таблиця 2.2.1

**Міцність драглів полісахаридів (г по Валента)  
від концентрації добавок**

Концентрація хлористого кальцію, %	Концентрація альгінату натрію, %			
	0	0,5	1,0	1,5
	<b>1% агар</b>			
0	290	334	348	320
0,1	348	360	363	325
0,2	333	336	330	313
0,3	313	307	300	260
	<b>2% фуццеларан</b>			
0	500	590	615	570
0,1	575	625	650	600
0,2	600	650	660	555
0,3	585	600	610	530
	<b>4% агароїд</b>			
0	850	960	960	935
0,1	935	1088	1012	945
0,2	1003	1224	1063	940
0,3	1020	1037	1020	918

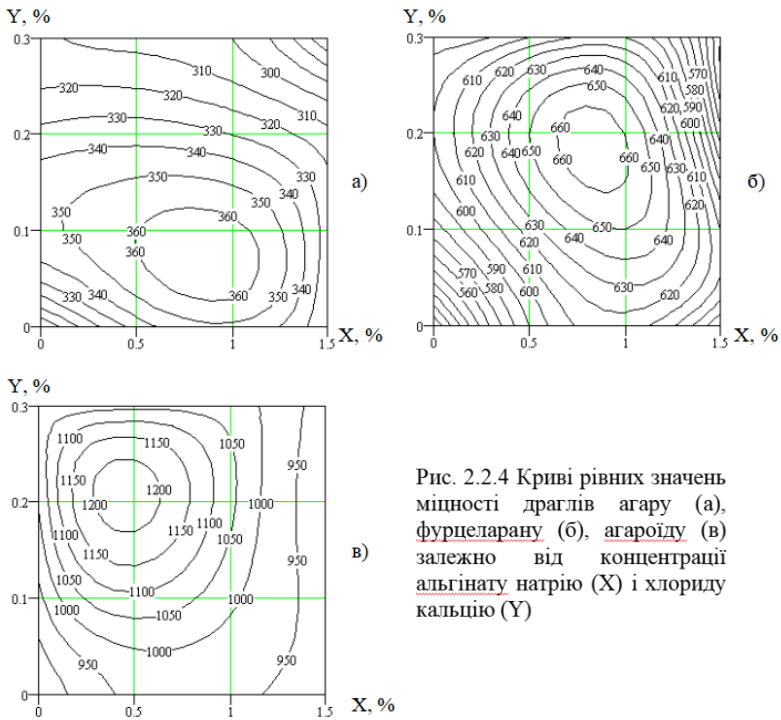


Рис. 2.2.4 Криві рівних значень міцності драглів агару (а), фурцеларану (б), агароїду (в) залежно від концентрації альгінату натрію (X) і хлориду кальцію (Y)

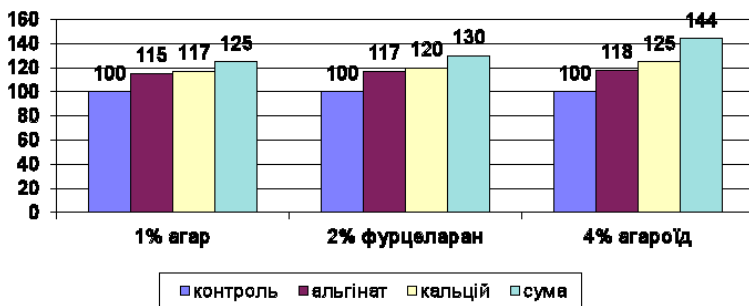


Рис. 2.2.5. Відносна міцність драглів (%) залежно від добавки що вводиться

Таблиця 2.2.2

**Реологічні характеристики драглів полісахаридів  
червоних морських водоростей у присутності добавок  
альгінату натрію (АН) і хлористого кальцію (ХК)**

