



УДК 620.3:615.214.24

## НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ РИБОФЛАВИН И ЕГО СВОЙСТВА

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

**О.В. Левченко**, инженер лаборатории «Синтез микро- и наноструктур» ЧОУ ВО Региональный открытый социальный институт;

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

**К.М. Семичев**, лаборант-исследователь лаборатории «Синтез микро- и наноструктур» ЧОУ ВО Региональный открытый социальный институт.

В работе приведены свойства наноструктурированного рибофлавина и его использование в функциональных продуктах питания. Показано, что размеры наноструктурированного рибофлавина зависят от природы оболочки. Так, в желатиновой камеди, альгинате натрия и в каррагинане средний размер наночастиц составляет от 147 до 160 нм.

Ключевые слова: нанокапсулы, рибофлавин, самоорганизация, метод NTA.

## NANOSTRUCTURED RIBOFLAVIN AND ITS PROPERTIES

**A.A. Krolevets**, PhD in Chemistry, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Food Technology, Head of the Laboratory for Synthesis of Micro- and Nanostructures, Regional Open Social Institute;

**N.I. Myachikova**, Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Food Technology, Belgorod State National Research University;

**O.V. Levchenko**, Engineer of the Laboratory for Synthesis of Micro- and Nanostructures, Regional Open Social Institute;

**S.G. Glotova**, Associate Professor of the Department of Food Technology and Commodity Research, Regional Open Social Institute;

**K.M. Semichev**, Laboratory assistant and Researcher of the Laboratory for Synthesis of Micro- and Nanostructures, Regional Open Social Institute.

The paper describes the properties of nanostructured Riboflavin and its application in functional food products. It is shown that the dimensions of nanostructured Riboflavin depend on the nature of the shell. The average nanoparticle size in gellan gum, sodium alginate and carrageenan varies from 147 to 160 nm.

Keywords: nanocapsules, Riboflavin, self-organization, nanoparticle tracking analysis (NTA method).

**Р**ибофлавин, или витамин В2 — водорастворимый витамин. Имеются данные о существовании прямой связи между степенью недостаточности рибофлавина у животных и накоплением в крови перекисного окисления липидов (ПОЛ) развитием атеросклероза и катаракты. Эти нарушения указывают на важную роль флавопротеинов в молекулярных механизмах синтеза и распада продуктов ПОЛ.

Недостаток витамина В2 приводит к поражениям кожи (дерматитам), воспалению языка, губ, расширению кровеносных сосудов роговой оболочки, светобоязни, помутнения зрения и др. Недостаточное содержание рибофлавина в организме встречается довольно часто. Бывает так, что человек потребляет много продуктов, содержащих рибофлавин, но тем не менее испытывает дефицит этого витамина. Это происходит по разным причинам. В частности, организм не усваивает или плохо усваивает его из каких-то продуктов. Это нередко наблюдается у больных, страдающих хроническим гастритом с пониженной кислотностью желудочного сока, протекающих с нарушением синтеза ферментов в клетках ее железистой ткани. Недостаточность витамина В2 может возникать при беременности, кормлении грудью, при тяжелой физической



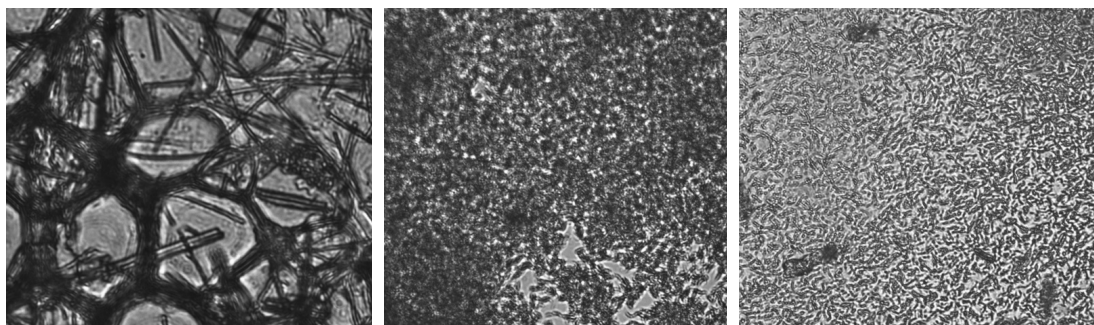
нагрузке, при стрессах, болезнях щитовидной железы, раке.

