

УДК 616.3:615.24

**ВИВЧЕННЯ СПОСОБІВ ОДЕРЖАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КАРАГІНАНУ
(ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ Е 407)****Морозова Л. П.**, к.х.н., старший викладач

Кафедри технології розведення, виробництва та переробки продукції дрібних тварин

<https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-13>

Предмет. Карагінан (Е 407) являє собою природний загусник, хороший вологозв'язуючий, стабілізує та желуючий агент, що отримується з певних видів червоних водоростей (класу Rhodophyceae). Найбільш відомою водорістю, яка використовується для виробництва карагінану, є *Chondrus crispus* – темно-червона рослина, що нагадує петрушку, що росте на скелях в океані на глибині до трьох метрів біля узбережжя Філіппінських островів, Канади, США, Франції. При промисловому виробництві водорості екстрагують водою при високих температурах, в результаті чого отримують сипучий порошок білого кольору, розчинний у воді. Карагінан (інакше його називають «ірландський мох») має гетерогенну структуру. Процес виробництва харчової добавки Е407 полягає в обробці вихідного матеріалу гарячим лужним розчином, відділенні целюлози, подальшому випаровуванню води, висушуванню та подрібненню отриманого кінцевого продукту. У процесі перероблення червоні водорості різних видів є джерелом отримання різноманітних видів карагінанів. Тому карагінани можуть мати різні варіації, що відрізняються за хімічним складом та властивостями. Добавка Е407 належить до класу добавок натурального (природного) походження. Допустиме добове споживання її обмежено до 20 мг/кг ваги тіла на день. Це пов'язано з можливим несприятливим впливом карагінану на шлунково-кишковий тракт. Крім того, зменшується всмоктуваність різних харчових речовин у кишково-кишковому тракту. **Мета.** Аналіз даних літературних джерел, які присвячені хімічним властивостям, методам одержання, науковим дослідженням щодо використання харчової добавки карагінану (Е407) в харчовій промисловості. **Методи.** Аналітичні методи досліджень. **Результати.** Проаналізовано та узагальнено літературні дані щодо хімічних властивостей, методів добування та використання харчової добавки карагінану (Е407) у технологіях виробництва різноманітних продуктів харчування. Зроблено висновок про доцільність та безпечність застосування карагінану в харчовій промисловості. **Сфера застосування результатів.** Можливість застосування карагінану у технологіях харчових виробництв та додавання різних доз харчової добавки карагінану (Е407) у ряд харчових продуктів у безпечних кількостях, які не спричинювали б небезпечної дії на організм людини.

Ключові слова: харчова добавка, карагінани, червоні водорості, загущувач, гелеутворювач, синерезис, гістерезис

**STUDY OF METHODS OF OBTAINING AND PROPERTIES OF CARRAGEENAN
(FOOD SUPPLEMENT E 407)****Liubov Morozova**, PhD, Chemistry, Senior Lecturer of the

Department of Technology of Breeding, Production and Processing of Small Animal Products

<https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>

Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine

Subject. Carrageenan (E 407) is a natural thickener, a good moisture-binding, stabilizing and gelling agent, obtained from certain species of red algae (class Rhodophyceae). The most famous algae used for the production of carrageenan is *Chondrus crispus* – a dark red plant that resembles parsley, which grows on rocks in the ocean at a depth of up to three meters off the coast of the Philippine Islands, Canada, the United States, and France. During industrial production, algae are extracted with water at high temperatures, resulting in a white loose powder that is soluble in water. Carrageenan (otherwise known as "Irish moss") has a heterogeneous structure. The production process of food additive E407 consists in processing the raw material with a hot alkaline solution, separating the cellulose, further evaporation of water, drying and grinding of the obtained final product. In the process of processing, red

*algae of various species are a source of various types of carrageenans. Therefore, carrageenans can have different variations, differing in chemical composition and properties. Additive E407 belongs to the class of additives of natural (natural) origin. Its permissible daily consumption is limited to 20 mg/kg of body weight per day. This is due to the possible adverse effect of carrageenan on the gastrointestinal tract. In addition, the absorption of various food substances in the intestine decreases. **Purpose.** Analysis of data from literary sources, which are devoted to chemical properties, production methods, scientific research on the use of food additive carrageenan (E407) in the food industry. **Methods.** Analytical research methods were used. **Results.** Literature data on chemical properties, extraction methods and use of food additive carrageenan (E407) in production technologies of various food products were analyzed and summarized. A conclusion was made about the expediency and safety of using carrageenan in the food industry. **Scope of results.** The possibility of using carrageenan in food production technologies and adding different doses of food additive carrageenan (E407) to a number of food products in safe quantities that would not cause dangerous effects on the human body.*

Keywords: food additive, carrageenans, red algae, thickener, gelling agent, syneresis, hysteresis

Вступ. Харчові добавки – це натуральні або синтетичні речовини, які спеціально вводяться в харчовий продукт для надання йому бажаних якостей. До них належать барвники, антиоксиданти, емульгатори, речовини, які змінюють органолептичні властивості продуктів, але не мають біологічної активності (на відміну від біологічно активних речовин (БАД)) [1].

У промисловому виробництві продуктів харчування застосовують значну кількість харчових добавок для поліпшення споживчих властивостей кінцевого продукту. В Європі добавки до їжі позначаються цифровим кодом, з позначкою Е. Він сповіщає, що добавка після проходження спеціально розробленої процедури оцінювання шкідливості/нешкідливості була схвалена і дозволена до застосування в харчовій галузі в країнах Європейського союзу. Система маркування за допомогою букви Е в разі підвищила зручність інформування споживача. Що стосується цифр, то вони вказують на те, що добавка зарахована до конкретної групи речовин [2].

За класифікацією харчових добавок у системі Codex Alimentarius вони поділяються на відповідні основні групи, які об'єднують функціональні класи за відповідними технологічними функціями або за технологічною метою як тепер запропоновано комісією ФАО/ВООЗ (Проект змін до Codex Alimentarius, класифікація, назви і міжнародна система нумерації, 40 серія, Китай, квітень 2008 р.):

- барвники (E100–E199);
- консерванти (E200–E299);
- антиоксиданти, або антиокислювачі (E300–E399);
- стабілізатори, що зберігають густоту їжі (E400–E499);
- емульгатори, розпушувачі, антизлежувачі, регулятори рН (E500–E599);
- ароматизатори та підсилювачі смаку (E600–E699);
- запасні індекси для іншої можливої інформації, антибіотики (E700–E799);
- резервні речовини (E800–E899);
- воски, глазурувальні агенти, піногасники та піноутворювачі, підсолоджувачі, гази для пакування й інгредієнти для удосконалення борошняних кулінарних виробів (E900–E999);
- додаткові речовини, такі як біокаталізатори, ферменти, модифіковані крохмалі, розчинники (E1000–E1999) [3].

