



DOI 10.33920/igt-2106-01

УДК 620.3:615.214.24

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИЕ АМИНОКИСЛОТЫ: СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

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»

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

В.А. Васильева, студентка кафедры технологии продуктов питания ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

В работе приведены свойства наноструктурированного «Сел-Плекса», определены самоорганизация и размеры частиц с помощью метода NTA. Показано, что средний размер нанокapsул существенно не зависит от природы оболочки и составляет 217–245 нм. Предложено использовать наноструктурированный «Сел-Плекс» как селенсодержащий препарат при производстве мармелада и хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: наноструктурированный «Сел-Плекс», самоорганизация, метод NTA, функциональные продукты, мармелад, хлебобулочные изделия.

NANOSTRUCTURED SELENIUM-CONTAINING AMINO ACIDS: PROPERTIES AND APPLICATIONS IN THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL FOODS

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

E.M. Mamaeva, student of the Department of Food Technology and Commodity Science, Regional Open Social Institute
V.A. Vasilieva, student of the Department of Food Technology, Belgorod State National Research University

The paper presents the properties of nanostructured Sel-Plex; self-organization and particle sizes are determined using the NTA method. It is shown that the average size of nanocapsules does not significantly depend on the nature of the shell and is 217–245 nm. It is proposed to use nanostructured Sel-Plex as a selenium-containing preparation in the production of marmalade and bakery products.

Keywords: nanostructured Sel-Plex, self-organization, NTA method, functional products, marmalade, bakery products.

ВВЕДЕНИЕ

Селен относится к микроэлементам с чрезвычайно низкой потребностью. Первое упоминание в литературе, касающееся биологической роли селена, относится к 1842 году, когда Jarha обнаружил, что *Bacillus ferreus* обладают способностью восстанавливать соединения селена. В 1885 году Кпор показал, что добавление селена в воду для растений не вызывало изменения их роста, но селен тем не менее поглощался. В 1890 году Chabrie и Laricque продемонстрировали, что добавление селена в бульон препятствует его разложению. Проводилось множество исследований, подтвердивших влияние селена на окислительные процессы клеточного метаболизма. Однако до 1957 года селен рассматривался лишь как токсичный компонент пищи, описывались многочисленные случаи отравлений селеном и его соединениями. И только в 1957 году Schwartz и Foltz продемонстрировали эссенциальность селена. Было доказано, что недостаток селена в пище у животных приводит к развитию миодистрофии, кардиомиопатии и циррозу печени. Глубокий алиментарный недостаток селена у людей встречается в эндемичных районах и протекает в виде болезни Кешана (поражение сердца, печени, скелетных мышц) и болезни Кашина-Бека (остеопатия преимущественно детского возраста).

Роль селена для человека была установлена при исследовании селенодефицитной кардиомиопатии в Китае в 1960-х годах, названной болезнью Кешана. Она характеризуется дистрофией мышцы сердца, аритмией, увеличением размеров сердца и точечными

омертвлениями сердечной мышцы, за которыми часто следует сердечная недостаточность.

Биохимические механизмы, лежащие в основе действия селена, до сих пор точно не установлены, хотя, по имеющимся данным, они могут быть связаны с несколькими позициями. Во-первых, со стимуляцией иммунитета. Во-вторых, селен, будучи антиокислителем, обладает защитным влиянием на цитоплазматические мембраны, не допуская как их изменения, так и генетических нарушений ДНК, способствуя таким образом нормальному росту клеток. В-третьих, известно, что селен наряду с кобальтом и магнием является фактором, противодействующим нарушениям хромосомного аппарата, который несет в себе генетический материал, контролирующей нормальную жизнедеятельность клеток [1; 2].

Основной пищевой формой селена является селенометионин. Он хорошо абсорбируется в кишечнике. Дальнейшая его судьба двоякая: включение в состав белка вместо метионина либо распад до селенида (H_2Se). Последний путь обеспечивает реализацию биологической активности селена. Связана она в основном с селензависимыми белками. На настоящий момент их описано более двадцати. Существует сложный процесс включения селена в состав селензависимых белков. Сначала селен, поступивший с пищей, превращается в селенид (SeH_2). Следующий шаг — образование селенофосфата, который служит субстратом для превращения серил-тРНК в селеноцистеил-тРНК. Причем селеноцистеил-тРНК соответствует кодону м-РНК

UGA (являющемуся одновременно и стоп-кодоном), в связи с чем селеноцистеин называют 21-й аминокислотой.

