



DOI 10.33920/igt-01-2103-06

УДК 620.3:615.214.24

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СУЛЬФАТ ГЛЮКОЗАМИНА: СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, ПРОДЛЕВАЮЩИХ ЖИЗНЬ

А.А. Кролевец, д-р хим. наук, академик РАН, профессор кафедры технологии продуктов питания, заведующий лабораторией «Синтез микро- и наноструктур»,
ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт»

Н.И. Мячикова, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой технологии продуктов питания,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

О.В. Биньковская, канд. биол. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

С.Г. Глотова, доцент кафедры технологии продуктов питания и товароведения,
ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт»

К.М. Семичев, магистрант кафедры технологии продуктов питания,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Е.М. Мамаева, студент кафедры технологии продуктов питания и товароведения,
ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт»

К.В. Голубкова, студент, ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт»

В работе представлены свойства наноструктурированного сульфата глюкозамина и его применение для производства функциональных продуктов питания, продлевающих жизнь, на примере кисломолочных продуктов (йогуртов, кефира, ряженки, сметаны, творога), мармелада, мороженого и хлебобулочных изделий. Приведены данные о самоорганизации и размере наноструктурированного сульфата глюкозамина с помощью метода NTA.

Ключевые слова: наноструктурированный сульфат глюкозамина, самоорганизация, метод NTA, кисломолочные продукты, мармелад, мороженое, хлебобулочные изделия.

NANOSTRUCTURED GLUCOSAMINE SULFATE: PROPERTIES AND USES IN THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL FOODS EXTENDING LIFE

A.A. Krolevets, PhD in Chemistry, member of the RANS, professor of the Department of Food Technology, head of the Laboratory of Synthesis of Micro- and Nanostructures, Regional Open Social Institute

N.I. Myachikova, PhD Candidate in Engineering, associate professor, head of the Department of Food Technology, Belgorod State National Research University

O.V. Binkovskaya, PhD Candidate in Biology, associate professor of the Department of Food Technology, Belgorod State National Research University

S.G. Glotova, associate professor of the Department of Food Technology and Commodity Science, Regional Open Social Institute

K.M. Semichev, student of the Department of Food Technology, Belgorod State National Research University

*E.M. Mamaeva, student of the Department of Food Technology and Commodity Science,
Regional Open Social Institute;*

K.V. Golubkova, student of the Regional Open Social Institute

The paper presents the properties of nanostructured glucosamine sulfate and its application for the production of functional food products that extend life on the example of fermented milk products (yoghurts, kefir, fermented baked milk, sour cream, cottage cheese), marmalade, ice cream and bakery products. Data on the self-organization and size of nanostructured glucosamine sulfate using the NTA method are presented.

Keywords: nanostructured glucosamine sulfate, self-organization, NTA method, fermented milk products, marmalade, ice cream, bakery products.

Глюкозамин — это природное вещество, которое содержится во всех живых организмах, в панцирях ракообразных, в костях и костном мозге, а также в грибах. Этот полисахарид вырабатывается в том числе и организмом человека. Однако нередко вследствие обменных нарушений, чрезмерных функциональных нагрузок и особенно возрастного снижения активности количество вырабатываемого организмом глюкозамина уменьшается, в результате чего значительно замедляется процесс регенерации хрящевых клеток, покрывающих суставные концы. Хрящевая поверхность истончается, постепенно приводя к артрозу того или иного сустава. Поэтому не зря глюкозамин в последние годы занял особое место в лечении и профилактике заболеваний опорно-двигательного аппарата.

На сегодня по своему химическому составу глюкозамин разделяется на две основные формы: глюкозамин гидрохлорид и глюкозамин сульфат. Глюкозамин гидрохлорид — наименьшая из молекул среди соединений глюкозамина. Он усваивается на 50% лучше, чем глюкозамин сульфат.

Активным назначением во врачебной практике при заболеваниях опорно-двигательного аппарата глюкозамин обязан своим основным свойствам — усилению выработки протеогликанов (сложные белки, которые образуют аморфное вещество хряща), а также волокон коллагена, нормализации продукции внутрисуставной жидкости, тем самым улучшая

подвижность суставов. Глюкозамин также улучшает обменные процессы в хрящевой суставной ткани. Помимо этого, оказывает обезболивающий и противовоспалительный эффект.