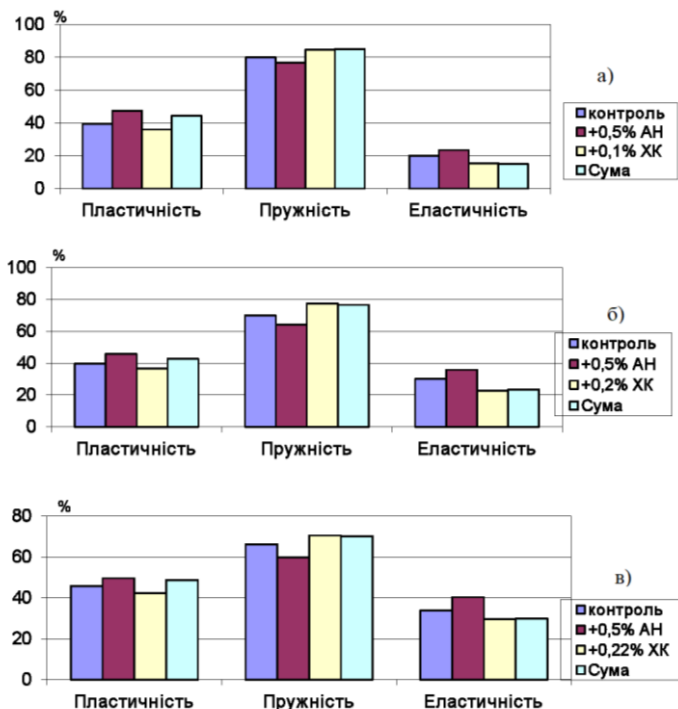
Найменування драглеутворювача і концентрація добавок	Деформація, $10^{-2}$			Пластичність	Пружність	Еластичність
	$\epsilon_0$	$\epsilon_m$	$\epsilon_{ост}$			
				Пл, %	Пр, %	Ел, %
1% агар	3,80	4,75	1,86	39,2	80,0	20,0
-//- + 0,5% АН	3,77	4,92	2,33	47,4	76,6	23,4
-//- + 0,1% ХК	4,05	4,79	1,72	35,9	84,6	15,4
-//-+0,5% АН+0,1% ХК	4,12	4,85	2,15	44,3	85,0	15,0
2% фуцеларан	9,22	13,20	5,22	39,6	69,9	30,1
-//- + 0,5% АН	9,56	14,90	6,82	45,8	64,2	35,8
-//- + 0,2% ХК	10,05	13,00	4,77	36,7	77,3	22,7
-//- +0,5% АН+ 0,2% ХК	9,88	12,90	5,51	42,7	76,6	23,4
4% агароїд	2,86	4,32	1,98	45,8	66,2	33,8
-//- + 0,5% АН	2,78	4,66	2,31	49,6	59,7	40,3
-//- + 0,22% ХК	2,98	4,23	1,79	42,3	70,5	29,5
-//-+0,5% АН+0,22% ХК	2,95	4,21	2,05	48,7	70,1	29,9

Введення хлористого кальцію у розчини полісахаридів призводить до збільшення пружності і зниження еластичності їх драглів. Це, ймовірно, викликано тим, що іони кальцію здатні утворювати міжмолекулярні зв'язки іонного типу, що зв'язують полімерні ланцюги. Утворення таких зв'язків збільшує жорсткість полімерних ланцюгів, що виражається у зниженні еластичності і збільшенні пружності драглів. Пластичність системи дещо знижується (рис. 2.2.6).

Добавка альгінату натрію призводить до значного збільшення пластичності драглів полісахаридів.

Спільне введення альгінату натрію і  $\text{CaCl}_2$  збільшує як пружність, так і пластичність системи, але при цьому знижується еластичність. Таким чином, драглі розглянутих полісахаридів, в які було введено альгінат натрію і хлористий кальцій, поряд з пружно-еластичними володіють і пластичними властивостями, а значить і здатність до відновлення.





**Рис. 2.2.6. Реологічні характеристики драглів полісахаридів червоних морських водоростей: а) 1% агару, б) 2% фуцеларану, в) 4% агароїду у присутності добавок альгінату натрію (АН) і хлористого кальцію (ХК)**

Таким чином, проведені нами дослідження дозволили встановити залежності міцності драглів агару, фуцеларану, агароїду за різних масових концентрацій альгінату натрію та хлористого кальцію. Визначено, що комбінуючи масові частки цих компонентів, можна змінювати пружно-пластично-еластичні властивості драглів, а також варіювати їх міцність у межах 360-1020 г, що надасть можливість отримувати драглі із заздалегідь відомими структурно-механічними характеристиками<sup>32</sup>.