Всі харчові добавки діляться на речовини натурального і синтетичного походження. Перші виготовляються з продукції, яка може слугувати джерелом харчування. Це, зокрема, агар-агар (E406) і карагінан (E407), які видобуваються з морських водоростей. Сюди ж відносять пектин (E440), джерелом якого виступають фрукти, желатин, який отримують із тваринної сировини, присутньої на м'ясокомбінатах (E441) та ін. [2].

Синтетичні добавки, в свою чергу, належать до однієї з двох груп:

- синтезовані. Вони виробляються хімічним шляхом, але також є в складі

натуральних джерел. Наприклад, аскорбінова кислота (E300), що є антиокислювачем, сорбінова кислота (E200) і бензойна кислота (E210) – добавки-консерванти;

- штучні. Речовини, у яких немає природних аналогів, наприклад, антиокислювач бутилгідроксианізол (E320), різноманітні харчові азобарвники та інші [1].

Загусники – це речовини, що збільшують в'язкість харчових продуктів, загущуючи їх. Желеутворювачами (гелеутворювачами) називаються речовини, в певних умовах здатні утворювати желе (гелі), структуровані дисперсні системи. Загусники і желеутворювачі дозволяють отримувати харчові продукти з потрібною консистенцією, покращують і зберігають структуру продуктів, надаючи при цьому позитивний вплив на їх смакове сприйняття. Завдяки здатності зв'язувати воду загусники і желеутворювачі стабілізують дисперсні системи: суспензії, емульсії, піни. Вони майже завжди одночасно виконують інші технологічні функції: стабілізаторів і вологоутримуючих агентів. Чітке розмежування між желеутворювачами і загусниками не завжди можливе. Є речовини, що володіють різною мірою властивостями як желеутворювача, так і загущувача, а деякі загусники в певних умовах можуть утворювати міцні, еластичні гелі [4].

Загусники і желеутворювачі за хімічною природою є лінійними або розгалуженими полімерними ланцюгами з гідрофільними групами, які вступають у фізичну взаємодію з наявною в продукті водою [4].

Кислі полісахариди із залишками сірчаної кислоти застосовуються як желеутворювачі, наприклад, агар (E406) і карагінан (E407).

Мета дослідження. Поаналізувати літературні джерела, які присвячені хімічним властивостям, методам одержання, науковим дослідженням щодо використання харчової добавки карагінану (E407) в харчовій промисловості.

Предмет дослідження. Карагінан (E407) – це добавка, яка використовується для згущення, емульгування та збереження продуктів і напоїв. Природний інгредієнт, сімейства лінійних сульфатних полісахаридів, який походить з червоних морських водоростей (його ще називають «ірландський мох»). Використання цієї групи поліпшувачів консистенції харчових продуктів дозволено у всіх країнах [5].

Вперше назва карагінан з'явилася в 1837 р. для позначення морських водоростей, які ростуть у великій кількості на південному узбережжі Ірландії, в невеликому містечку Карагінан. Трохи пізніше ці водорості були виявлені на узбережжі Сполучених Штатів, тоді вони стають предметом торгівлі. Станфорд називає карагінаном желюючу речовину, виділену методом водної екстракції з водоростей *Chondrus crispus*, більше відомих як *Irish Moss*. У 1871 році був запатентований процес його екстракції і очищення. Тільки в 40-х роках минулого століття починається індустріальне виробництво цього продукту.

Отже, офіційно карагінан був відкритий наприкінці XIX століття, хоча в Китаї його використовували ще в VII столітті до н.е. Драглисті екстракти з водорості *Chondrus crispus* («ірландський мох») використовувалися в якості харчових добавок протягом сотень років. Перші фабрики з промислового виробництва карагінану були побудовані в США в середині 30-х років минулого століття [4].

Всі карагінани мають галактозний каркас і відрізняються кількістю і положенням ефірних сульфатних груп, а також кількістю 3,6-ангідрогалактози. Ці відмінності впливають на міцність карагінанового гелю, його текстуру, розчинність, температуру осадження і плавлення, синерезис, синергізм та взаємодію з іншими гідроколоїдами і інгредієнтами. Зазначені властивості можна змінювати, варіюючи вид водоростей, умови їх переробки, а також шляхом змішування різних екстрактів. Вміст сульфату і 3,6-ангідрогалактози в каппа- і йота-карагінанів становить приблизно 22 і 33%, 32% і 26% відповідно. Лямбда-карагінан містить близько 37% сульфату, а 3,6-ангідрогалактоза в ньому практично відсутня. До складу фурацелерану, який в минулому неправильно називали «датський агар», входить 16–20% сульфату. Вміст сульфату в карагінанів значно перевищує його вміст в агарі (1,5–2,5%). Харчові карагінани правильніше називати

«екстрактами полігалактана з *Rhodophyceae*, з послідовними α -(1→3)- і β -(1→4)-глікозидними зв'язками, що містять 18–40% ефірного сульфату» [6].

Сімейство водоростей *Gigartina* включає декілька видів, до складу яких входять каппа-карагінан з різним числом 2-сульфатних груп, з'єднаних з 3,6-ангідрогалактозним фрагментом ідеалізованої структури. Вміст 3,6-ангідрогалактозо-2-сульфату змінюється від близького до нуля (в *K. alvarezii*) до майже 5–10% (в *C. crispus*), 10–15% (в *Gigartina stellata*), 20–25% (в *Gigartina chamissoi*), 30–40% (в *Gigartina radula* і *Mastocarpus crispate*) і 45–55% (в *Gigartina skottsbergii*). Збільшення вмісту ефірного сульфату призводить до значного підвищення реакційної здатності по відношенню до білків і зниження міцності водних гелів. Каппа-карагінани, до складу яких входить 30–55% 3,6-ангідрогалактозо-2-сульфату, носять назву «каппа-2»-карагінани [7].