К селензависимым белкам относятся глутатион-пероксидазы, тиоредоксинредуктазы, тиреоиддейодиназы, а также селенопротеины P, W, T, M и т.д. Биохимическая роль селензависимых белков определяется их участием в протекании окислительно-восстановительных реакций, причем основная роль отводится именно селеноцистеину.

Глутатион-пероксидазы (GPX 1–6) являются основными ферментами антиоксидантной защиты. Функцией глутатион-пероксидаз является поддержание стабильной внутриклеточной концентрации восстановленного глутатиона. Наиболее изученной является цитозольная глутатион-пероксидаза (GPX1). Несмотря на широкое убеждение в том, что GPX1 является основным антиоксидантным ферментом, прямое доказательство этому было получено лишь 10 лет назад с появлением методик трансгенных мышей. Доказано, что GPX1 играет основную протективную роль при развитии оксидантного стресса. В эксперименте показана линейная зависимость между активностью GPX1 и выживаемостью мышей в условиях выраженного оксидантного стресса. Кроме того, активность GPX1 более зависима от содержания селена по сравнению с другими ферментами, а потому активность GPX1 в эритроцитах является простым и чувствительным показателем селенового статуса организма. Внутриклеточный и тканевой уровень GPX1 также влияет на активность апоптотических путей, фосфорилирование протеинкиназ. Следует подчеркнуть, что гиперэкспрессия GPX1 приводит к развитию инсулинорезистентности и ожирению. Накоплены экспериментальные данные о связи изменения экспрессии GPX1 с этиологией рака, сердечно-сосудистых и аутоиммунных заболеваний, диабета. Проводятся также

клинические исследования роли GPX1. В недавнем исследовании показано, что низкий уровень GPX1 в эритроцитах значительно повышает риск сердечно-сосудистых заболеваний: инфаркта миокарда, инсульта (ОШ 2,3, 95% ДИ 1,4–4,0, $p = 0,002$). При сочетании низкого уровня GPX1 и распространенного атеросклероза вероятность сердечно-сосудистых событий составила 36,9% ($p < 0,0001$).

Другими важными селенопротеинами являются тиоредоксинредуктазы (TrxR), которые относятся к семейству пиридиновых оксидоредуктаз. Особенностью тиоредоксинредуктаз является наличие С-концевого селеноцистеинового остатка, вместе с соседним цистеином формирующего активный селеносульфидный сайт. Тиоредоксинредуктазы отличаются очень широкой субстратной специфичностью: помимо тиоредоксина, они восстанавливают многие низкомолекулярные соединения, окисленные гидроперекиси, являются ключевыми ферментами метаболизма селена.

Селенопротеин P является основным внеклеточным источником селена, составляя до 6–7 мкг селена/дл плазмы. Селенопротеин P является хорошим маркером нутрициологической обеспеченности селеном. Селенопротеин P — единственный белок, содержащий более одного атома селена (при высокой обеспеченности селеном может содержать до 10 атомов). Предполагается, что селенопротеин P выполняет функцию транспорта селена к различным тканям, главным образом к головному мозгу. Экспериментально было показано, что введение селенита натрия приводит к значительному увеличению содержания селенопротеина P в мозге (по сравнению с другими тканями), причем в условиях дефицита селена захват мозгом селенопротеина P повышается в 5 раз; при этом низкомолекулярные соединения селена мозгом не утилизируются. Более того, было показано, что генетический дефи-

цит селенопротеина Р у трансгенных мышей приводит к снижению экспрессии других селенопротеинов в мозге; предположительно это связано с механизмом биосинтеза селенопротеинов: в условиях клеточного дефицита селена кодон UGA, кодирующий селеноцистеин, начинает играть роль стоп-кодона и синтез селено-белка обрывается. Снижение активности Se-BP1 или SELENBP1 (selenium-binding protein 1) патогномично для шизофрении, при обострении падает до критических цифр, при восполнении наблюдается улучшение состояния. Кроме того, селенопротеин Р также выполняет и антиоксидантные функции [1; 2].