<sup>32</sup> Управление процессом студнеобразования при производстве желейной продукции / Фошан А.Л. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 2 (8), 2004.– с. 38-42.

### **3. Технології желевної продукції із зниженим вмістом структуроутворюючої сировини**

На підставі одержаних нами результатів реалізації наукової концепції, що шляхом додавання різноманітних низькомолекулярних домішок, комбінуванням структуроутворювачів різної природи та впливом зовнішнього електромагнітного поля можна керувати процесами драглеутворення і, таким чином, забезпечити належну якість желевної продукції, при зниженні витрат структуроутворюючої сировини, було розроблено, апробовано та впроваджено у виробництво технології жележних виробів, таких як: торти «Шоколадно-зефірний», «Шоколадно-желейний».

#### **3.1. Технологія виробництва торта «Шоколадно-желейний» із застосуванням поля НВЧ**

За прототип було взято традиційну рецептуру торта «Шоколадно-желейний»<sup>33</sup>, який представляє собою глазурований шоколадною глазур'ю корпус, що складається з двох зовнішніх жележних шарів і внутрішнього шару зі збивної маси.

Основною сировиною для виготовлення торта є цукор білий, агар харчовий, пюре яблучне; білки яєчні, барвники, ароматизатори харчові, кислоти лимонна харчова, ванілін, шоколадна глазур, патока крохмальна, есенції.

Згідно з традиційною рецептурою і з урахуванням отриманих результатів нами розроблено рецептуру на торт «Шоколадно-желейний» зі зменшеною кількістю драглеутворювача, яка наведена у таблиці 3.1. Відмінність нової рецептури від традиційної полягає у скороченні витрат агару на 40%.

На підставі проведених досліджень із відпрацювання нової рецептури було удосконалено технологію і розроблено технологічну схему виробництва торта «Шоколадно-желейний» (рис. 3.1). Технологія виробництва торта «Шоколадно-желейний» складається з наступних операцій: підготовка сировини; приготування агаро-цукрово-патокового сиропу для нижнього і верхнього шарів; приготування збивної маси для середнього шару; розливання сиропу в форми і його драглеутворення; сушка корпусів; глазурування шоколадною глазур'ю і охолодження тортів; упаковка; маркування; транспортування і зберігання.

Корпус торта «Шоколадно-желейний» на агарі складається з трьох шарів: нижній і верхній – жележні, що мають різне забарвлення, а середній – збивний шар – білий. Жележні шари

---

<sup>33</sup> Павлов А.В. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания. – СПб: Гидрометеоздат, 1998., 286 с.

залежно від смаку і забарвлення ароматизують різними есенціями: малиною або полуничною (червоний колір), апельсиною або мандариною (помаранчевий колір), лимонною або абрикосовою (жовтий колір), грушевою або ананасовою (зелений колір), чорносмородиновою або вишневою (ліловий колір), яблучною або ванільною (білий колір).