PES (відомий як «відпрацьовані водорості *Eucheuma*» Processed Eucheuma Seaweed) відрізняється від традиційних очищених карагінанових екстрактів тим, що містить 8-15% нерозчинних у кислотах речовин (AIM) (в екстрактах їх не більше 2%). Такі речовини містяться в основному в целюлозних і білкових структурних каркасах рослини і підтримують їх цілісність під час PES-переробки. Це означає, що в разі PES для виділення карагінана необхідно затратити досить багато енергії. Отже, гідратація і розчинність карагінану і PES розрізняються. Для отримання чистих розчинів і гелів можна використовувати тільки карагінанові екстракти.

Карагінан і PES є високомолекулярними полідисперсними полісахаридами. Промислово випускаючи їх різновиди мають зазвичай молекулярну масу 200000-800000 Да, іноді до 1 500000 Да. У всіх карагінанів в невеликій кількості містяться низькомолекулярні речовини з молекулярною масою менше 100000 Да. Ці присутні в водоростях речовини не слід плутати з полігінаном – продуктом штучно викликаного кислотного гідролізу карагінана.

Результати дослідження. Встановлено, що за хімічною природою карагінани близькі до агароїдів і являють собою нерозгалужені сульфатовані гетероглікани, молекули яких побудовані із залишків похідних D-галактопіранози із суровим чергуванням α -(1→3) і β -(1→4)-зв'язків між ними, тобто з повторюваних дисахаридних ланок, що включають залишки β -D-галактопіранози і 3,6-ангідро- α -D-галактопіранози. Залежно від особливостей будови дисахаридних ланок, що повторюються, розрізняють три основних типи карагінанів, для позначення яких використовують букви грецького алфавіта: к-каппа ([1,4-(D- α -галактоза-4-сульфат), 1,3-(α -3,6-ангідро-D-галактоза)] n), і-йота ([1,4-(D- α -галактоза-4-сульфат), 1,3-(α -3,6-ангідро-D-галактоза-2-сульфат)] n) і λ -лямбда ([1,4-(D- α -галактоза-2-сульфат), 1,3-(D- α -галактоза-2,6-дисульфат)] n). Попередниками каппа- і йота-карагінанів, які дають відповідні їх види при лужній модифікації, є відповідно μ - і ν -карагінани [7].

За складом карагінани являють собою суміш кількох лінійних полісахаридів, молекули яких складаються з повторюваних дисахаридних фрагментів з D-галактози і 3,6-ангідро-D-галактози (як в сульфатованій, так і в нессульфатованих формах), які з'єднані α -(1→3)- і α -(1→4)-глікозидними зв'язками. Існує практично нескінченне число різних типів карагінанів, основними з яких є лямбда-, каппа- і йота-карагінан, що розрізняються за вмістом 3,6-ангідрогалактози і етерифікованих сульфатних груп. Важливою відмінністю молекул карагінану від молекул агару є висока (не менше 20%) кількість сульфатних груп, яка навіть в молекулі фурацелерана становить 16–20% (табл. 1).

За органолептичними властивостями карагінан являє собою жовтувато-білий дрібний порошок практично без запаху. Молекулярна маса становить 400–560 кДа (Mw). Молекулярна маса залежить від виду водорості, району культивування (гідродинамічних умов зростання) і методу отримання. До складу всіх карагінанів входить невелика кількість (менше 5%) речовин, молекулярна маса яких нижче 100 кДа [8].

Товарними формами є порошки з різним поєднанням йота-, каппа- і лямбда-форм

(кількість інших типів незначна), стандартизовані по міцності і прозорості гелю; виділені або збагачені фракції; суміші з іншими загусниками і гелеутворюючими агентами. Ряд товарних форм карагінанів, особливо використовуваних в переробці м'яса і риби, являють собою суміші «PNG» (E407a і очищеного E407 карагінанів), в які часто доданий калію хлорид. На ринку присутня велика кількість сумішевих карагінанів різного складу і торгових марок за різними цінами, і тому основну увагу слід приділяти співвідношенню ціни і якості [9].

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості різних видів карагінанів

Тип карагінану	Масова частка, %	
	3,6-ангідрогалактози	етерифікованих сульфатних груп
Каппа-	34	25
Йота-	30	32
Лямбда-	Практично відсутній	35

*Джерело [6].

Поєднання доволі складної хімії, взаємодій з іншими інгредієнтами і мінливість складу ускладнюють застосування карагінану в харчових системах, однак виробники карагінану стандартизували його, полегшивши тим самим роботу своїх клієнтів. Карагінан зарекомендував себе перевіреною та успішною харчовою добавкою, яка виконує функції стабілізатора, загущувача і гелеутворювача. Дані про основні фізичні властивості трьох основних типів карагінанів, в тому числі розчинність і показники гелеутворення, наведені в табл. 2 [10].

Загущуючі і гелеутворюючі властивості різних типів карагінанів неоднакові. Наприклад, каппа-карагінан утворює міцний гель з іонами калію, а йота-карагінан, взаємодіючи з іонами кальцію, дає м'які еластичні гелі. Лямбда-карагінан в присутності катіонів гелю не утворює, проте при дуже високих концентраціях солей утворює гель. Відомості про властивості карагінанів як правило, надають виробники.

Найрідше використовується лямбда-карагінан (в більшості випадків він є доповненням до каппа-карагінану). Поділ диплоїдних рослин, необхідний для отримання чистого лямбда-карагінану, обходиться дуже дорого і на практиці рідко здійснюється. Диплоїдні рослини зазвичай обробляють разом з гаплоїдними, з яких отримують каппа-карагінан, і складають, як правило, не більше 20% суміші. Лямбда-карагінан впливає лише на другорядні властивості продукту (наприклад, сприяючи утворенню більш вершкової текстури молочного гелю з внесеним каппа-карагінаном). Велика частина промислово виробляємих добавок під назвою «лямбда-карагінан» є фактично «негелеутворюючими карагінанами» (сумішами немодифікованих каппа- і лямбда-карагінаном) [10].

Всі карагінани розчинні в гарячій воді, проте в холодній воді розчинні тільки натрієві солі каппа- і йота-карагінанів. У гарячому молоці всі вони розчинні, а в холодному розчинний тільки лямбда-карагінан, загущаючий молоко за рахунок взаємодії з білками, причому в присутності фосфатів цей ефект посилюється. Розчини карагінанів мають досить високу в'язкість, проявляють псевдопластичність і розріджуються при прокачуванні або перемішуванні.