Функции других селенопротеинов менее изучены. Известно, однако, что селенопротеин Н играет роль редокс-зависимого регулятора транскрипции для генов глутатиона и детоксикации. Селенопротеин К также является антиоксидантом, преимущественно в кардиомиоцитах. Генетические дефекты селенопротеина S являются фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, особенно у женщин: масштабное популяционное исследование FINRISK, включившее более 2000 участников, выявило, что женщины — носители минорных аллелей генов SelS имеют в 2 раза больший риск ИБС (95% ДИ 1,37–6,39) и в 3,35 раза больший риск ишемического инсульта (95% ДИ 1,66÷6,76). Другой Se-протеин — Se-протеин-W оказался важным буфером против отравления мозга метилртутью. Кроме того, селенопротеин W играет определяющую роль в росте и дифференцировке мышечной ткани. А мутации гена селенопротеина N являются причиной развития одной из форм врожденной миопатии. В целом наиболее изученной функцией селена является регуляция антиоксидантных процессов во всех органах и тканях, прежде всего в ЦНС. Более того, показана связь окислительно-восстановительных процессов и апоптоза. Помимо этого, было показа-

но, что взаимодействие селена с цинк-фингерными белками необходимо для процессов репарации ДНК. Нарушение этих процессов ведет к нестабильности генома и, как следствие, канцеро- и мутагенезу. Важнейшую роль играет селен для функционирования иммунной системы. Так, в условиях дефицита селена нарушаются процессы антигензависимой пролиферации лимфоцитов, хемотаксис нейтрофилов, снижается уровень IgA, IgG, IgM. Другая важная роль селена заключается в антагонизме с тяжелыми металлами. Показано протективное значение селена при накоплении в организме кадмия, ртути, ванадия.

Установлена близкая связь его с витамином Е и серосодержащими аминокислотами. Образующийся комплекс назван фактором 3. Селен входит в состав фермента глутатионпероксидазы. Этот фермент содержит четыре атома селена, и активность его зависит от содержания селена в пище. Наибольшей активностью глутатионпероксидазы обладает плазма крови, в убывающем порядке находятся печень, сердце, почки, эритроциты, язык и скелетные мышцы. Глутатионпероксидаза, особенно в отсутствие витамина Е в пище, играет главную роль в детоксикации перекисей жирных кислот, восстанавливая их в нетоксичные оксикислоты. Селен влияет на метаболизм серы за счет своего сходства с ней.

Селен обладает противораковым действием, стимулирует иммунитет, способствует нормальному росту клеток (противодействует нарушениям хромосомного аппарата), ускоряет процесс рассасывания и заживления омертвевшей зоны инфаркта миокарда. Путем антиокисления препятствует развитию катаракты. По расчетам американских ученых, люди с низким содержанием селена в организме имеют в 2 раза больший риск заболеть раком, чем люди с высоким его уровнем, особенно это характерно для рака же-

лудочно-кишечного тракта и предстательной железы. Селен способствует нормальному росту и развитию организма, предупреждает ущерб, наносимый в результате табакокурения.

Селен является одним из ключевых микроэлементов, обеспечивающих нормальную функцию ферментативной антиоксидантной системы организма. В отдельных случаях он может выполнять функции витамина Е, повышать выработку эндогенных антиоксидантов белковой и липидной природы, влиять на многие стороны метаболизма и синтеза в организме. Селен в комбинации с витаминами Е и А в значительной степени защищает организм человека от радиоактивного облучения. Известно биологическое взаимодействие селена не только с витаминами А и Е, но и с другими микроэлементами. Селен — достаточно мощный антиоксидант, он стимулирует образование антител и этим повышает защиту от простудных и инфекционных заболеваний, участвует в выработке эритроцитов, способствует поддержанию и продлению сексуальной активности. На фоне недостаточного содержания селена в организме у многих людей отмечается более тяжелое течение гриппа. В ходе экспериментов на лабораторных животных те из них, которые не получали с пищей достаточно селена, болели тяжелее, а инфекция у них сопровождалась более выраженными изменениями в организме. По мнению ученых, селен участвует в деятельности иммунной системы.

В отличие от других микронутриентов, которые связаны с определенными белками и модулируют их активность, селен включен в состав белков в виде аминокислот под названием «селеноцистеины», поясняют ученые. Эти селеноцистеины имеют особенно важное значение для уменьшения воспаления, вызванного инфекцией, тем самым задерживая ее распространение.