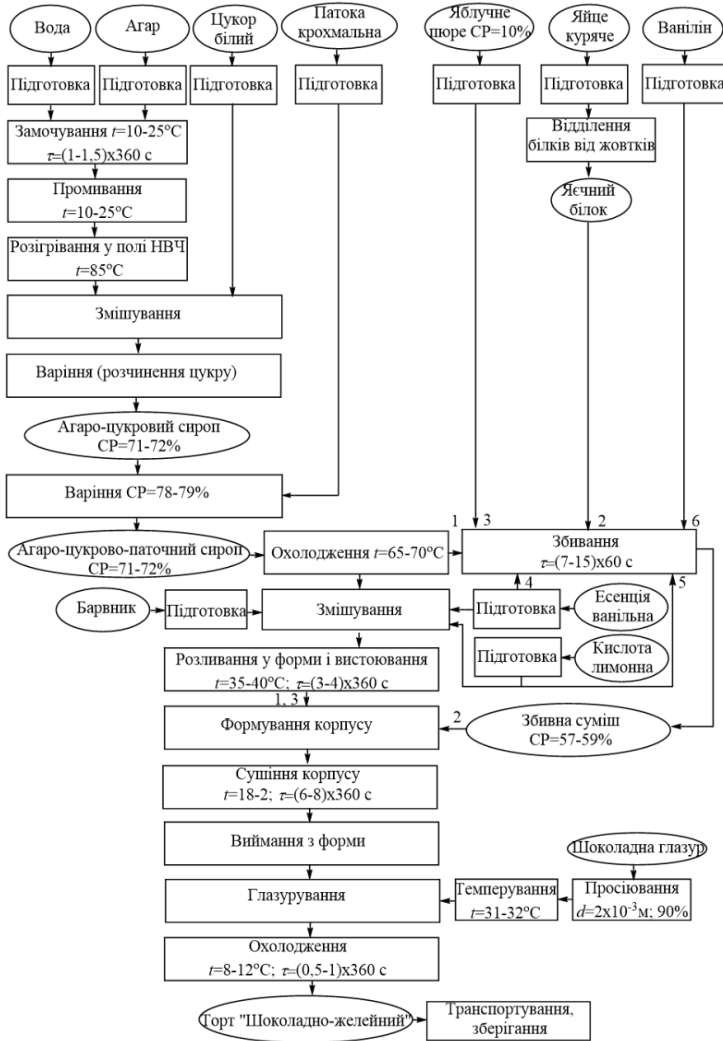
Таблиця 3.1

**Рецептура торта «Шоколадно-желейний»  
зі зменшеною кількістю драглеутворювача**

Найменування сировини	Масова частка сухих речовин, %	Витрати сировини, кг			
		на 1000 кг напівфабрикату		на 1000 кг готової продукції	
		у натурі	у сухих речовинах	у натурі	у сухих речовинах
Шоколадна глазур	99,10	302,75	300,03	306,40	303,60
Цукор-пісок	99,85	440,20	439,54	445,48	444,81
Патока	78,00	142,58	111,21	144,30	112,55
Пюре яблучне	10,00	26,01	2,60	26,17	2,62
Агар	85,00	6,12	5,20	5,22	4,44
Кислота лимонна	91,20	6,89	6,28	6,29	5,74
Есенція ванільна	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00
Есенції різні	0,00	0,23	0,00	0,23	0,00
Барвники різні	0,00	0,74	0,00	0,74	0,00
Всього:	□	952,82	864,86	935,13	873,76
Вихід:	81,60	1000,00	816,00	1000,00	816,00

Технологія виготовлення торта полягає у наступному. Агар замочують у воді в мішечках з тканини і промивають в проточній воді. Після цього додають розрахункову кількість води і розігрівають в НВЧ-полі. До розчину агару додають цукор-пісок. Нагрівають і постійно перемішують до розчинення цукру. Потім додають патоку, не припиняючи прогрівання і перемішування. Одержаний агаро-цукрово-патоковий сироп охолоджують до 60...65 °С і частину його відбирають для одержання збивного (середнього) шару корпусу торта. У частину, що залишилася, додають барвник, лимонну кислоту, есенцію і розливають у форми (нижній шар). На нього після застигання розливають білий збивний шар. Після

структурування середнього шару розливають желейний верхній шар і форми з корпусами витримують за температури 18...21°C протягом 6–8 годин для зміцнення пластів корпусів.



**Рис. 3.1. Технологічна схема виробництва торта «Шоколадно-желейний» зі зменшеною кількістю драглеутворювача**

Просушені корпуси глазурують шоколадною глазур'ю. Останню темперують за температури 31...32°C. Після глазурування торт охолоджують до 8...12°C протягом 30–60 хвилин. Готові вироби упаковують і маркують.

Відмінність запропонованої технології полягає у застосуванні поля-НВЧ під час приготування агаро-цукрово-патокового сиропу для розчинення набряклого агару, що дозволяє зменшити рецептурну кількість драглеутворювача і знизити собівартість продукту.

Застосування поля НВЧ передбачає незначні зміни у апаратурному оформленні технологічного процесу. Параметри технологічного процесу не відрізняються від традиційних, тому нова технологія може бути впроваджена у виробництво без ускладнень.

Проведена органолептична оцінка зразків торта «Шоколадно-желейний» показала їх повну відповідність вимогам нормативної документації на даний вид продукції.

Таким чином, використання поля НВЧ під час приготування агаро-цукро-патокового сиропу для розчинення агару в технології торта «Шоколадно-желейний» дозволяє зменшити рецептурну кількість агару на 40% та одержати вироби з високими показниками якості.