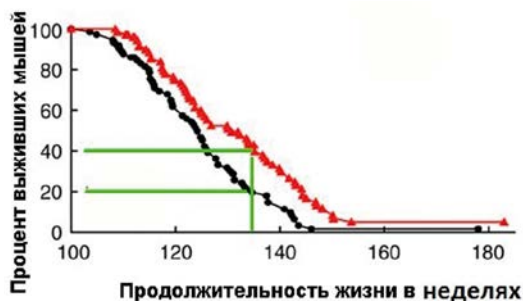
Описанные выше полезные свойства глюкозамина широко известны и активно применяются врачами и производителями лекарственных препаратов.

Оральный прием глюкозамина может потенциально улучшить старение кожи человека и уменьшить появление видимых морщин и тонких линий на коже. Подобное действие основано на том, что глюкозамин стимулирует синтез гликозаминогликанов, протеогликанов и гиалуроновой кислоты и способствует естественной выработке коллагена в организме. Если верить тем, кто занимался этой проблематикой, то прием глюкозамина для профилактики старения кожи обычно ведется в дозировке 1500 мг 1 раз в день [1]. Кстати, из лекарств с подобной дозировкой и однократным приемом приходит препарат «Сустилак», который назначается врачами при остеоартрозе. Поэтому пациенты, принимающие это лекарство, могут присмотреться к дополнительному эффекту от приема, о котором раньше никто не задумывался.

Следующее интересное свойство глюкозамина должно помочь жить дольше. В основе геропротекторных свойств глюкозамина лежит его способность подавлять воспаление, а также имитировать действие калорийно ограниченной диеты, продлевающей жизнь. Данные иссле-

дований свидетельствуют о выраженном противовоспалительном эффекте глюкозамина, что является значимым механизмом снижения риска развития многих заболеваний, связанных со старением [2].

А что глюкозамин сульфат показывает в исследованиях на людях? Как известно, основные причины смертности в пожилом возрасте — это рак (около 40%), сердечно-сосудистые заболевания (около 50%), простудные заболевания ввиду старения иммунной системы и др. Так вот, глюкозамин сульфат показал на людях уменьшение смертности от рака на 13%, от респираторных заболеваний — на 41%. А раковые опухоли и респираторные болезни — это признак старости иммунной системы, в результате которой возникает общее воспаление во всем организме. Предполагается, что глюкозамин сульфат снижает воспаление за счет ингибирования (сдерживания) ядерного фактора pF-kB , а также за счет имитации оптимально-калорийного питания как самого надежного средства продления жизни. Фактор pF-kB контролирует работу иммунитета и самоуничтожение раковых опухолей. При нарушении его работы возникают аутоиммунные заболевания — признаки старения иммунитета (красная волчанка, псориаз, аутоиммунная анемия, аллергии и др.), а также тяжело переносятся вирусные инфекции, возникают различные формы рака.



Как видно из графика, если на 135-ю неделю 40% мышей, употребляющих глюкозамин сульфат (красная группа точек), были еще живы, то в контрольной группе в живых остались лишь 20% мышей.

В другом исследовании на престарелых людях из США и Европы [3] — уменьшение смертности от рака и респираторных заболеваний. В исследовании на людях глюкозамин показал снижение смертности от рака (13%), респираторных заболеваний (41%), других причин (33%). Предполагаемый механизм действия — подавление воспаления за счет ингибирования ядерного фактора pF-kB , а также имитация диеты с низкой гликемической нагрузкой. Принимать рекомендуется 1500 мг глюкозамина сульфата 1 раз в день, курс два-три месяца, месяц перерыв.

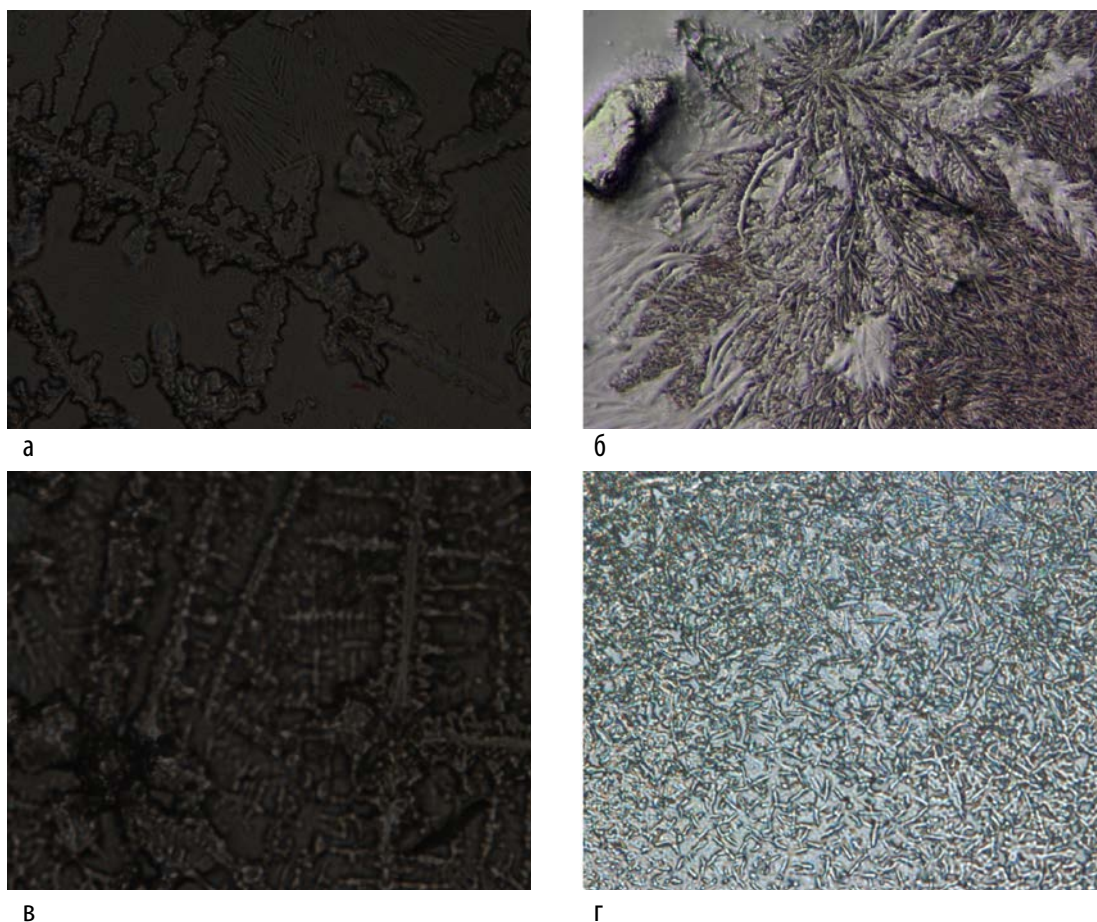
Еще одно свойство обнаружили исследователи из Колумбийского университета в Нью-Йорке. Они установили, что глюкозамин, который наносили непосредственно на хирургические раны, ускорял их заживление на 10%. Возможно, что это небольшой процент, но следует отметить, что известно не так уж много веществ, которые ускоряли бы заживление ран хоть в какой-то степени.

В литературе не найдены сведения о наноструктурированном сульфате глюкозамина и его свойствах, что и явилось целью данной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование самоорганизации наноструктурированного сульфата глюкозамина проводили следующим образом. Порошок наноструктурированного сульфата глюкозамина растворяли в воде, каплю наносили на покровное стекло и выпаривали. Высушенную поверхность сканировали методом конфокальной микроскопии на микроскопе «Микромед 3» вар. 3-20. На этом же приборе получена микрофотография с самоорганизацией, которая представлена на рис. 1.

Измерения размеров наноструктурированного сульфата глюкозамина проводились методом NTA. Измерения проводили на мультипараметрическом



*Рис. 1. Конфокальное изображение наноструктурированного сульфата глюкозамина при увеличении в 400 раз:
 а) в каррагинане, концентрация 0,25%, соотношение «ядро : оболочка» 1:3;
 б) в конжаковой камеди, концентрация 0,25%, соотношение «ядро : оболочка» 1:3;
 в) в ксантановой камеди, концентрация 0,25%, соотношение «ядро : оболочка» 1:3;
 г) в альгинате натрия, концентрация 0,125%, соотношение «ядро : оболочка» 1:3*

анализаторе наночастиц Nanosight LMO производства Nanosight Ltd (Великобритания) в конфигурации HS-BF (высокочувствительная видеокамера Andor Luca, полупроводниковый лазер с длиной волны 405 нм и мощностью 45 мВт). Прибор основан на методе анализа траекторий наночастиц (Nanoparticle Tracking Analysis, NTA), описанном в ASTM E2834.

Оптимальным соотношением для разведения было выбрано 1:100. Для измерения были выбраны параметры прибора: Camera Level = 16, Detection Threshold = 10 (multi). Min Track Length: Auto. Min Expected Size: Auto. Длительность единичного измерения — 215s, использование шприцевого насоса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поскольку в водном растворе нанокapsул при их достаточно низкой концентрации обнаружены фрактальные композиции, они обладают самоорганизацией. Образование нанокapsул происходит спонтанно за счет нековалентных взаимодействий, и это говорит о том, что для них характерна самосборка. Следовательно, наноструктурированный сульфат глюкозамина обладает супрамолекулярными свойствами.

Супрамолекулярная химия использует законы органической синтетической химии для получения супрамолекулярных ансамблей, координационной химии комплексов и физической химии для из-

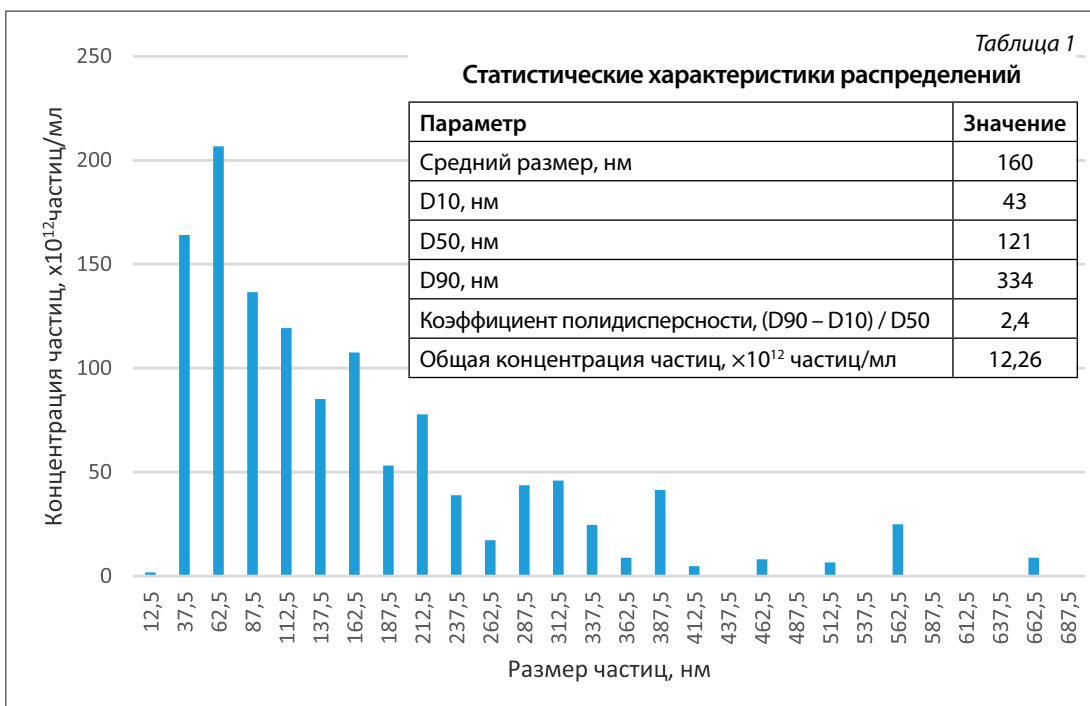


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул сульфата глюкозамина в альгинате натрия (соотношение «ядро : оболочка» 1:3)

учения взаимодействий компонентов, биохимии — рассмотрения функционирования супрамолекулярных ансамблей. Ксупрамолекулярным свойствам относятся

самосборка и самоорганизация [4; 5]. В супрамолекулярной химии для достижения контролируемой сборки молекулярных сегментов и спонтанной органи-

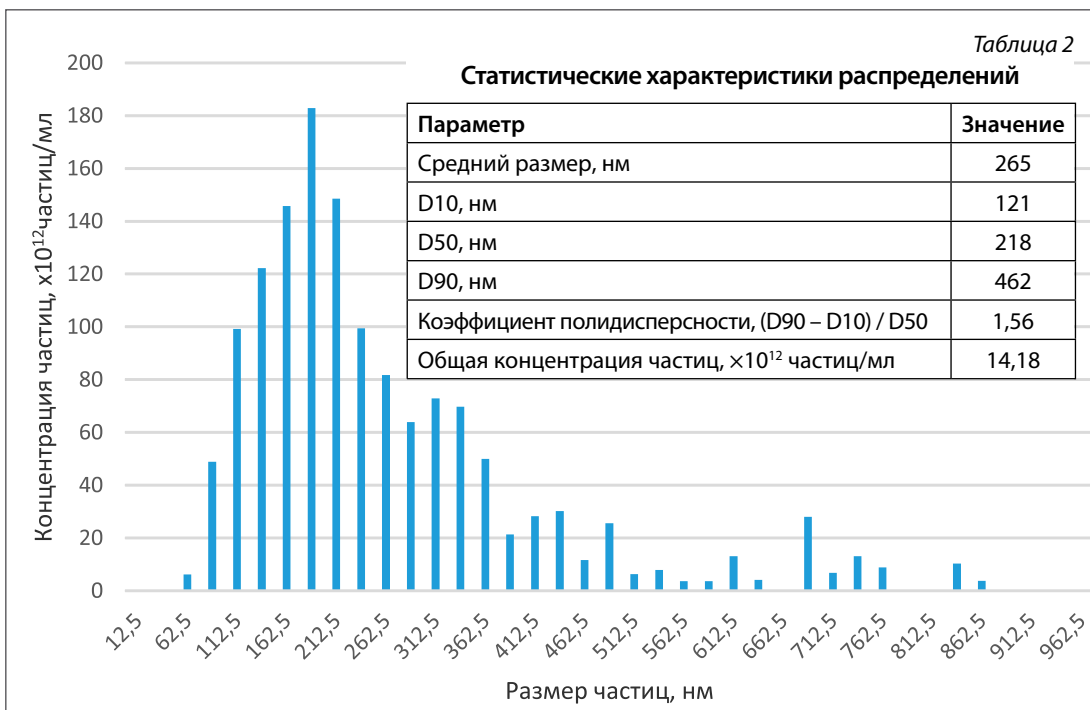


Рис. 3. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул сульфата глюкозамина в альгинате натрия (соотношение «ядро : оболочка» 1:1)

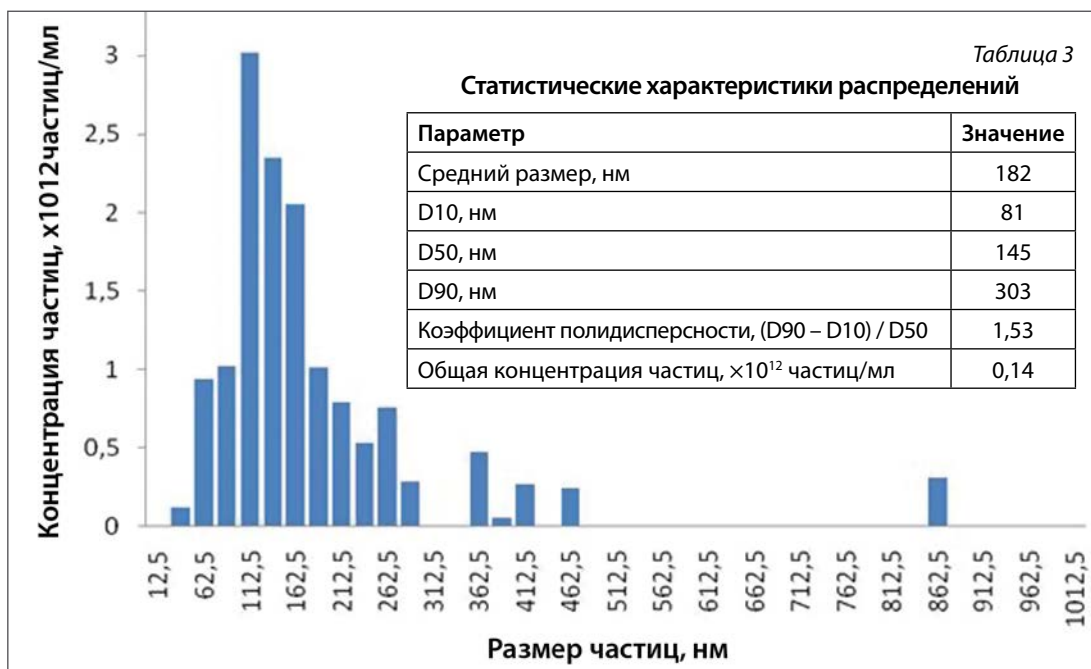


Рис. 4. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул сульфата глюкозамина в конжаке гумм (соотношение «ядро : оболочка» 1:3)

зации молекул в стабильной структуре используют нековалентные взаимодействия [6; 7]. Самоорганизующиеся структуры можно имитировать как аспекты биологических систем: искусственные клетки мембран, ферментов или каналы [8].

Как видно из таблиц 1–3, коэффициент полидисперсности в конжаке гумм при соотношении «ядро : оболочка» 1:3 и в альгинате натрия при соотношении «ядро : оболочка» 1:1 составляет 1,53 и 1,56 соответственно, что позволяет говорить о том, что нанокapsулы в этом случае приближаются к шаровидной форме. А средний размер нанокapsул находится

в пределах 160–182 нм, что позволяет использовать эти препараты для приготовления функциональных продуктов питания лечебного назначения и использования их для продления жизни.

1. Мармелад

На основе вышеуказанного наноструктурированного сульфата глюкозамина был получен мармелад и было выяснено, что он обладает высокими вкусовыми качествами, приятным сладковатым вкусом, студнеобразной консистенцией, правильной формой. Характеристика полученного мармелада представлена в таблице 4.

Таблица 4

Характеристика мармелада

Органолептические и физико-химические показатели качества мармелада	Готовый мармелад
Вкус	Свойственный данному виду мармелада
Цвет	Светло-желтый, свойственный яблочному пюре
Запах	Свойственный данному виду мармелада, без постороннего запаха
Поверхность	Блестящая, ровная
Консистенция	Студнеобразная, нежная
Кислотность, град.	5,7

Таблица 5

Физико-химические показатели полученных йогуртов

Характеристика	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5
Продолжительность сквашивания	6	6	6	6	6
Активная кислотность, рН	5,0	5,1	4,9	5,0	5,0
Продолжительность хранения, сут.	14	14	14	14	14

Таблица 6

Характеристика органолептических показателей

Пример	Внешний вид, консистенция	Вкус и запах	Цвет
1	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Сладковато-кислый вкус без посторонних запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
2	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Выраженный кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
3	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Сладковато-кислый вкус без посторонних запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
4	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Выраженный кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
5	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Выраженный кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе

Примечание. Пример 1 — использовался альгинат натрия, пример 2 — использовался конжак гумм, пример 3 — использовался каррагинан, пример 4 — использовалась кантановая камедь, пример 5 — использовался каппа-каррагинан.

2. Йогурт

Также был получен йогурт, содержащий наноструктурированный сульфат глюкозамина, и исследованы его свойства. Физико-химические и органолептические показатели полученного йогурта представлены в таблицах 5, 6.

3. Кефир

Физико-химические и органолептические показатели полученного кефира представлены в таблицах 7, 8.



Таблица 7

Физико-химические показатели полученных кефиров

Характеристика	Кефир 6%-ный	Кефир 3,2%-ный	Кефир 2,5%-ный	Кефир 1,5%-ный
Продолжительность сквашивания	8	8	8	8
Активная кислотность, рН	4,8	5,0	4,9	4,8
Продолжительность хранения, сут.	14	14	14	14

Таблица 8

Характеристика органолептических показателей

Пример	Внешний вид, консистенция	Вкус и запах	Цвет
Кефир 6%-ный	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Выраженный кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
Кефир 3,2%-ный	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Выраженный кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
Кефир 2,5%-ный	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Выраженный кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
Кефир 1,5%-ный	Сгусток мелкоструктурированный, однородный, в меру вязкий	Сладковато-кислый вкус без посторонних запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе

Таблица 9

Органолептические свойства ряженки

Наименование показателя	Характеристика
Консистенция и внешний вид	Однородная с ненарушенным сгустком без газообразования жидкость
Вкус и запах	Чистые кисломолочные, с выраженным привкусом пастеризации
Цвет	Светло-кремовый, равномерный по всей массе
Срок сохранности, дней	14

Таблица 10

Органолептические свойства ряженки

Массовая доля жира, %, не менее	4
Кислотность, °Т	90
Массовая доля белка, %	3

4. Ряженка

Органолептические свойства полученного продукта представлены в таблице 9, физико-химические свойства — в таблице 10.

Таким образом, по своим органолептическим и физико-химическим свойствам продукт соответствует ГОСТ 31455-2012.

5. Сметана

Физико-химические и органолептические показатели полученной сметаны из 10%-ных, 20%-ных и 33%-ных сливок представлены в таблицах 11, 12.

Приведенные физико-химические и органолептические свойства сметаны соответствуют техническим условиям ГОСТ 31452-2012.

Таблица 11

Физико-химические показатели полученной сметаны

Характеристика	10%-ная сметана	20%-ная сметана	33%-ная сметана
Продолжительность сквашивания	9	9	9
Активная кислотность, °Т	75	80	80
Массовая доля белка, %	2,6	2,6	2,6
Продолжительность хранения, сут.	14	14	14

Таблица 12

Характеристика органолептических показателей

Пример	Внешний вид, консистенция	Вкус и запах	Цвет
10%-ная сметана	Однородная густая масса с глянцевой поверхностью	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
20%-ная сметана	Однородная густая масса с глянцевой поверхностью	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе
33%-ная сметана	Однородная густая масса с глянцевой поверхностью	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе

Таблица 13

Органолептические свойства творога

Пример	Внешний вид и консистенция	Вкус и запах	Цвет
1	Мягкая, рассыпчатая, без ощутимых частиц молочного белка	Чистые, кисломолочные, без посторонних вкусов и запахов	Белый, равномерный по всей массе
2	Мягкая, рассыпчатая, без ощутимых частиц молочного белка	Чистые, кисломолочные, без посторонних вкусов и запахов	Белый, равномерный по всей массе
3	Мягкая, рассыпчатая, без ощутимых частиц молочного белка	Чистые, кисломолочные, без посторонних вкусов и запахов	Белый, равномерный по всей массе
4	Мягкая, рассыпчатая, без ощутимых частиц молочного белка	Чистые, кисломолочные, без посторонних вкусов и запахов	Белый, равномерный по всей массе

Таблица 14

Физико-химические свойства полученного творога

Пример	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля влаги, %	Кислотность, °Т
1	6,0	16,0	72,0	170
2	3,2	26,5	76,0	170
3	2,5	26,8	76,0	170
4	1,5	31,2	78,0	170

6. Творог

Физико-химические и органолептические показатели полученного творога представлены в таблицах 13, 14.

7. Мороженое

Продукт имеет следующие свойства: кислотность 20–21°Т, вкус и запах чистые, характерные для данного вида мороженого, без посторонних привкусов и запахов; консистенция плотная; структура однородная; цвет равномерный по всей массе; взбитость мороженого — 100%.



Таблица 15

Внешний вид хлеба

Форма	Поверхность корки	Цвет корки
Правильная	Ровная, без подрывов	Равномерный, очень светло-золотистый

Таблица 16

Состояние мякиша

Цвет	Равномерность окраски	Эластичность	Пористость
Белый	Равномерный	Хорошая	Мелкая
Вкус	Хруст	Комкуемость при разжевывании	Крошковатость
Приятный	Отсутствует	Отсутствует	Не крошащийся

Таблица 17

Физико-химические показатели

Влажность, %	Кислотность, град.	Пористость, %
39,8	1,8	68

8. Хлебобулочные изделия

Готовый хлеб характеризуется следующими показателями качества: хлеб имеет поверхность корки ровную, светло-золотистого цвета; цвет мякиша белый, равномерный; эластичность хорошая, пористость мелкая, равномерная, тонкостенная, вкус сладковатый (табл. 15–17).



ВЫВОДЫ

Исследование получения функциональных продуктов питания лечебного назначения показало, что использование в качестве наноингредиента сульфата глюкозамина позволяет получать продукты питания, которые могут продлевать активную жизнь потребителям.

Библиографический список

1. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12171689>.
2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3988823/>.
3. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4342228.
4. Григорьев Ф.В., Романов А.Н., Лайков Д.Н. и др. Методы молекулярного моделирования супрамолекулярных комплексов: иерархический подход // Российские нанотехнологии. — 2010. — № 5–6. — С. 47–53.
5. Зоркий П.М., Лубнина И.Е. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы // Вестн. Моск. ун-та. — 1999. — № 5. — С. 300–307.
6. Rohit K. Rana, Vinit S. Murty, Jie Yu. Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchically Ordered Microcapsule Structures // Advanced Materials. — 2005. — Vol. 17. — P. 1145–1150.
7. Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes. Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions / Journal of The Royal Society of Chemistry. — 2011.
8. Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler. Polymerization of and within self-organized media / Current Opinion in Colloid and Interface Science. — 2003. — Vol. 8. — P. 164–178.