При прийнятті рішення про застосування карагінану як компонента деяких харчових систем важливо враховувати вплив температури. Всі карагінани при високих температурах гідратуються, зокрема розчини каппа- і йота-карагінанів в воді і молоці мають низьку в'язкість. При охолодженні ці карагінани утворюють гелі різної текстури в залежності від складу системи (присутністю катіонів та інших інгредієнтів) [10].

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості карагінанів

Показник	Вид карагінана			
	Каппа І	Каппа ІІ	Йота	Лямбда
Розчинність:	нерозчинний	нерозчинний	нерозчинний	нерозчинний
в етанолі				
у воді при 20°C	в виді солей Na	в виді солей Na	в виді солей Na	розчинний
50 °C	в виді солей Na	в виді солей Na	розчинний	розчинний
60 °C	в виді солей Na	розчинний	розчинний	розчинний
70 і вище	розчинний	розчинний	розчинний	розчинний
В молоці: холодному (20 °C)	нерозчинний	нерозчинний	нерозчинний	утворює в'язкий розчин
в гарячому (80 °C)	розчинний	розчинний	розчинний	розчинний
в 50%-му розчині цукру	розчинний в гарячому розчині	розчинний в гарячому розчині	нерозчинний	розчинний
в 10%-му р-ні повареної солі	нерозчинний	розчинний в гарячому розчині	розчинний в гарячому розчині	розчинний в гарячому розчині
В'язкість дисперсій	низька	нижче середнього	середня	висока
Здатність до гелеутворення	висока	висока	середня	не утворює гелі
Вплив катіонів	найміцніші гелі з K ⁺	найміцніші гелі з K ⁺	найміцніші гелі з Ca ²⁺	найміцніші гелі з Ca ²⁺
Текстура гелю	твердий і крихкий	твердий і еластичний	м'який, високо-пластичний	-
Синерезис	високий	середній	середній	-
Гістерезис	10-20°C	10-20°C	5-10°C	-
Стійкість до заморозки/відтавання	відсутня	незначно проявляється	стійкий	-
Синергізм з КЗД	так	так	ні	ні
Синергізм з конжаковим борошном	так	так	ні	ні
Синергізм з крохмалем	ні	ні	так	ні
Сумісність з солями	погана	середня	добра	добра
Оборотність при зсуві	ні	ні	так	так
Кислотостійкість	гідроліз розчину з нагрівом. Гелестійкі	гідроліз розчину з нагрівом. Гелестійкі	гідроліз розчину з нагрівом. Гелестійкі	гідролізується
Реакційна здатність з білками	характерна реакція з каппа-казеїном	характерна реакція з каппа-казеїном	гелестійкі	сильна взаємодія, збільшувана в кислому середовищі

*Джерело [10].

У шоколадному молоці та інших молочних напоях, в яких стабілізатор (карагінан) міститься в дуже малих концентраціях (близько 200 мг/кг), гелева сітка не може сформуватися до тих пір, поки температура не стане нижче 20°C. Наприклад, в кондитерських виробках карагінан і катіони ефективно концентруються в водній фазі, так що гелеутворення може відбуватися при температурах вище 80–85°C [12].

Для диспергування карагінану перед гідратацією можна застосовувати різні методи:

змішування в співвідношенні 1:5 або 1:10 (за масою) з інертним наповненням (наприклад, цукром або декстрозою), отримання суспензії карагінану в маслі для створення гідрофобного бар'єру навколо кожної частинки або диспергування в розчині солі, цукровому сиропі або спирті. В деякі карагінани для гелеутворення вводили солі калію, запобігаючи тим самим швидкій гідратації і сприяючи диспергуванню [8].

Частинки карагінану не тільки мають високу спорідненість до води, але і володіють структурною «пам'яттю», тобто при абсорбції води карагінанові частки, набухаючи, майже повністю повертаються до вихідного стану, приймаючи форму і розміри сухих частин. Дане явище обумовлює яскраво виражену здатність карагінану зв'язувати воду. Як ми вже відзначали, присутні у воді солі можуть впливати на властивості полісахариду. Вологозв'язувальні властивості карагінану знаходять застосування в виробництві делікатесних м'ясних продуктів, наприклад, грудок індики і шинки. Перед ін'єкцією м'яса або тумбліруванням карагінан диспергується. Розсіл солюбілізує м'ясний білок, тоді як карагінан при цьому тільки гідратується. У процесі теплової обробки м'яса карагінан продовжує залишатися в гідратованому стані і зв'язувати воду, тоді як білок утворює гель, захоплюючи частинки полісахариду в гелевий матрикс. Втрати при цьому мінімізуються, вихід збільшується, а вміст вологи в продукті зберігається, що покращує споживчі властивості продукту. Гарячі розчини каппа- і йота-карагінанів тверднуть при охолодженні нижче температури гелеутворення (30–70°C в залежності від присутності катіонів та інших інгредієнтів), утворюючи гелі різної текстури [11].

Для ефективного використання карагінану важливо знати йонний склад харчової системи. Наприклад, для каппа-карагінану для стабілізації з'єднання зон всередині міцного і крихкого гелю необхідні іони калію, а йота-карагінану для зв'язку сусідніх ланцюгів в м'яких і еластичних гелях – іони кальцію [10].

Карагінанові гелі виявляють гістерезис. Вони стабільні при кімнатній температурі, але можуть плавитися при температурах 5–30°C вище температури гелеутворення. При охолодженні розплав в нейтральному середовищі знову утворює гель тієї ж міцності і текстури. Гелі з йота-карагінану руйнуються при зсуві, але після зняття навантаження відновлюються, що свідчить про їх тіксотропні властивості. Разом з тим повне відновлення протікає досить довго (на відміну, від гелів з ксантанової камеді). Каппа-карагінанові гелі при зсуві незворотно руйнуються.

Синерезис представляє собою видалення вологи з гелю, структура якого стає більш щільною і стислою. На відміну від досить схильних до синерезису гелей з каппа-карагінану, йота-карагінанові гелі до синерезису не схильні. Синерезис безпосередньо пов'язаний зі стабільністю в циклах заморожування – розморожування. Заморожування необоротно ущільнює структуру гелю з каппа-карагінану, але не впливає на йота-карагінановий гель, котрий при відтаванні повністю відновлюється. Контроль синерезиса вельми важливий для деяких областей застосування карагінанів [10].