### **3.2 Технологія виробництва торта «Шоколадно-зефірний» із застосуванням альгінату натрію і хлористого кальцію**

Процес виробництва торта «Шоколадно-зефірний» складається з наступних операцій: підготовка сировини; замочування і промивання агару; приготування агаро-патокового сиропу; приготування яблучно-цукрової суміші; приготування зефірної маси; розливання зефірної маси в форми і вистоювання; глазурування шоколадною глазур'ю і охолодження; пакування; маркування; транспортування і зберігання.

Для приготування торта «Шоколадно-зефірний» основною сировиною є: цукор білий, шоколадна глазур, пюре яблучне, патока крохмальна, білок яєчний, агар, лимонна кислота, есенція ванільна.

У рецептурі торта дозування драглеутворювача агару становить 6 кг/1000 кг готових виробів. Для зменшення витрати драглеутворювача в рецептурному складі нами запропоновано частково замінити агар на натрій альгінат. Під час проведення комплексу експериментальних досліджень було встановлено, що використання модельної системи: «вода – агар – натрій альгінат – кальцій хлорид» призводить до зміцнення структури драглів.

Із урахуванням отриманих результатів нами розроблено рецептуру торта «Шоколадно-зефірний» на основі комплексного драглеутворювача, яка наведена у таблиці 3.2.

Відмінність нової рецептури полягає у скороченні витрат агару до 50%, використанні комплексного драглеутворювача агар – натрій альгінат – кальцій хлорид, що дозволяє одержати вироби високої якості належної міцності. Технологічну схему виробництва нових виробів наведено на рисунку 3.2.

Приготування торта за даною технологією передбачає підготовку натрій альгіанату реалізацією операції замочування. Відмінність запропонованої технології полягає у додаванні набряклого натрій альгіанату на стадії приготування агаро-цукрово-патокового сиропу. Послідовність операцій технологічного процесу приготування торта залишили без змін. Це надасть можливість досить швидко впровадити запропоновану технологію на будь-якому кондитерському виробництві.

Проведена органолептична оцінка зразків торта «Шоколадно-зефірний» показала їх повну відповідність вимогам нормативної документації на даний вид продукції.

Таблиця 3.2

**Рецептура торта «Шоколадно-зефірний» на основі комплексного драглеутворювача**

Найменування компонентів	Масова частка сухих речовин, %	Витрати сировини, кг			
		на 1000 кг напівфабрикату		на 1000 кг готової продукції	
		у натурі	у сухих	у натурі	у сухих
Шоколадна глазур	99,10	353,48	353,30	358,30	355,10
Цукор-білий	99,85	432,40	431,75	438,37	437,71
Патока крохмальна	78,00	90,59	70,66	91,84	71,64
Поре яблучне	10,00	236,36	23,64	239,86	23,99
Блок яечний	12,00	42,18	5,06	42,50	5,10
Агар	85,00	3,00	2,55	3,02	2,57
Натрій альгінат	85,00	3,00	2,55	3,02	2,57
Кальцій хлорид	96,00	0,29	0,28	0,30	0,30
Кислота лимонна	91,20	5,00	4,56	5,01	4,57
Есенція ванільна	0,00	0,65	0,00	0,65	0,00
Взагалі	□	1166,95	894,35	1182,87	903,55
Вихід	86,68	1000,00	866,80	1000,00	866,80

Таким чином, використання комплексного драглеутворювача агар – натрій альгінат – кальцій хлорид у технології торта «Шоколадно-зефірний» дозволяє зменшити рецептурну кількість агару на 50% та одержати вироби з високими показниками якості. Крім того, використання комплексного драглеутворювача дозволяє

знизити собівартість продукції за рахунок зниження вартості драглеутворювача.