При тепловой обработке содержание рибофлавина в продуктах снижается на 5-40%. Он также быстро разрушается под действием УФ-излучения и в щелочной среде. Следует отметить, что в обычном пищевом рационе человека содержание витамина В2 недостаточно.

Все вышеперечисленные недостатки витамина В2 отсутствуют у наноструктурированного рибофлавина, именно поэтому мы начали изучать свойства этого соединения.

Самая важная особенность наноструктурированных соединений это возможность построить огромную рабочую поверхность. Главное их применение — это контролируемое освобождение веществ в определенном месте и времени.

Исследование самоорганизации нанокапсул проводили следующим



**Рис. 1.** Конфокальное изображение нанокапсул рибофлавина:

- а) в альгинате натрия, соотношение ядро:оболочка — 1:3, в концентрации 0,25%, увеличение в 1200 раз;  
 б) в агар-агаре, соотношение ядро:оболочка — 1:3, в концентрации 0,25%, увеличение 920 раз;  
 в) в желатиновой камеди, соотношение ядро:оболочка — 1:3, в концентрации 0,25%, увеличение 1200 раз.

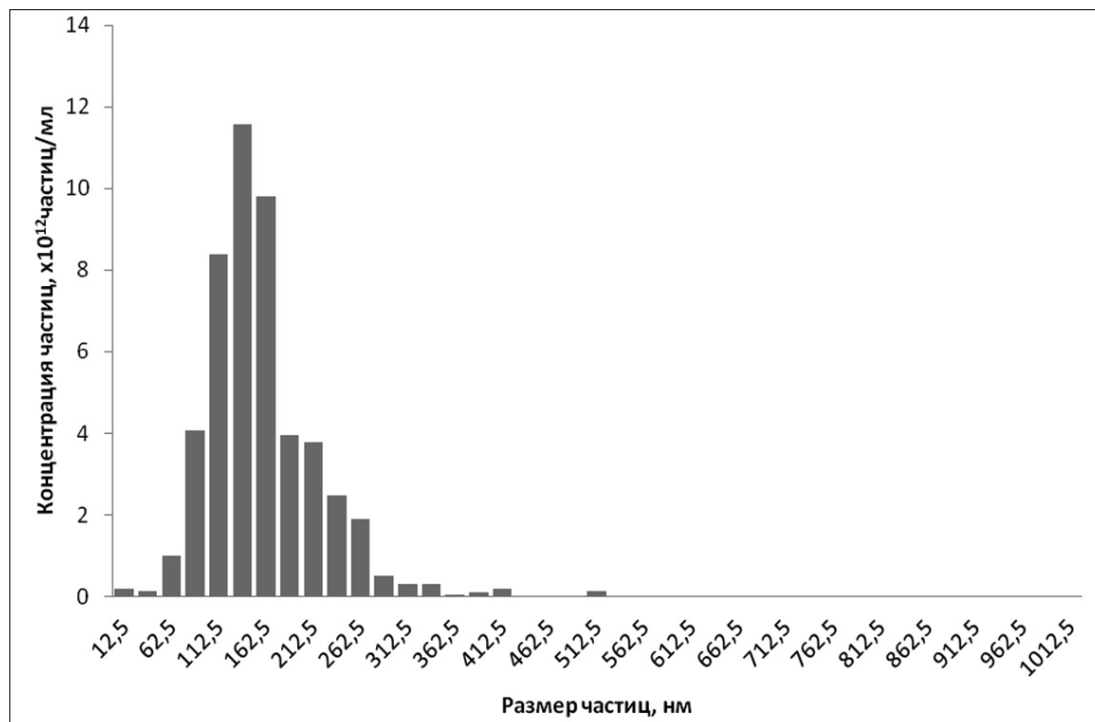
Таблица 1.

Параметр	Значение
Средний размер, нм	158
D10, нм	97
D50, нм	147
D90, нм	235
Коэффициент полидисперсности, (D90- D10)/D50	0.94
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	0.49

образом. Порошок наноструктурированных веществ растворяли в воде, каплю наносили на покровное стекло и выпаривали. Высушенная поверхность сканировали методом конфокальной микроскопии на микроспектрометре OmegaScore, производства AIST-NT (г. Зеленоград), совмещенном с конфокальным микроскопом. Поскольку в водном растворе нанокапсул при их достаточно низкой концентрации обнаружены фрактальные композиции, они обладают самоорганизацией (рис. 1). Образование нанокапсул происходит спонтанно за счет нековалентных вза-

имодействий и это говорит о том, что для них характерна самосборка.

На рисунке 1 представлены самоподобные объекты, инвариантные относительно локальных дилатаций, т.е. фракталы. Известно, что фракталы являются естественным заполнением множеств между известными евклидовыми объектами с целочисленными размерностями. Наличие фрактала указывает на возможность получения совершенно другого полимера при практически неизменном составе макромoleкулы. Этот «новый полимер» будет иметь другие молекулярные ха-



**Рис. 2.** Распределение частиц по размерам в образце нанокапсул рибофлавина в альгинате натрия (соотношение ядро:оболочка — 1:3)

Таблица 2.

Параметр	Значение
Средний размер, нм	135,7
D10, нм	25
D50, нм	96,5
D90, нм	229,7
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	2,12
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	1,56

рактеристики и отличающуюся надсегментальную структуру.

Фрактальная композиция также указывает на процесс самосборки, что указывает на образование нанокапсул.

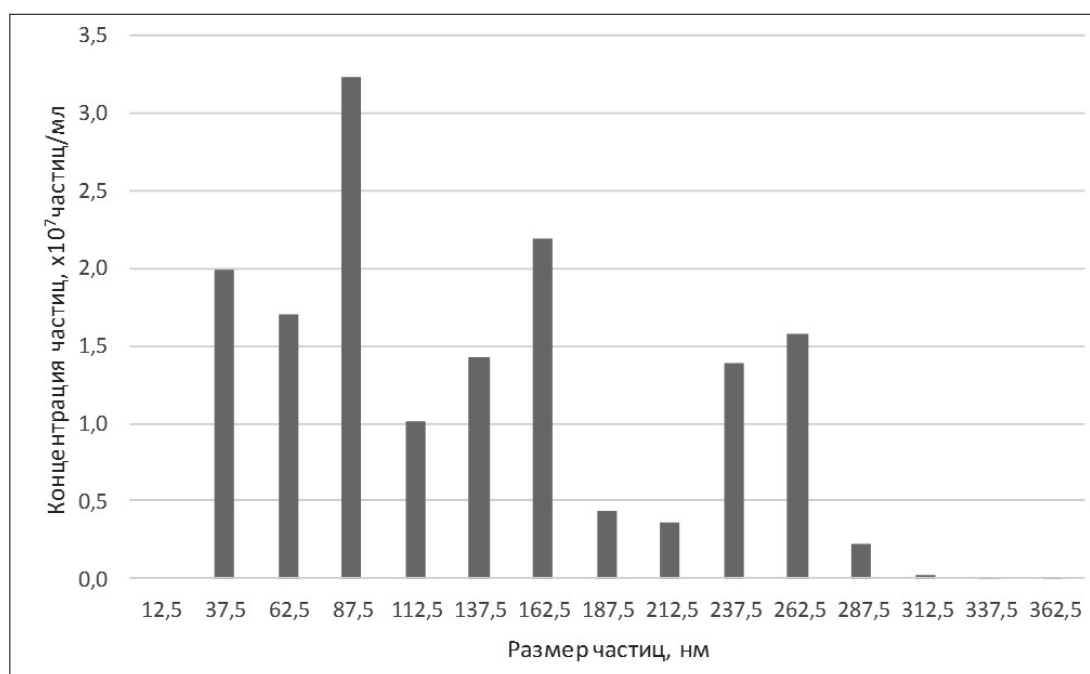
Исследование размера нанокапсул методом NTA осуществлялось на мультипараметрическом анализаторе наночастиц Nanosight LM0 производства Nanosight Ltd (Великобритания) в конфигурации HS-BF (высококонтрастная видеокамера Andor Luca, полупроводниковый лазер с длиной волны 405 нм и мощностью 45 мВт). Прибор основан на методе Анализа траекторий наночастиц (Nanoparticle Tracking Analysis, NTA), описанном в ASTM E2834.

Оптимальным разведением 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 сек, использование шприцевого насоса.

На рис. 2-4 представлены размеры нанокапсул рибофлавина в альгинате натрия, желатиновой камеди и каррагинане.

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 1.

Полидисперсность материала — это неоднородность частиц по крупности или разнофракционность. Коэффи-



**Рис. 3.** Распределение частиц по размерам в образце нанокапсул рибофлавина в желатиновой камеди (соотношение ядро:оболочка — 1:3)

Таблица 3.

Параметр	Значение
Средний размер, нм	160,8
D10, нм	25
D50, нм	93,3
D90, нм	279,7
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	2,73
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	0,56

циент полидисперсности  $k_d$  зависит от средневзвешенной крупности материала. Полидисперсность материала также зависит от медианного диаметра частиц в распределении. Таким образом, наиболее однородными материалами являются те, средневзвешенная крупность которых близка к медианному диаметру, что и показывают данные таблицы 1-3.

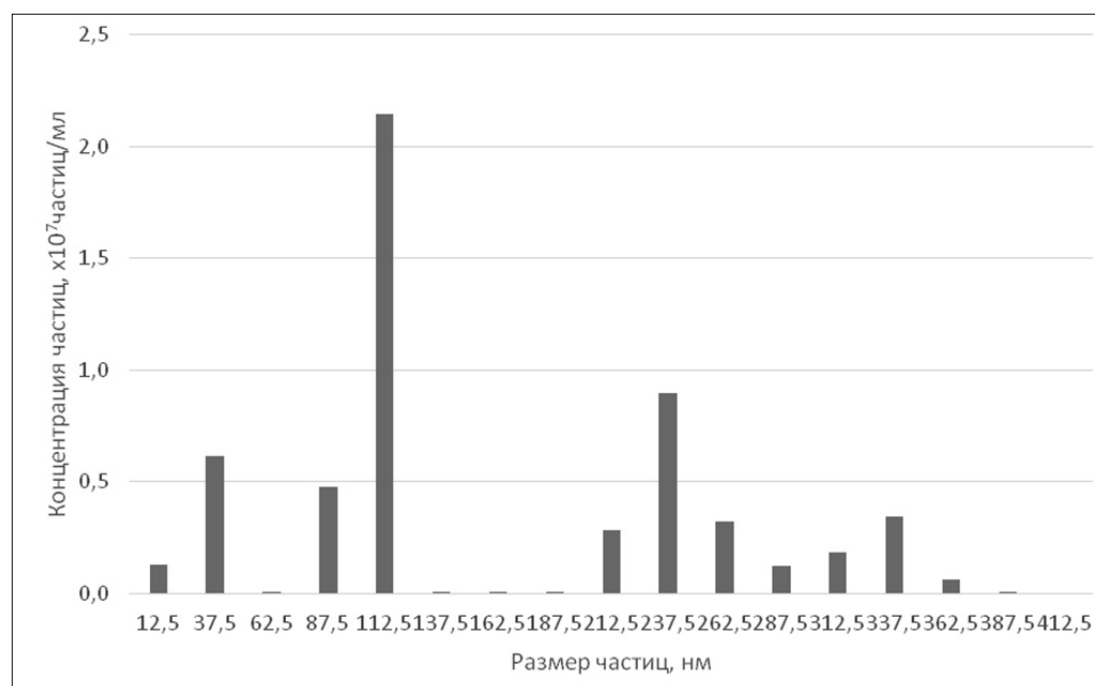
Статистические характеристики распределений приведены в табл. 2.

В результате проведенных исследований нами показано, что наноструктурированный рибофлавин в различных оболочках проявляют супрамолекулярные свойства, средний

размер наночастиц составляет от 135 нм (в желатиновой камеди) до 160 нм (в каррагинане), при этом 50% наночастиц рибофлавина меняется от природы оболочки незначительно и составляет 93-96 нм. Исключение составляет альгинат натрия в котором 50% частиц имеют размер 147 нм.

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 3

Таким образом, полученные в работе результаты, позволяют говорить о том, что наноструктурированный рибофлавин может с успехом применяться в функциональных продуктах питания для их обогащения витамином B2.



**Рис. 4.** Распределение частиц по размерам в образце наночастиц рибофлавина в каррагинане (соотношение ядро:оболочка — 1:3)