Якщо поєднаний ефект двох компонентів в суміші значно перевищує сумарний ефект компонентів окремо, то це називається синергізмом. Каппа-карагінан дає високосинергічні гелі з галактомананами – наприклад, з камеддю річкового дерева (КРД) і глюкомананом (конжаковою камеддю). Крім збільшення міцності гелю, такі полімананові камеді роблять текстуру гелю більш еластичною і зменшують синерезис.

КРД представляє собою галактоманан, в якому розподілення галактозних бічних ланцюгів на манановому каркасі є впорядкованим з наявністю незаміщених ділянок. Ці особливості будови КРД сприяють утворенню сильних водневих зв'язків між галактомананом і спіральними агрегатами каппа-карагінану з проявом синергізму. Ще більш яскраво виражений синергізм характерний для сумішей каппа-карагінану з глюкомананом конжакової камеді. У цьому випадку відстань між ефірними групами, розташованими між мананом конжака, чітко відповідають довжині спіральних агрегатів каппа-карагінану. Оптимальне співвідношення каппа-карагінану і мананової камеді

становить приблизно 60:40 або 70:30. Такі поєднання полімерів широко використовуються у виробництві м'ясних продуктів і желюванні кормів для домашніх тварин [10].

Гідратаційні і гелеутворюючі властивості PES і каппа-карагінану, отриманий за традиційною технологією екстракції, багато в чому схожі, але є і деякі відмінності. Целюлозний каркас в PES знижує швидкість гідратації, і тому розчини стають високов'язкими тільки після досить тривалого нагрівання або при високих температурах. Присутність целюлози в готовому гелі робить його менш міцним на розрив, більш крихким і ламким. Частинки целюлози роблять гель каламутним, що виключає його використання там, де необхідно прозоре желе (зокрема, в десертах на водній основі і в глазури для тортів і кексів). Хімічні властивості карагінану в PES залишаються колишніми, однак на технологічні і органолептичні властивості гелю можуть вплинути нерозчинні в кислотах речовини [7].

У кислому середовищі ($pH \leq 5,5$) в'язкість розчину карагінану і міцність його гелю зменшуються, особливо при $pH \leq 4,5$, хоча і при $pH 3,5$ вони ще досить високі. При низьких значеннях pH протікає автогідроліз, і кислотна форма карагінану розпадається за місцем приєднання 3,6-ангідрогалактози [2]. Швидкість автогідролізу при підвищених температурах значно зростає, однак при температурі нижче точки гелеутворення в карагінані залишаються зв'язані з сульфатом іони калію, що уповільнює автогідроліз. Отже, для запобігання гідролізу в кислих продуктах карагінан слід вносити в останній момент, також при наявності можливості підкислювати продукт безпосередньо перед відсадженням або розливом, щоб мінімізувати розпад полімеру.

При різних pH і температурах, протягом якого отриманий з 0,5%-го каппа-карагінану, і 0,2%-го хлориду калію гель втрачає при охолодженні міцність не більше ніж на 20–25%. Зниження pH на 0,5 зменшує тривалість обробки приблизно в 3 рази. Цей час мало залежить від концентрації карагінану і інших інгредієнтів (зокрема, солей і цукрів). При безперервній технології тривалість переробки слід мінімізувати. При $pH \geq 4,5$ в більшості технологій виробництва харчових продуктів розчини карагінану залишаються стабільними [13].

Природними джерелами отримання карагінану є клітинні стінки червоних морських водоростей (*Rhodophyceae*): *Furcellariaceae* (наприклад, *Furcellaria fastigata*); *Gigartinaceae* (наприклад, *Chondrus crispus*, *Gigartina*, *Iridia*); (наприклад, *Hypnea*); *Phyllophoraceae* (наприклад, *Ahmfeltia*, *Gymnogongrus*, *Phyllophora*); *Solieraceae* (наприклад, *Anatheka*, *Euchema*, *Meristotheca*). Вони ростуть в холодних водах біля берегів Північної Європи, Азії, Південної Америки (Чилі і Перу), на рифах і у вузьких лагунах островів Індонезії.

Червоні водорості (*Rhodophyceae*) століттями використовувалися в їжу на Далекому Сході і в Європі. У всіх різновидах червоних водоростей містяться своєрідні полісахариди – сульфатовані галактани, які заповнюють порожнечі в целюлозній структурі рослини. До таких полісахаридів відносяться карагінан, фурацелеран і агар [14].

Екстрагований з водоростей карагінан не засвоюється людиною і є лише харчовим волокном, який не має поживної цінності. Разом з тим він володіє унікальними технологічними властивостями, які можна використовувати для желювання, згущення і стабілізації харчових продуктів і харчових систем. З промислово перероблених червоних водоростей отримують різні карагінанові екстракти, відмінних за хімічним складом і конформацією молекул, що обумовлює широкий спектр реологічних особливостей гелів і текстур, щільності молекулярного заряду і видів взаємодій з іншими камедями та білками [15].

Технологічні напівочищені (E 407a), або PNG-карагінани містять значну кількість целюлози і утворюють каламутні (у різному ступені) розчини і гелі, через що їх не рекомендується використовувати у виробництві заливок, желе та інших прозорих продуктів, але для молочних, м'ясних, рибних або крохмалевмісних харчових продуктів

вони цілком придатні. Більш того, завдяки меншій порівняно з очищеними карагінанами набуханню в холодному розсолі і меншому синерезису PNG-карагінани забезпечують ряд технологічних переваг при переробці м'яса, при цьому менше засмічуються інжекторні голки, утворюється менше бульйонно-жирових набряків, краще маскуються неминучі «гелеві кишені» або «тигрові смуги» в розсольних продуктах з високим виходом [11].

Практичне використання карагінану значною мірою визначається його фізико-хімічними властивостями, різними для різних типів карагінанів. Для створення повноцінних продуктів харчування масового та лікувально-профілактичного призначення особливу цінність представляють натуральні харчові добавки, не тільки здатні коригувати корисні властивості і хімічний склад харчових продуктів, а й володіють широким спектром біологічної активності.

Е 407 як гелеутворювач. Різні товарні форми карагінану використовують для формування структури і зв'язування вологи в м'ясних і рибних продуктах, а також для створення та стабілізації консистенції молочних виробів, соусів тощо. Найчастіше карагінан поєднують з іншими полісахаридами, особливо з камеддю річкового дерева (Е410), що призводить до поліпшення технологічних властивостей і це економічно вигідно. Карагінани проявляють ефект синергічного посилення казеїнового гелю: одна й та сама міцність досягається в молочному середовищі при концентрації карагінану в 10 разів меншій, ніж у водному (наприклад, каппа- і йота-карагінан утворюють молочні гелі вже в концентрації 0,02%). Завдяки синергізму з казеїном добавка карагінанів в плавлені сири призводить до збільшення міцності гелів і формуванні більш щільної консистенції [8, 9].

Йота-карагінан дозволяє створювати неперевершені десерти, стабілізує морозиво і муси з молочних продуктів, а також дозволяє надати заварним кремам потрібну текстуру.

Карагінан отримують з червоних водоростей, зростаючих в прибережних районах Північної Атлантики, Південної Америки і на далекому Сході. Екстракти з різних водоростей містять карагінани з однаковим галактозним каркасом, але різною кількістю і становищем ефірних сульфатних груп, а також різною кількістю 3,6-ангідрогалактози.

Каппа-карагінан і фурацелеран дають термооборотні міцні і крихкі гелі, йота-карагінан дає м'які та еластичні гелі, тоді як лямбда-карагінан гель не утворює таких. Каппа-карагінан синергічно взаємодіє з полімананани (камедь рожкового дерева і конжаковою каміддью), створюючи міцний когезивний гель з модифікованою текстурою. Суміш каппа-карагінана з йота-карагінаном (або полімананани) використовують для отримання гелів різної текстури для ін'єктування і консервування м'яса, для приготування водних десертних гелів і глазурей [7, 11, 12].

Е 407 як загусник. Лямбда-карагінан не утворює гель і використовується як загусник швидкокорозчинних напоїв і молочних десертів. Загущувач Е 407 дозволений в сумішах для малюків старших ніж 5 місяців (0,3 г/л). Застосовується у виготовленні м'ясних продуктів, що дозволяє поліпшити зовнішній вигляд, підвищити соковитість продукту, запобігти появі жирових набряків, продовжити термін зберігання [4].

Всі харчові системи, представлені умовно і підрозділяються на дві групи (на водній і молочній основі), в яких за допомогою карагінану можна провести загущення або гелеутворення при низьких або підвищених температурах. Дозування карагінану зазвичай складає 0,01–1,20%, у фруктових гелях (желе) – 0,80–1,20%, фруктових начинках до пирога – 0,20–0,30% [4].

Е 407 як стабілізуючий агент. Специфічна взаємодія каппа-карагінана і каппа-казеїна широко використовується для стабілізації молочних продуктів, в тому числі молочних напоїв, сумішей для морозива і плавлених сирів. Суміш капа- і йота-карагінанів особливо підходить для отримання у молочних десертах міцної «вершкової» текстури. Так, за допомогою їх поєднання можна отримати «реконструйований сир», з текстурою плавлення сиру, але витриманим ароматом. Витримані сири не тануть, але карагінан

дозволяє вирішити цю проблему [8].

Карагігани не розщеплюються ферментами в шлунково-кишковому тракті і можуть використовуватися у виробництві енергoredуктованих продуктів. Вони використовуються в харчовій промисловості як структуроутворюючі добавки в кількості 0,01–3,00 % [14].

Добова норма споживання офіційно не обмежена, але є пропозиція від ФАО/ВООЗ встановити максимальну кількість 20 мг/кг ваги. МОЗ запропонував провести додаткову перевірку продукту [16].

The Food and Agriculture Organization of the United Nations і Всесвітньої організації охорони здоров'я, на підставі наявних даних, не рекомендують використовувати продукти які містять караганін в дитячому харчуванні, оскільки досліді на щурах, морських свинках і мавпах показали, що використання полігану (продукт розпаду карагану) асоційоване до виразок і раку шлунково-кишкового тракту, причому у морських свинок вживання карагану асоційоване з виразками шлунково-кишкового тракту, а у щурів – з раком органів шлунково-кишкового тракту. Вживання карагану може також бути причиною запальних захворювань кишечника [17].

Караган (в тому числі його солі і фурцеллеран) застосовують також і в косметології. Здатність активно пом'якшувати, зволожувати і живити шкіру дозволила включити дану речовину до складу засобів по догляду за обличчям і тілом. Крім того, він підвищує в'язкість зубних паст, не спричинюючи при цьому руйнівної дії на зубну емаль. Добавка Е 407 як стабілізуючий агент є одним з компонентів шампунів і кондиціонерів для волосся [7].

В наш час караганні знайшли своє застосування у медичній практиці в якості:

- основи поживних середовищ;
- сировини для приготування таблеток і капсул;
- антикоагулянту крові;
- заміника агару в вірусологічних і імунологічних дослідженнях;
- протипухлинного, протизапального засобу, імуномодулятора тощо;
- властивість карагану регенерувати шкіру, активувати зростання тканини

дозволило застосовувати цей продукт для виробництва ранозагоюючих гелів і пов'язок [18].

Караганні можуть бути виділені з наступних видів водоростей: *Furcellaria*, *Chondrus*, *Gigartina*, *Hypnea*, *Hyllophora*, *Gymnogongrus*, *Ahnfeltia*, *Euchenma*, *Meristotheca* тощо. Найбільш широко в якості сировини для виробництва караганнів використовують *Gigartina*, *Chondrus*. *Euchenma* являють собою покриті шипами рослини у вигляді чагарників висотою приблизно 50 см, які ростуть на рифах і в вузьких лагунах в районах Філіппінських і Індонезійських островів, на Далекому Сході. З водоростей виду *E. cottonii* отримують каппа-караганін, а з *E. spinosum* – йота-караганін. Найвідомішим видом червоних водоростей є *Chondrus crispus* – маленька рослина, що має вигляд чагарнику висотою всього близько 10 см, яка широко поширена на узбережжі Північної Атлантики. Караганін, отриманий з цього виду водоростей, містить одночасно каппа- і йота-типи. Однак встановлено, що ці типи знаходяться не в одній рослині, а лише в рослинах, які ростуть разом. Вид *Gigartina* – це великі рослини висотою до 3 м, які добуваються з глибоких холодних прибережних вод поблизу Чилі і Перу для отримання каппа- та лямбда-караганнів. Водорості роду *Furcellaria* ростуть в холодних водах біля Північної Європи і Азії і використовуються для отримання каппа- та лямбда-караганнів [7].

США і країни Європейського союзу, в основному, виробляють караганін з сировини, що завозиться з інших країн. Світове споживання карагану становить понад 14000 т/рік і збільшується на 1–3% щорічно (табл. 3) [8].

Таблиця 3
Виробництво в світі карагінану
(станом на 2018 р.)

Країна	Потужність виробництва, т/рік
США	10000
Франція	7000
Японія	3000
Іспанія	1600
Чилі	1000
Нова Зеландія	1000
Китай	400

*Джерело [18]

В Японії карагінан екстрагують водою з водорості *Eucheuma*, екстракт фільтрують, карагінан осаджують рівним об'ємом ізопропілового спирту. Обложений розчинником карагінан висушують при 50–80°C при зниженому або атмосферному тиску і подрібнюють. Втрати карагінану при використанні цієї технології складають 15%.

Технологічний процес отримання карагінану, застосовуваний в Норвегії, схожий на використовуваний в США, і складається з наступних операцій: *Chondrus* пропускають через мийний барабан і завантажують в реактори з мішалками для екстракції карагінанів водою. При досягненні концентрації сухих речовин <1% екстракт перекачують на вібросито, де відокремлюють не руйнуючи частини водорості. Екстракт очищують на сепараторі, потім центрифугують. Очищений екстракт перекачують в ємність, де охолоджують до 20°C. Для осадження карагінану подають 90%-й етиловий спирт (1/3 від загального обсягу). Потім карагінан надходить на транспортер для відділення спирту. Осад пресують на шнековому пресі, після чого вміст сухих речовин в ньому становить 35–40%. Остаточне висушування карагінану проводиться в барабанних сушарках під вакуумом 8 годин при $t = 60^\circ\text{C}$. Вологість готового продукту не перевищує 10–12%. На отримання одного кілограму карагінану витрачається 2–3 кг канадського або 4–5 кг португальського *Chondrus*.

Філіппінські компанії, основні виробники карагінану, практикують випуск напівочищеної речовини, позиціонуючи його як істинно натуральний. При цьому водорості занурюють в гарячий (70–80°C) розчин вуглекислого калію для очищення. Потім сировину, що охолодилася, завантажують в спеціальну центрифугу для видалення целюлози. Розчин фільтрують. Осад сушать і подрібнюють до дрібнофракційного порошку.

В інших країнах найчастіше застосовують спосіб виробництва очищеного карагінану із застосуванням хімічних речовин. Водорості кип'ятять в лужному розчині і фільтрують. Після чого карагінан осаджують етанолом або нерозчинними солями кальцію (карбонат, сульфат). Осад пресують, висушують у вакуумі і подрібнюють. Крупні виробники карагінану після очищення в розведеному лугові речовину виморожують або піддають ультрафільтрації [19].

Висновки. Таким чином, харчова добавка карагінан (Е 407) вважається натуральним продуктом, незалежно від способу отримання. Унікальні хімічні властивості даної субстанції допомагають більш тривалий час зберігати в'язкість і первинну консистенцію готової продукції харчового призначення. Залежно від рівня полімеризації та етерифікації, караганіни поділяються на: каппа – міцні стійкі гелі, йота – м'які гелі, лямбда – формують гелі з білковою масою (не з водою). Варто відмітити той факт, що харчовому стабілізатору Е407, що має природне походження, присвоєно статус “умовно безпечна харчова добавка для життя і здоров'я людського організму”.

Бібліографія

1. Євлаш Л. В., Торяник О. І., Коваленко В. О., Аксьонова О. Ф. та ін. Харчова хімія: навчальний посібник. Харків: Світ книг. 2019. 504 с.
2. Ластухін Ю. О. Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості. Навч. посібник. Львів: Центр Європи. 2009. 836 с.
3. Codex Alimentarius. Class Names and the International Numbering System for Food Additives. Adopted in 1989. Revised in 2008. Amended in 2018. 2019. 2021. Р. 37.
4. Євлаш В. В., Газзаві-Рогозіна Л. В. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів. Харків: Світ книг. 2022. 157 с.

5. Пономарьов П. Х., Сирохман І. В. Безпека харчових продуктів та продовольчої сировини. Навчальний посібник. Київ: Лібра. 1999. 272 с.
6. Srinivasan Damodaran, Kirk L. Parkin. Fennema's Food Chemistry. CRC Press. 2017. 1107 p.
7. Bixler H. J., Johndro K., Falshaw R. Kappa-2 carrageenan: structure and performance of commercial extracts. II. Performance in two simulated dairy application. Food Hydrocolloids. 2001. Vol. 15. p. 619–630.
8. Marrs W. M. The stability of carrageenans to processing. Gums & Stabilisers for the Food Industry. 1998. Vol. 9. P. 345–357.
9. Zdzislaw E. Sikorski (Editor). Chemical and Functional Properties of Food Components. CRC Press. 2019. 544 p.
10. Falshaw R., Bixler H. J., Johndro K. Structure and performance of commercial kappa-2 carrageenan extracts. Structure analysis. Food Hydrocolloids. 2001. Vol. 15. p. 441–452. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00066-2).
11. Головка М. П., Головка Т. М., Семко Т. В., Власенко І. Г. Технологія м'яса та м'ясопродуктів з елементами НАССР. Харків: Світ книг. 2021. 404 с.
12. Максимець О. Б., Максимець В. Л. Технології кондитерських виробів (торти, тістечка, цукерки). Київ: Каравела. 2021. 168 с.
13. Uno Y., Omoto T., Goto Y., Asai I., Nakamura M., Maitani T. Molecular weight distribution of carrageenans studied by a combined gel permeation/inductively coupled plasma (GPC/ICP) method. Food Addit. Contam. 2001. Vol. 18 (9). P. 763–772. <https://doi.org/10.1080/02652030117235>.
14. Weiner M. L., Nuber D., Blakemore W. R., Harriman J. F., Cohen S. M. A 90-day dietary study of kappa carrageenan with emphasis on the gastrointestinal tract. Food and Chemical Toxicology. 2007. Vol. 45(1). p. 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.07.033>
15. Weiner M. L. Food additive carrageenan: Part II: A critical review of carrageenan in vivo safety studies. Crit. Rev. Toxicol. 2014. Vol. 44 (3). P. 244–269. <https://doi.org/10.3109/10408444.2013.861798>.
16. Сабат М. Я., Іскра Р. Я. Фруктани: хімічна структура, біологічні властивості та метаболізм кишковою мікрофлорою. Біологічні студії. 2016. Т. 10. № 2. С. 203–214.
17. David S., Shani Levi C., Fahoum L., Ungar Y., Mevron-Holtz E. G., Shpigelman A., Lesmes U. Revisiting the carrageenan controversy: do we really understand the digestive fate and safety of carrageenan in our foods? Food Funct. 2018. Vol. 9 (3). P. 1344–1352. <https://doi.org/10.1039/c7fo01721a>.
18. Нековаль І. В., Казанюк Т. В. Фармакологія: підручник. 4-е видання, виправлене. Київ: Медицина. 2011. 520 с.
19. Liu F., Hou P., Zhang H., Tang O., Xue Ch., Li R. W. Food-grade carrageenans and their implications in health and disease. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2021. Vol. 20 (4). P. 3918–3936. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12790>.

References

1. Ievlash, V. V., Torianyk, O. I., Kovalenko, V. O. et al (2019). Kharchova khimii: navchalnyi posibnyk [Food chemistry: textbook]. Kharkiv: Svit knyh [The world of books]. 504 p. [in Ukrainian].
2. Lastukhin, Yu. O. (2009). Kharchovi dobavky. E-kody. Budova. Oderzhannia. Vlastyivosti. [Nutritional supplements. E-codes. Building Obtaining. Properties]. Lviv: Tsentri Yevropy [Center of Europe]. 836 p. [in Ukrainian].
3. Codex Alimentarius. Class Names and the International Numbering System for Food Additives. Adopted in 1989. Revised in 2008. Amended in 2018, 2019, 2021. P. 37.
4. Yevlash, V. V., Hazzavi-Rohozina, L. V. (2022). Bezpeka prodovolchoi syrovyny i kharchovykh produktiv [Safety of food raw materials and food products]. Kharkiv: Svit knyh [The world of books]. 157 p. [in Ukrainian].
5. Ponomarov, P. Kh., Syrokhman, I. V. (1999). Bezpeka kharchovykh produktiv ta prodovolchoi syrovyny. Navchalnyi posibnyk [Safety of food products and food raw materials. Tutorial]. K.: Libra. 272 p. [in Ukrainian].
6. Srinivasan, Damodaran, Kirk, L. Parkin. (2017). Fennema's Food Chemistry. CRC Press. 1107 p.
7. Bixler, H. J., Johndro, K., Falshaw, R. (2001). Kappa-2 carrageenan: structure and performance of commercial extracts. II. Performance in two simulated dairy application. Food Hydrocolloids. Vol. 15. p. 619–630.
8. Marrs, W. M. (1998). The stability of carrageenans to processing. Gums & Stabilisers for the Food Industry. Vol. 9. P. 345–357.
9. Zdzislaw, E. Sikorski (Editor). (2019). Chemical and Functional Properties of Food Components. CRC Press. 544 p.
10. Falshaw, R., Bixler, H. J., Johndro, K. (2001). Structure and performance of commercial kappa-2 carrageenan extracts. Structure analysis. Food Hydrocolloids. Vol. 15. p. 441–452. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00066-2).

11. Holovko, M. P., Holovko, T. M., Semko, T. V., Vlasenko, I. H. (2021). Tekhnolohiia miasa ta miasoproduktiv z elementamy HACCP [Technology of meat and meat products with HACCP elements]. Kharkiv: Svit knykh [The world of books]. 404 p. [in Ukrainian].
12. Maksymets, O. B., Maksymets, V. L. (2021). Tekhnolohii kondyterskykh vyrobiv (torty, tistechka, tsukerky) [Confectionery technologies (cakes, pastries, candies)]. Kyiv: Karavela [Caravel]. 168 p. [in Ukrainian].
13. Uno, Y., Omoto, T., Goto, Y., Asai, I., Nakamura, M., Maitani, T. (2001). Molecular weight distribution of carrageenans studied by a combined gel permeation/inductively coupled plasma (GPC/ICP) method. Food Addit. Contam. Vol. 18 (9). P. 763–772. <https://doi.org/10.1080/02652030117235>.
14. Weiner, M. L., Nuber, D., Blakemore, W. R., Harriman, J. F., Cohen, S. M. (2007). A 90- day dietary study of kappa carrageenan with emphasis on the gastrointestinal tract. Food and Chemical Toxicology. Vol. 45(1). p. 98–106. <https://doi.org/10.1016/i.fct.2006.07.033>.
15. Weiner, M. L. (2014). Food additive carrageenan: Part II: A critical review of carrageenan in vivo safety studies. Crit. Rev. Toxicol. Vol. 44 (3). P. 244–269. <https://doi.org/10.3109/10408444.2013.861798>.
16. Sabat, M. Ia., Iskra, R. Ia. (2016). Fruktany: khimichna struktura, biolohichni vlastyvyosti ta metabolizm kyshkovoiu mikrofloroii [Fructans: chemical structure, biological properties and metabolism by intestinal microflora]. Biolohichni studii [Biological studies]. T. 10. № 2. P. 203–214. [in Ukrainian].
17. David, S., Shani Levi, C., Fahoum, L., Ungar, Y., Mevroun-Holtz, E. G., Shpigelman, A., Lesmes, U. (2018). Revisiting the carrageenan controversy: do we really understand the digestive fate and safety of carrageenan in our foods? Food Funct. Vol. 9 (3). P. 1344–1352. <https://doi.org/10.1039/c7fo01721a>.
18. Nekoval, I. V., Kazaniuk, T. V. (2011). Farmakolohiia: pidruchnyk. 4-e vydannia, vypravlene [Pharmacology: textbook. 4th edition, corrected]. Kyiv: Medytsyna [Medicine]. 520 p. [in Ukrainian].
19. Liu, F., Hou, P., Zhang, H., Tang, Q., Xue, Ch., Li, R.W. (2021). Food-grade carrageenans and their implications in health and disease. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. Vol. 20 (4). P. 3918–3936. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12790>.