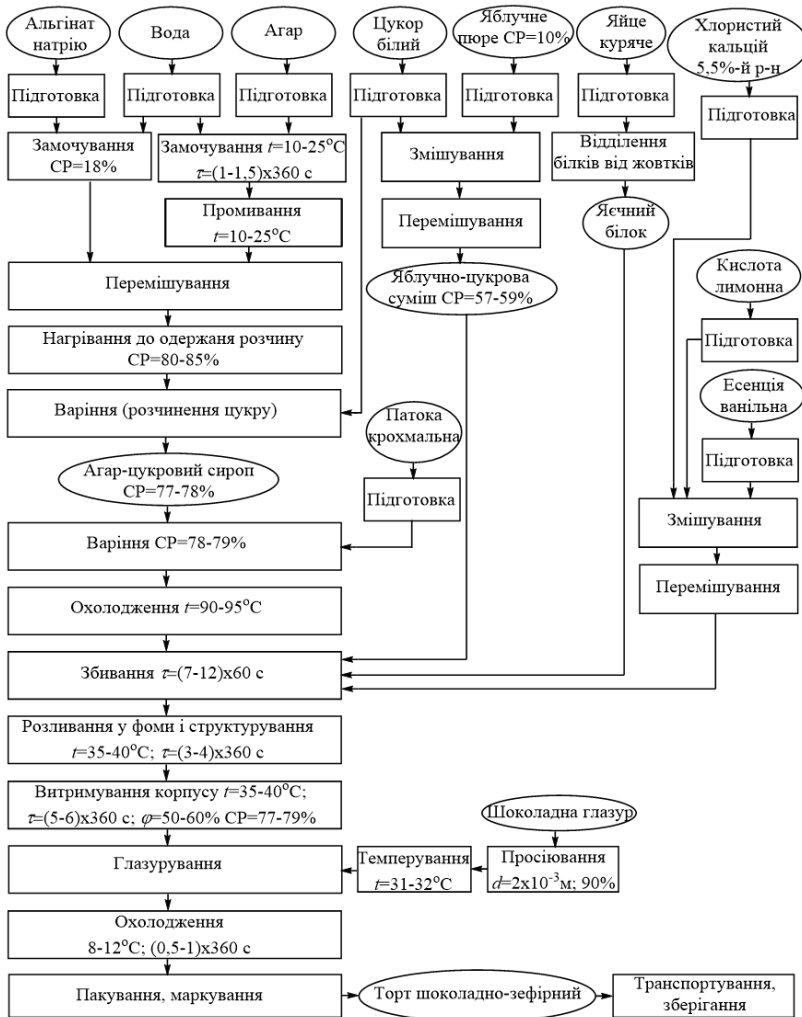


Рис. 3.2. Технологічна схема виробництва торта «Шоколадно-зефірний» на основі комплексного драглеутворювача

## ВИСНОВКИ

Доведено, що наукове обґрунтування, розробка та впровадження науково-прикладного напряму корегування процесом драглеутворення шляхом впливу різноманітними низькомолекулярними домішками, комбінуванням драглеутворювачів та дією зовнішніх електромагнітних полів, дозволяє ефективно використовувати ресурсний та технологічний потенціал структуроутворювачів різного походження, створювати нові інноваційні та конкурентоспроможні технології желейних виробів, збагачених фізіологічно-функціональними інгредієнтами, покращеної якості з високими споживними властивостями та подовженими термінами зберігання.

Теоретичним моделюванням водневих зв'язків усередині спіралей структуроутворювача, та між макромолекулами різних структуроутворювачів, визначено механізм стабілізації молекул у водному середовищі, який полягає в утворенні стійких водневих зв'язків між -NH групами ланцюгів одної молекули та атомами кисню іншої. Квантово-хімічними розрахунками виявлено утворення двох видів водневих зв'язків: сильних (H...NH, OH...H), та слабких (CH-OH), що дає основний внесок у високу динамічну стійкість агрегатів у водних розчинах.

Обґрунтовано молекулярно-динамічне моделювання процесу утворення структур у водних розчинах желатину та полісахаридів. Обрано потенціали активних груп макромолекул, які дозволили повністю відтворити структуру силових взаємодій у розчинах. Доведено, що стабільність молекул у відповідному розчині досягається через утворення до 20 сильних та 20...30 слабких водневих зв'язків на кожні 9 нм довжини макромолекули.

Виявлено, що обробка розчинів структуроутворювачів полем надвисоких частот призводить до зміцнення структури драглів полісахаридів червоних морських водоростей. Визначені режими обробки, що призводять до найкращого ефекту структурування. Розроблено спосіб підвищення міцності драглів сульфатованих полісахаридів і спосіб виробництва желейного торта із зменшеною на 40% витратою структуроутворювача.