При заражении человека вирус быстро разрушает селеноцистеины. Медикам пока не известно, каким образом блокируется их действие, но предположительно виновником является ключевой белок при быстром клеточном делении — белок Tat. Tat образуется на первых стадиях инфицирования ВИЧ, как и другие 14 белков. Их функции заключаются в том, чтобы контролировать гены для выживаемости вируса. Селенопротеин TR1 тоже служит целью для Tat. Исследователи решили, что логическое решение в борьбе с вирусом — повышение выработки таких белков в организме. Изолированные кровяные клетки здорового добровольца были инфицированы ВИЧ-инфекцией, а затем в них добавили крошечные соединения селена. Эксперимент подтвердил гипотезу, что увеличение выражения TR1 нарушает химическую структуру Tat и таким образом помогает эффективно бороться с вирусом, десятикратно предотвращая его активность.

При недостатке селена в питании проявляются сердечно-сосудистые заболевания, снижение иммунитета, болезни печени и поджелудочной железы, сопровождающиеся нарушением усвоения жиров и возникновением дефицита жирорастворимых витаминов, в частности витамина Е. Один из факторов развития анемии у недоношенных детей и бесплодия у мужчин.

Дефицит селена в России очень широко распространен, и в областях с наиболее резким дефицитом этого элемента патология репродуктивной сферы (включая мастопатию и опухоли молочных желез) встречается достоверно чаще. Происхождение дефицита селена носит не только эндемичный характер (Иркутская, Читинская области, Бурятия и другие регионы, где отмечается более высокий уровень нарушения репродуктивного здоровья и селензависимой онкологической заболеваемости),

но и может быть следствием применения женщинами особых ограничительных диет. Так, низкобелковые диеты дают критически низкие уровни селена в пище. Его значительный дефицит предполагается у жителей Беларуси, Ленинградской, Ярославской и Архангельской областей, Карелии. Данные прогноза Института питания РАМН относят к территориям дефицита селена Нечерноземный район, Центральную Россию, Вологодскую, Кировскую, Свердловскую области, Башкортостан, Удмуртию, Чувашию, Северный Казахстан, Дальний Восток.

При дефиците селена у больных снижается уровень селена в крови, но еще раньше падает активность Se-глутатионпероксидазы (GPX) — одного из основных антиокислительных ферментов. Селен необходим для регенерации фермента. Другой мишенью действия дополнительного приема физиологических доз селена, особенно в комплексе с физиологическими дозами марганца, может быть снижение на этом фоне вероятности разрывов цепи ДНК, что снижает активизацию патологических генов, приводящих к манифестации онкологического процесса в молочной железе. Достаточная активность GPX в этом процессе играет защитную роль.

Антиканцерогенные эффекты селена проявляются только в определенном физиологическом диапазоне дозировки (25–100 мкг, максимум 200 мкг). Интересно, что попытки увеличить дозу селена с антиканцерогенной целью успеха не имели. Мегадозы селена (от 5 мг/сут), напротив, потенцируют онкогенез, высокие дозы (800–1000 мкг/сут), как и низкие дозы (менее 10 мкг/сут), не профилактируют опухоли молочной железы, тогда как физиологические дозы в диапазоне от 25 до 200 мкг/сут в зависимости от возраста снижают риск возникновения различных опухолей в популяции. Позднее выявлены радиопротекторные

эффекты селена в зонах повышенного радиоактивного загрязнения и при проведении лечения опухолей изотопами. Дополнительное введение селенита натрия увеличивало продолжительность жизни животных с моделируемой облучением опухолью молочной железы.

Исследования показали антиканцерогенный биохимический механизм воздействия селена при эстроген-рецепторно-зависимом раке груди (ER-positive MCF-7). Применение селена (в форме метилселеновой кислоты, MSA) ингибировало эстрогеновые рецепторы альфа (ER-alpha), что объясняет механизм не только превентивного действия селена у женщин с высоким риском опухоли молочной железы, но и терапевтическую обоснованность стратегии его применения для борьбы с уже развившимся эстроген-рецепторно-зависимым раком груди. MSA модулировал активность сигнального белка pS2 и снижал избыточный уровень выработки эстрадиола, обусловленный генетически измененными клетками опухоли. Выявлена дифференцированная регуляция селеном преимущественно ER-alpha-зависимого рака груди в сравнении с ER-beta-бетазависимым процессом. Доказано сдерживание роста эстроген-рецепторно-зависимого рака груди (ER-positive в клетках MCF-10AT1, ER-positive в клетках MCF-10AT3B) под воздействием селена (MSA).

Селен индуцирует активность оксидоредуктаз (ID), регулирующих активность тироксина. Тиреоредоксинредуктаза (TRX) — важный фермент с точки зрения развития мастопатии и опухолей молочной железы. Оксидоредуктаза 1 (ID1) обслуживает дейодинизацию T4–T3 в обмене йода в щитовидной железе, печени, почках, участвует в биосинтезе Se-цистеина — основного депо селена в организме, ID3 обслуживают дейодинизацию T4–T3 в обмене йода в щитовидной железе, плаценте и мозге, ID2 — дейодинизацию T4–T3 в обмене йода в буром жире,

плаценте, мозге и гипофизе. Исследования показали, что уровень селена и активность Se-TRX регулируют ангиогенез, действуя на эндотелиальный фактор роста в опухоли молочной железы [1].

Отсутствие или дефицит селена снижают иммунный ответ. В районах, где наблюдается недостаточное потребление селена, увеличивается рост онкологических заболеваний. Имеются сообщения, что селен способен снижать заболеваемость раком почти на 40% и уменьшать смертность от рака до 50%. Популяционными исследованиями установлено, что в тех регионах мира, где более высокое содержание селена в почве, значительно ниже показатели заболеваемости раком легких, прямой кишки, матки. Низкое содержание селена отмечается у больных хронической ИБС, инфарктом миокарда, бронхиальной астмой.

В последние десятилетия появились исследования, согласно которым дефицит селена, возможно, является одной из причин развития кешанской болезни и болезни Кашина-Бека. Известно, что основные очаги кешанской болезни встречаются в некоторых провинциях Китая — «болезнь Кешань» (по наименованию провинции, где она изучалась). В этих очагах детская кардиомиопатия, обусловленная селеновой недостаточностью, предупреждалась назначением селенометионина в дозе, соответствующей 150 мкг селена в сутки. От содержания в сыворотке селена зависит относительное количество НК-клеток. О том, что селен способен стимулировать функцию этих клеток, свидетельствует его способность достоверно снижать смертность у мышей, зараженных вирусом Коксаки. Выявлена корреляция между концентрацией в плазме селена и содержания CD4⁺-лимфоцитов ($P < 0,01$). Увеличение потребления селена приводит к повышению их активности, увеличению на них числа рецепторов к IL2, улучшению миграционной способности лимфоцитов.

Имеются немногочисленные данные и об отравлении селеном человека. При избытке селена в питании возможны поражения ногтей и волос, желтушность, шелушение кожи, повреждение эмали зубов, артриты, анемия, нервные расстройства, хронические дерматиты, постоянная усталость и потеря аппетита, депрессия, гастроэнтерит, дегенерация печени и увеличение размеров селезенки.

Возможные факторы уменьшения селена в организме: самый опасный враг селена — углеводы (сладкие и мучные продукты), в их присутствии селен почти не усваивается организмом. Много селена теряется в процессе обработки продуктов. Например, в консервах и концентратах его в 2 раза меньше, чем в свежих продуктах. Витамин С может приводить к ухудшению всасывания селена при приеме его неорганических форм.

Дополнительный прием селена необходим: людям, потребляющим малокалорийную или недостаточно богатую питательными веществами пищу, а также тем, кто испытывает повышенную потребность в питательных веществах; жителям регионов, где почвы бедны селеном; людям, страдающим глютеновой болезнью; больным СПИДом и ВИЧ-инфицированным.

Содержание селена в некоторых продуктах питания приведено в таблице 1 (содержание селена в продуктах во многом определяется его концентрацией в почве) [3; 4].

Суточная потребность — 10–70 мкг. При этом для детей до 6 месяцев — 10 мкг, от 6 месяцев до года — 15 мкг, от 1 до 3 лет — 20 мкг, от 4 до 6 лет — 20 мкг, от 7 до 10 лет — 30 мкг; мужчины от 11 до 14 лет — 40 мкг, от 15 до 18 лет — 50 мкг, от 19 лет и старше — 70 мкг; женщины от 11 до 14 лет — 45 мкг, от 15 до 18 лет — 50 мкг, от 19 лет и старше — 55 мкг. Рекомендации ВОЗ — 50 мкг. Токсическая доза — 5 мг.

К селен-дефицитным регионам России относятся Северо-Западный регион

(Карелия, Ленинградская область), Верхнее Поволжье (Ярославская, Костромская, Ивановская области), Удмуртия и Забайкалье. В этих регионах суточная потребность в селене выше — до 100 мкг.

Интересно, что в присутствии углеводов (сладкие и мучные продукты) селен почти не усваивается организмом.

Селен в организме человека находится в основном в мышцах. Обмен его непосредственно связан с обменом витамина Е. Селен стимулирует синтез белка и процессы роста. Избыточное поступление его с пищей способствует развитию кариеса зубов.

Почти половина селена, содержащегося в мужском организме, находится в семенных канальцах яичек. Он теряется с эякулятом. Поэтому для мужчин, ведущих активную сексуальную жизнь, потребность в этом микроэлементе выше, чем у женщин. Активность селена повышается в присутствии другого антиоксиданта — витамина Е. В районах, где потребление селена недостаточно, отмечается рост раковых заболеваний. Рацион населения индустриально развитых стран беден этим микроэлементом, поэтому требуются дополнительные его источники.

В данной работе авторы использовали селеносодержащий ингредиент на примере препарата «Сел-Плекс». Препарат получен микробиологическим методом — выделен из дрожжевых клеток. Содержит селен преимущественно в составе аминокислот селенометионина (50%) и селеноцистина (25%), а также в составе других органических соединений. Общее содержание селена — 1000 мг/кг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Размеры полученных нанокapsул определяли методом НТА, а также проводились исследования супрамолекулярных свойств капсул с помощью самоорганизации.

Таблица 1

Содержание селена в продуктах питания

Продукт	Содержание, мкг%
Арахис	7,2
Баранина	30
Говядина	5–19
Горошек зеленый (консервированный)	13,1
Кокосовый орех	810
Корюшка	123
Крупа гречневая	8,3
Крупа рисовая	15,1
Кукуруза сладкая	30
Нут	28,5
Омары	65
Орех бразильский	103
Орех мускатный	19
Осьминог	44,8
Отруби пшеничные	63
Перец молотый красный	8,8
Печень баранья	82,4
Печень говяжья	39,7
Печень гусиная	68,1
Печень индейки	70,8
Печень куриная	54,6
Печень свиная	52,7
Печень утиная	67
Пшеница пророщенная	110
Репка	27
Рис небеленый	39
Сардины	60
Свинина	12
Семечки подсолнечника	53
Сердце баранье	32
Сердце говяжье	21,8
Сыр	10
Тмин	12,1
Фисташки	19
Хлеб из цельного зерна	66
Цыплята	12
Чеснок	14,2
Чечевица	19,6
Яйцо куриное	31,7

Исследование самоорганизации нанокапсул проводили следующим образом. Порошок наноструктурированного «Сел-Плекса» растворяли в воде, каплю наносили на предметное стекло и выпаривали. Высушенную поверхность исследовали на микроскопе «Микромед 3» вар. 3–20. На этом же приборе получена микрофотография с самоорганизацией, которая представлена на рис. 1.

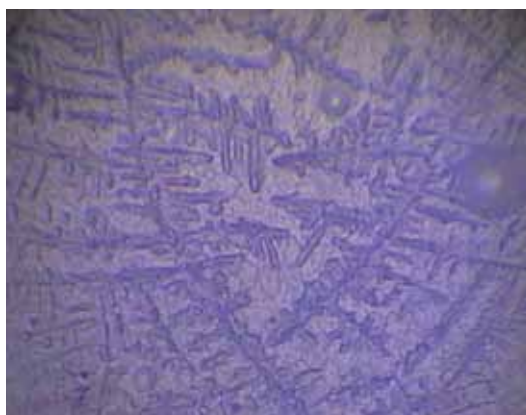
Исследование размеров наноструктурированного «Сел-Плекса» проводили на мультипараметрическом анализаторе наночастиц Nanosight LM10 производства Nanosight Ltd (Великобритания) в конфигурации HS-BF (высококочувствительная видеокамера Andor Luca, полупроводниковый лазер с длиной волны 405 нм и мощностью 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 215 s, использование шприцевого насоса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Супрамолекулярная химия использует законы органической синтетической химии для получения супрамолекулярных ансамблей, координационной химии комплексов и физической химии для изучения взаимодействий компонентов, биохимии для рассмотрения функционирования супрамолекулярных ансамблей. К супрамолекулярным свойствам относятся самосборка и самоорганизация [5; 6]. В супрамолекулярной химии для достижения контролируемой сборки молекулярных сегментов и спонтанной организации молекул в стабильной структуре используют нековалентные взаимодействия [7; 8]. Самоорганизующиеся структуры можно имитировать как аспекты биологических систем: искусственные клетки мембран, ферментов или каналы [9].

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



а



б

Рис. 1. Микроскопическое изображение наноструктурированного «Сел-Плекса»: а) в ксантановой камеди, увеличение в 400 раз, концентрация 0,125%, соотношение «ядро : оболочка» 1:3; б) в альгинате натрия, увеличение в 400 раз, концентрация 0,125%, соотношение «ядро : оболочка» 1:2



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



Рис. 3. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул «Сел-Плекса» в ксантановой камеди (соотношение «ядро : оболочка» 1:3)

Таблица 4

Органолептические и физико-химические показатели 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	5,6–5,7

Как видно из таблиц 2 и 3, коэффициент полидисперсности в изученных оболочках находится в пределах 1,48–1,67, что позволяет предположить, что геометрия нанокапсул «Сел-Плекса» приближается к шаровидной. При этом средний размер нанокапсул составляет 217–245 нм, что позволяет использовать полученные продукты при производстве мармелада и хлебобулочных изделий.

Органолептические и физико-химические показатели готового мармелада приведены в таблице 4.

Готовый хлеб характеризуется следующими показателями качества: хлеб имеет поверхность корки ровную, светло-золотистого цвета; цвет мякиша белый,



Таблица 5

Внешний вид хлеба

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

Таблица 6

Состояние мякиша

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

Таблица 7

Физико-химические показатели

Влажность, %	Кислотность, град	Пористость, %
38,8–39,8	1,8–1,9	68–72



равномерный; эластичность хорошая, пористость мелкая, равномерная, тонкостенная, вкус сладковатый (табл. 5–7).

ВЫВОДЫ

Полученные в работе результаты позволяют говорить о том, что синтезированные наноструктурированные препараты на основе «Сел-Плекса» обладают благоприятными размерами и мармелад, а также хлебобулочные изделия, полученные на его основе, являются не только соответствующими ГОСТу, но и обладают функциональными свойствами.

Библиографический список

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. — М.: Медицина, 1991. — 496 с.
2. Блинков И.Л., Стародубцев А.К., Сулейманов С.Ш. и др. Микроэлементы: Краткая клиническая энциклопедия. — Хабаровск, 2004. — 210 с.
3. Лифляндский В.Г. Витамины и минералы. От А до Я. — СПб.: Нева, 2006. — 640 с.
4. Тырсин Ю.А., Кролевец А.А., Чижик А.С. Микро- и макроэлементы в питании. — М.: ДеЛи плюс, 2012. — 224 с.
5. 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.
6. Зоркий П.М., Лубнина И.Е. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы // Вестн. Моск. ун-та. — 1999. — № 5. — С. 300–307.
7. Rohit K. Rana, Vinit S. Murty, Jie Yu. Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchically

Ordered Microcapsule Structures // Advanced Materials. — 2005. — Vol. 17. — P. 1145–1150.

8. 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.

9. 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.

References

1. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. Human microelementosis. — M., Medicine, 1991, 496 p.
2. Blinkov I.L., Starodubtsev A.K., Suleimanov S.Sh. and etc. Trace elements: A Brief Clinical Encyclopedia. — Khabarovsk, 2004, 210 p.
3. Lifyandsky V.G. Vitamins and minerals. From A to Z. — SPb., Neva, 2006, 640 p.
4. Tyrsin Yu.A., Krolevets A.A., Chizhik A.S. Micro and macronutrients in nutrition. — M., DeLi plus, 2012, 224 p.
5. Grigoriev F.V., Romanov A.N., Laikov D.N. et al. Methods of molecular modeling of supramolecular complexes: a hierarchical approach / Russian nanotechnology. — 2010. — No. 5–6. — S. 47–53.
6. Zorky P.M., Lubnina I.E. Supramolecular chemistry: emergence, development, prospects / Vestn. Moscow un-that. — 1999. — No. 5. — S. 300–307.
7. Rohit K. Rana, Vinit S. Murty, Jie Yu. Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchically Ordered Microcapsule Structures / Advanced Materials. — 2005. — vol. 17. — P. 1145–1150.
8. 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.
9. 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.