Встановлено залежності міцності драглів агару, фурцеларану, агароїду за різних масових концентрацій альгінату натрію та хлористого кальцію. Визначено, що комбінацією масових долей цих компонентів можна варіювати міцністю драглів у межах 360...1020 г, в залежності від мети. Для практичного використання складено



номограми міцності драглів із полісахаридів червоних морських водоростей, які виступають у якості підґрунтя при розробці технологій желевної продукції.

## **АНОТАЦІЯ**

Метою наших досліджень було наукове обґрунтування ресурсозберігаючих технологій желевної продукції, шляхом розроблення та аналізу теоретичних та емпіричних моделей процесів драглеутворення структуроутворювачами різного природного походження, під впливом домішок та зовнішніх силових полів.

Для досягнення поставленої мети нами були вирішені такі завдання:

- вивчено властивості розчинів та драглів полісахаридів червоних морських водоростей, а також вплив різних хімічних домішок і фізичних полів на зміну цих властивостей;

- за допомогою методів молекулярно-динамічного моделювання отримано теоретичну модель процесу утворення структур у водних розчинах структуроутворювачів різного природного походження;

- вивчено вплив дії поля надвисокої частоти на розчини структуроутворювачів з метою подальшого цілеспрямованого впливання на функціональні властивості желейних виробів (таких, як підвищення швидкості структуроутворення, збільшення міцності і температури плавлення, зміна в'язкості та ін.);

- обґрунтовано та експериментально підтверджено технологічні умови використання комплексних структуроутворювачів з метою отримання желейних виробів із задалегідь відомими властивостями;

- розроблені і науково обґрунтувати нові технології виробництва желевної продукції, що дозволяють зменшити витрати структуроутворювачів різного природного походження.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Tolstoguzov V. B. Ingredient interactions in complex foods: aggregation and phase separation. In Understanding and controlling the microstructure of complex foods / McClements, D. J. (ed.). Woodhead Publishing, Cambridge. 2007. P. 185–206.

2. Дорохович, А. М. Використання гідроколоїдів у кондитерському виробництві / А. М. Дорохович, В. І. Оболкіна, О. О. Кохан, С. Г. Кияниця // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України.– 2005. – № 2. – С. 9-11.

3. Пивоваров П.П., Пивоваров Е.П., Кондратюк Н.В. Перспективы использования агаро-пектиновой смеси в технологии желе // Новое в технике и технологии пищевых производств. – 2013. – № 2. – С. 142-148.

4. Pertsevoy F., Foshchan A., Garncarek B., Miskiewicz T. *Modifying additives in jelly products*, Publishing house of National University of Food Technologies, Kiev, 2005, 260 pp.

5. Юргачова К.Г., Банова С.І. Удосконалення технології збивних кондитерських мас // Наукові праці ОДАХТ. – 2001. – № 22. – С. 8 – 11.

6. Євлаш В. В., Кузнецова Т. О., Артамонова М. В., та інші. Розробка науково обґрунтованих технологій продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження // Наукові праці Національного університету харчових технологій. Київ, 2017. Т. 23, № 5. С. 115–123.

7. Rees D.A., Welsh E.J. (1977), Secondary and tertiary structure of polysaccharides in solution and gels, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 15, pp. 214-224.

8. Fiber, E. G., Franks, F., Phillips, M. C. & Suggest, A., Gel formation from solutions of single chain gelatin. *Biopolymers*, 14(10), (1975) 1995-2005

9. Phillips G.O., Williams P.A. (2009), *Handbook of Hydrocolloids*, 2<sup>nd</sup> edition, Woodhead Publishing, Cambridge.

10. Bhattacharjee A., Bansal M. (2005), Collagen Structure: The Madras Triple Helix and the Current Scenario, *IUBMB Life*, 57, pp. 161-172.

11. Haile J.M. (1992), *Molecular dynamics simulation. Elementary methods*, New York, Wiley.

12. Балеску Р. (1978), *Равновесная и неравновесная статистическая механика, в 2-х т.*, М., Мир.

13. Калугин О. Н., Вовчинский И. С., Фощан А. Л., Губский С.М., Евлаш В.В. Методы молекулярного моделирования как инструмент для исследования пищевых гелей // Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія. Харків: ХДУХТ, 2015. С. 50–101.

14. Lyssenko K.A., et all (2006), Water Clusters in Crystal: Beyond the “Hydrogen-Bonding Graphs”, *ChemPhysChem*, 7, pp. 2453-2455.

15. <http://www.gromacs.org/>

16. Arnott S., Fulmer A., Scott W.E., Dea I.C., Moorhouse R., Rees D.A. (1974), The agarose double helix and its function in agarose gel structure, *J.Mol.Biol.*, 90, pp. 269-284.

17. Grabowski S.J. What Is the Hydrogen Bonding? *Chem. Rev.* 2011, 111, 2597– 2625.

18. Бейдер Р. (2001), Атомы в молекулах. Квантовая теория. Мир, Москва.

19. Фощан А. Л. Деякі аспекти процесу структуроутворення у розчинах драглеутворювачів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць ХДУХТ. Харків, 2005. Вип. 1. С. 343–348.

20. Лурье И. С. Технохимический и микробиологический контроль в кондитерском производстве: Справочник. / И. С. Лурье, Л. Е. Скокан, А. П. Цитович – М. : Колос, 2003. – 416 с.

21. Спосіб підвищення міцності драглів сульфатованих полісахаридів: Деклараційний патент на винахід № 33283 А Україна: А23L1/05 / Холод Т. В., Фощан А. Л., Перцевий Ф. В., Савгіра Ю. О.; заявл. 08.02.99; опубл. 15.02.01. Бюл. № 1.

22. Кленин В.И., Щеглов С.Ю., Лаврушин В.И. Характеристические функции рассеяния дисперсных систем. Саратов: изд. СГУ, 1977, 176 с.

23. Rees D.A. Conformational analysis of polysaccharides // *V.I. Chem. Soc. B/* 1970. 5. p. 877.

24. Перцевой Ф. В., Савгіра Ю. А., Фощан А. Л., Гринченко О. А., Пивоваров П. П., Гарнцарек Б. Ч. Технология переработки продуктов питания с использованием модификаторов: монография. Харьков: ХГТУСХ, 1998. 178 с.

25. Перцевой Ф. В., Фощан А. Л., Савгіра Ю. А., Гринченко О. А., Пивоваров П. П. Производство желейной и взбивной продукции с использованием модификаторов: монография. Днепропетровск: Пороги, 2003. 201 с.

26. Pertsevov F., Savgira Yu., Foshchan A., Ukrainets A., Garncarek B., Miskiewicz T. Modifying additives in jelly products (Модифікуючі добавки в желейній продукції): монографія (англ. мовою). Київ: Бізнесполіграф, 2005. 260 с.

27. Хотимченко Ю.С., Ковалев В.В., Савченко О.В. Физико-химические свойства, физиологическая активность и применение альгинатов – полисахаридов бурых водорослей // *БИОЛОГИЯ МОРЯ*, 2001, том 27, № 3, с. 151-162

28.Тутельян, В. А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека: справочное руководство по витаминам и минеральным веществам / В. А. Тутельян, В. Б. Спиричев, Б. П. Суханов – М. : Колос, 2002. – 423 с.

29.Фощан А.Л., Овсяникова Л.Г., Перцевий Ф.В. Використання альгінату натрію для удосконалення технології кулінарної продукції // Зб. наук. праць «Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування та економічні проблеми торгівлі» ХДУХТ. Харків, 2003. – С.456-462.

30.Нечаев, А. П. Пищевые добавки / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. Н. Зайцев. – М.: Колос, 2001. – 295 с.

31.Перцевой Ф. В. Технология желейной продукции перерабатывающей отрасли с модифицирующими добавками: монография / Ф. В. Перцевой, Б. Ч. Гарнцарек, В. А. Кузнецов, Ю. А. Савгира; АО «Экспересс-агро», ХГАТОП, ХТУСХ. – Х., 1996.

32.Управление процессом студнеобразования при производстве желейной продукции / Фощан А.Л. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, №2 (8), 2004.– с. 38-42.

33.Павлов А.В. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания. – СПб: Гидрометеиздат, 1998., 286с.

**Information about the author:**

**Foshchan Andriy Leontiiovich,**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Professor at the Department of Food Technologies  
in the Restaurant Industry  
State Biotechnological University  
44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine