

Научная статья

УДК 667.28:547.97:547.917

DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-4-3-10

Влияние антиокислителей на стабильность бета-каротина в мультикомплексных системах

К.Е. Кулишова^{1,2*}, Н. В. Рудометова¹¹ВНИИПД – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Россия, Санкт-Петербург²Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

*ksusha_@list.ru

Аннотация. Для предотвращения дальнейшей деградации частично окисленного бета-каротина разработаны комплексы включения на основе бета-циклодекстрина и антиокислителей: альфа-токоферола (витамин Е), аскорбиновой кислоты и ванилина. Комплексы получали твердофазным способом при интенсивном перемешивании в течение четырех часов при периодическом увлажнении до состояния пасты, далее высушивали в эксикаторе при температуре 2...5°C и измельчали до однородного порошка. Массовую долю бета-каротина в составе комплексов определяли на высокоэффективном жидкостном хроматографе Varian-LC 920 с колонкой Hypersil 5 AA-ODS 200 x 2,1 мм с использованием диодно-матричного детектора с автоматическим управлением и обработкой данных на базе программного обеспечения Galaxie. Рассмотрено влияние антиокислителей и бета-циклодекстрина на стабильность бета-каротина при воздействии ультрафиолетового облучения и при хранении при температуре 2...5°C. Отмечено, что наилучшие результаты наблюдаются у комплексов с включением альфа-токоферола (массовое соотношение бета-циклодекстрин: бета-каротин: альфа-токоферол 2:1:1) и ванилина (массовое соотношение бета-циклодекстрин: бета-каротин: ванилин 6:3:1). Под действием ультрафиолетового облучения деградация бета-каротина в составе комплекса замедляется в 4 (альфа-токоферол) и 3 (ванилин) раза. При длительном хранении окисление бета-каротина в комплексах с добавлением альфа-токоферола и ванилина замедляется на 60%. Стабилизирующее действие аскорбиновой кислоты практически не оказывает влияния на стабильность бета-каротина в составе комплекса. При этом значительное влияние на стабильность бета-каротина в мультикомплексных системах могут оказывать как процессы комплексообразования между бета-циклодекстрином и антиокислителями, так и другие факторы.

Ключевые слова: супрамолекулярная химия; синтетические органические красители; бета-каротин; альфа-токоферол; ванилин; аскорбиновая кислота; бета-циклодекстрин

Original article

Influence of antioxidants on the stability of beta-carotene in multicomplex systems

Ksenia E. Kulishova^{1,2*}, Nataliia V. Rudometova¹¹All-Russian Research Institute for Food Additives –
Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS,
Russia, Saint-Petersburg²ITMO University, Russia, Saint-Petersburg

*ksusha_@list.ru

Abstract. To prevent further degradation of partially oxidized beta-carotene, inclusion complexes based on beta-cyclodextrin and antioxidants (alpha-tocopherol (vitamin E), ascorbic acid, and vanillin) have been developed. The complexes were obtained by the solid-phase method with intensive stirring for four hours with periodic moistening to the state of a paste, then dried in a desiccator at a temperature of 2...5°C, and ground to a powder. The content of beta-carotene in the complexes was determined on a Varian-LC 920 high-performance liquid chromatograph with a Hypersil 5 AA-ODS 200 x 2.1 mm column using a diode array detector with automatic control and data processing based on Galaxie software. The influence of antioxidants and beta-cyclodextrin on the stability of beta-carotene in conditions of ultraviolet irradiation and storage at a temperature of 2...5°C is considered. It is noted that the best results are observed in complexes with the inclusion of alpha-tocopherol (mass ratio of beta-cyclodextrin: beta-carotene: alpha-tocopherol – 2:1:1) and vanillin (mass ratio of beta-cyclodextrin: beta-carotene: vanillin – 6:3:1). Under the influence of ultraviolet irradiation, the degradation of beta-carotene in the composition of the complex slows down by 4 (alpha-tocopherol) and 3 (vanillin) times. During long-term storage, the oxidation of beta-carotene in complexes with the addition of alpha-tocopherol and vanillin slows down by 60%. The stabilizing effect of ascorbic acid almost has no effect on the stability of beta-carotene in the composition

of the complex. At the same time, the processes of complexation between beta-cyclodextrin and antioxidants, as well as other factors, can have a significant effect on the stability of beta-carotene in multicomplex systems.

Keywords: supramolecular chemistry; synthetic organic dyes; beta-carotene; alpha-tocopherol; vanillin; ascorbic acid; beta-cyclodextrin

Введение

Каротиноиды представляют собой группу красителей природного происхождения. Среди них бета-каротин (рисунок 1) привлекает особое внимание в силу его распространенности и высокой биологической активности (провитамин А). Широко используется в пищевой и фармацевтической промышленности. Результаты последних исследования каротинов как эффективных нутриентов способствуют увеличению выпуска функциональных продуктов на их основе [1].

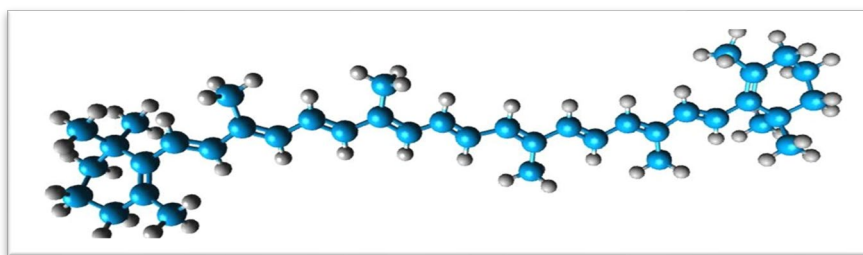


Рисунок 1 – Структурная формула молекулы бета-каротина
Figure 1. Structural formula of beta-carotene molecule

Химическая структура каротинов с их длинной углеродной цепью и конъюгированными двойными связями предопределяет их свойства как нейтрализаторов свободных радикалов и иммуномодуляторов [2, 3]. Каротины в составе пищевых продуктов обладают приемлемой стабильностью в процессе термообработки [4]. Однако конъюгированная полиеновая цепь делает бета-каротин восприимчивым к воздействию кислорода, света, низких значений pH и других факторов, что необходимо учитывать при определении его содержания в пищевых продуктах [5]. Автоокисление бета-каротина происходит при температуре 20°C с образованием ряда начальных продуктов окисления. Это приводит как к обесцвечиванию, так и к потере биологической активности бета-каротина [6, 7]. Из-за высокой лабильности, нерастворимости в водных средах и сложностей при дозировании кристаллический бета-каротин практически не используется в качестве пищевого красителя.

Эффект воздействия неблагоприятных факторов на физико-химические свойства бета-каротина может быть снижен при использовании красителя в виде комплексных пищевых добавок. В их состав входят различные ингредиенты, действия которых направлены на стабилизацию или модификацию свойств бета-каротина в результате образования липосом [8], наноэмульсий [9–11], инкапсуляции красителя [12, 13], в том числе получения супрамолекулярных комплексов [14], и др. Уменьшение деградации бета-каротина может достигаться также при одновременном использовании щадящих технологических режимов и его стабилизированных форм [15].

Так, например, авторами в исследовании [16] была получена стабильная наноэмульсия бета-каротина с кукурузным маслом и конъюгатами хитозана. Эмульгированный бета-каротин обладал высокой стабильностью в течение 30 дней хранения и большей антиоксидантной активностью в сравнении с исходным.

Также возможно создание инкапсулированных форм бета-каротина. Например, в работе [17] в результате высокоэффективной инкапсуляции бета-каротина смесью зеина, карбоксиметилхитозана и полифенолов чая получены микрокапсулы малого размера с бета-каротином, растворимые в воде.

Одним из способов инкапсуляции модификации физико-химических свойств бета-каротина является создание супрамолекулярных структур на основе бета-циклодекстрина. Создание подобных структур позволяет в 10 раз улучшить растворимость и на 40% стабильность бета-каротина при хранении в течение 30 дней [14].

По результатам экспериментов, проведенных ранее [18, 19], нами было установлено, что образование комплексов с бета-циклодекстрином оказывает значительное влияние на стабильность бета-каротина. Отмечено, что в результате образования супрамолекулярных наноконплексов растворимость бета-каротина в их составе составляет от 60 до 90 мг/100 см³. Также в 7 раз увеличивается светостойкость в условиях ультрафиолетового облучения и в 30 раз стабильность бета-каротина при хранении растворов комплексов при температуре 2...5°C в сравнении с эмульсионной формой красителя. При этом было отмечено, что образование комплексов практически не замедляет деградацию уже частично окисленного каротина [18, 19]. В связи с этим цель данного исследования – изучить влияние антиокислителей в составе мультикомплексных супрамолекулярных систем на физико-химические свойства бета-каротина.

Объекты и методы исследования

В данной работе использовали бета-каротин E160a (i) кристаллический (массовая доля основного красящего вещества 55%) (КНР), бета-циклодекстрин (КНР), масляный раствор альфа-токоферола (витамин Е) содержание 50 мг/см³ (Россия), аскорбиновую кислоту (КНР), ванилин Vanillin Regular Pure (Норвегия).

Все компоненты смешивали одновременно. Комплексы получали твердофазным способом при интенсивном перемешивании в пастообразном состоянии в течение четырех часов при периодическом увлажнении дистиллированной водой до состояния пасты. Полученные пасты высушивали в эксикаторе при температуре 2...5°C, а затем измельчали до однородного порошка.

Массовую долю бета-каротина в комплексах определяли на высокоэффективном жидкостном хроматографе Varian-LC 920 (США) с колонкой Hypersil 5 AA-ODS 200 x 2,1 мм с использованием диодно-матричного детектора с автоматическим управлением и обработкой данных на базе программного обеспечения Galaxie. В качестве подвижной фазы применяли тетрагидрофуран и 0,5% раствор аскорбиновой кислоты в метаноле (соотношение растворителей 75:25) со скоростью потока 0,3 см³·мин⁻¹. Температура колонки 30°C. Детектирование проводили при длинах волн 453 и 270 нм.

Стабильность бета-каротина в образцах определяли в условиях хранения образцов:

1. при температуре 20°C и облучении коротковолновыми ультрафиолетовыми лучами с максимумом при длине волны 253,7 нм с периодическим перемешиванием образцов для обеспечения равномерного облучения;
2. при температуре 2...5°C в защищенном от света месте.

Все измерения проводили в трех повторностях, доверительные интервалы рассчитывали для доверительной вероятности $P = 95\%$. Абсолютная погрешность определения не превышает 10%.

Результаты исследований

Отмечено, что создание комплекса бета-циклодекстрина с частично деградированным бета-каротином позволяет увеличить стабильность красителя при ультрафиолетовом облучении: потеря 50% красящих веществ происходит после 25 ч облучения, что на 20% лучше, чем у кристаллического бета-каротина. Также выявлено, что витамин Е оказывает значительное влияние на светостойкость бета-каротина (рисунок 2) как в смеси, так и в составе мультикомплексной системы с бета-циклодекстрином. При этом важную роль играет соотношение компонентов в системе. Так витамин Е в комплексе с массовым соотношением бета-циклодекстрин: бета-каротин: альфа-токоферол 6:3:1 практически не оказывает дополнительного стабилизирующего эффекта. При этом в комплексе с массовым соотношением бета-циклодекстрин: бета-каротин: альфа-токоферол 2:1:1 потеря 50% красящих веществ происходит после 75 ч облучения.

Также отмечено влияние антиокислителя при хранении при температуре 2...5°C. При этом содержание антиокислителя в комплексе ББЕ 631 в незначительной степени оказывает дополнительное воздействие на стабильность красителя в сравнении с комплексом ББ 21. Увеличение содержания антиокислителя в мультикомплексной системе позволяет на 60% замедлить деградацию частично окисленного бета-каротина.

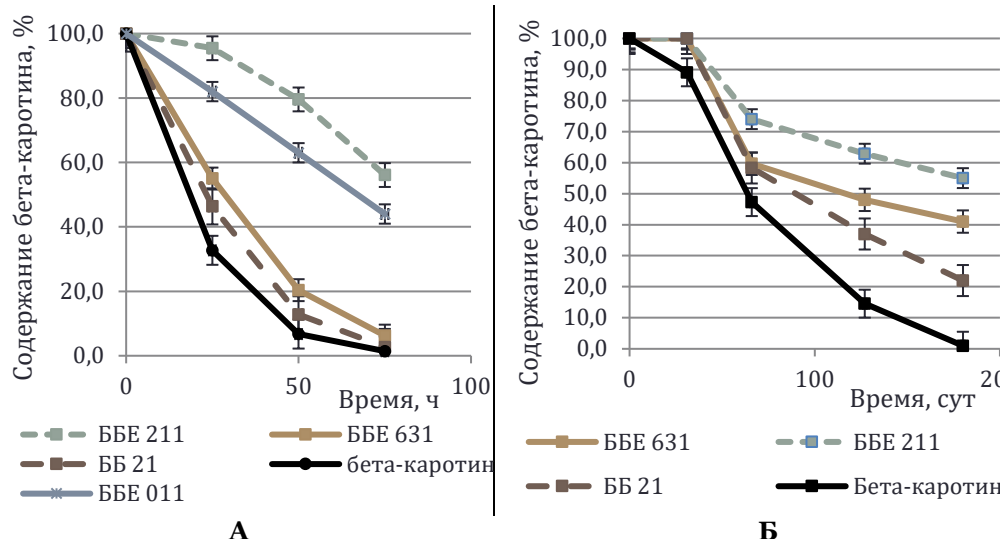


Рисунок 2 – Влияние времени ультрафиолетового облучения (А) и времени хранения при температуре 2...5°C (Б) на содержание красящих веществ в мультикомплексных системах с массовым соотношением бета-циклодекстрин: бета-каротин: альфа-токоферол 2:1:1 (ББЕ 211), бета-циклодекстрин: бета-каротин: альфа-токоферол 6:3:1 (ББЕ 631), бета-циклодекстрин: бета-каротин 2:1 (ББ 21), бета-каротин: альфа-токоферол 1:1 (ББЕ 011)

Figure 2. The influence of ultraviolet irradiation time (A) and storage time at a temperature of 2...5°C (Б) on the content of coloring agents in the complexes with mass ratio of beta-cyclodextrin: beta-carotene: alpha-tocopherol – 2:1:1 (ББЕ 211), beta-cyclodextrin: beta-carotene: alpha-tocopherol – 6:3:1 (ББЕ 631), beta-cyclodextrin: beta-carotene – 2:1 (ББ 21), and beta-carotene: alpha-tocopherol – 1:1 (ББЕ 011)

В отличие от альфа-токоферола, стабилизирующее действие аскорбиновой кислоты не выявлено: потеря 50% красящих веществ происходит после 25 ч облучения, а при хранении спустя 70 суток (рисунок 3). При этом соотношение компонентов практически не оказывает влияния на стабильность бета-каротина.

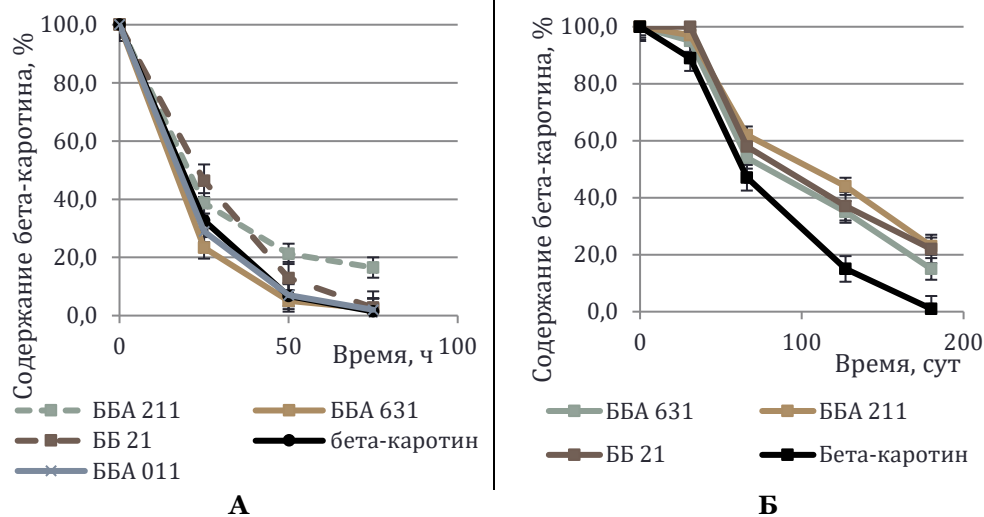


Рисунок 3 – Влияние времени ультрафиолетового облучения (А) и времени хранения при температуре 2...5°C (Б) на содержание красящих веществ в мультикомплексных системах с массовым соотношением бета-циклодекстрин: бета-каротин: аскорбиновая кислота 2:1:1 (ББА 211), бета-циклодекстрин: бета-каротин: аскорбиновая кислота 6:3:1 (ББА 631), бета-циклодекстрин: бета-каротин 2:1 (ББ 21), бета-каротин: аскорбиновая кислота 1:1 (ББА 011)

Figure 3. The influence of ultraviolet irradiation time (A) and storage time at a temperature of 2...5°C (Б) on the content of coloring agents in the complexes with mass ratio of beta-cyclodextrin: beta-carotene: ascorbic acid – 2:1:1 (ББА 211), beta-cyclodextrin: beta-carotene: ascorbic acid – 6:3:1 (ББА 631), beta-cyclodextrin: beta-carotene – 2:1 (ББ 21), and beta-carotene: ascorbic acid – 1:1 (ББА 011)

Известно, что ванилин, содержащий в своей структуре фенольную группу, проявляет антиоксидантные свойства [20]. В настоящее время он широко применяется, в основном, в качестве ароматизатора в пищевой, парфюмерной и фармацевтической промышленности. Вследствие этого

добавление ванилина в комплекс бета-циклодекстрин: бета-каротин позволит создать мультикомплексную систему с функциональными, ароматическими и красящими свойствами.

Отмечено, что ванилин оказывает значительное влияние на стабильность бета-каротина при ультрафиолетовом облучении мультикомплексной системы (рисунок 4). В комплексах с массовым соотношением бета-циклодекстрин: бета-каротин: ванилин 6:3:1 эффективность стабилизации частично деградированного бета-каротина на 60% ниже, чем у комплекса ББВ 211, однако, на 50% выше, чем у комплексов с добавлением аскорбиновой кислоты. При этом большое значение оказывает соотношение компонентов: увеличение содержания ванилина в системе практически не оказывает влияния на стабильность красителя в сравнении с комплексом бета-циклодекстрин: бета-каротин: ванилин 6:3:1.

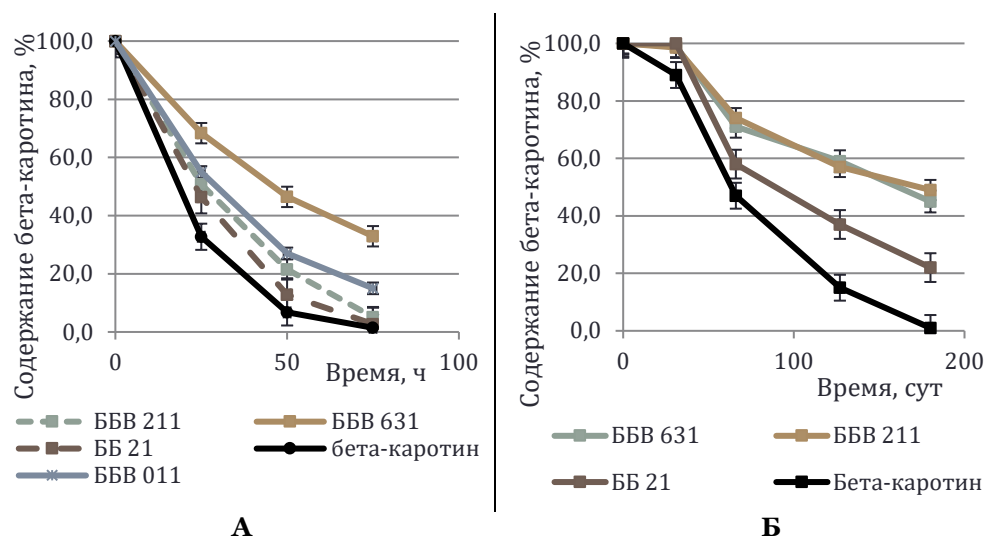


Рисунок 4 – Влияние времени ультрафиолетового облучения (А) и времени хранения при температуре 2...5°C (Б) на содержание красящих веществ в мультикомплексных системах с массовым соотношением бета-циклодекстрин: бета-каротин: ванилин 2:1:1 (ББВ 211), бета-циклодекстрин: бета-каротин: ванилин 6:3:1 (ББВ 631), бета-циклодекстрин: бета-каротин 2:1 (ББ 21), бета-каротин: ванилин 1:1 (ББВ 011)

Figure 4. The influence of ultraviolet irradiation time (A) and storage time at a temperature of 2...5°C (B) on the content of coloring agents in the complexes with mass ratio of beta-cyclodextrin: beta-carotene: vanillin – 2:1:1 (ББВ 211), beta-cyclodextrin: beta-carotene: vanillin – 6:3:1 (ББВ 631), beta-cyclodextrin: beta-carotene – 2:1 (ББ 21), and beta-carotene: vanillin – 1:1 (ББВ 011)

Однако в случае хранения при температуре 2...5°C соотношение компонентов не оказывает значительного влияния на длительность хранения. При этом данные мультикомплексные системы замедляют деградацию бета-каротина на 60%.

На стабильность бета-каротина в мультикомплексных системах могут оказывать влияние процессы комплексообразования между бета-циклодекстрином и антиокислителями. Одно из главных условий образования комплекса с бета-циклодекстрином – геометрическое соответствие размеров полости молекулы циклодекстрина и размеров встраиваемой молекулы – соблюдается при использовании каждого из антиокислителей (рисунок 5).

Значительный эффект на создание мультикомплексной системы могут оказывать химические свойства самих молекул антиокислителей. Так, например, гидрофильные свойства молекулы аскорбиновой кислоты, вероятно, могут способствовать образованию связей с бета-циклодекстрином по внешней гидрофильной поверхности молекулы циклодекстрина. Образование подобных структур может препятствовать взаимодействию бета-каротина как с циклодекстрином, так и с аскорбиновой кислотой.

Поскольку молекулы ванилина и альфа-токоферола проявляют гидрофобные свойства, предположительно возможно конкурирование бета-каротина и молекул антиокислителей при встраивании в гидрофобную полость циклодекстрина. При этом встраивание ванилина может быть более стерически выгодно вследствие его меньшего размера. При увеличении содержания ванилина может возникать конкуренция между встраиваемыми молекулами, и большая часть молекул ванилина

встраивается в полость циклодекстрина. Это, вероятно, приводит к снижению стабилизирующего эффекта бета-каротина.

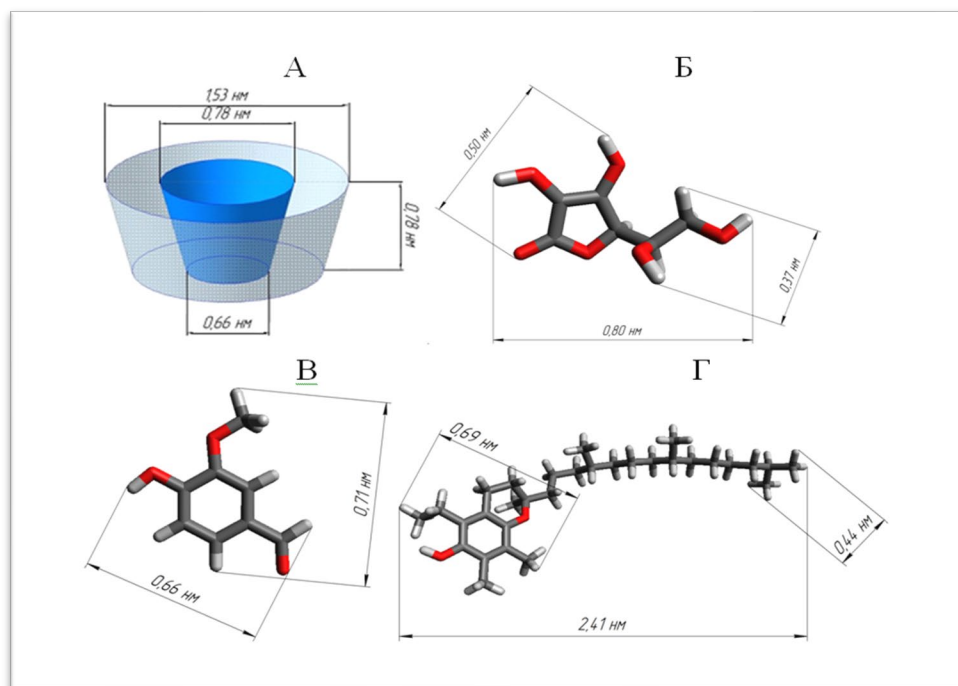


Рисунок 5 – Геометрические размеры молекул бета-циклодекстрина (А), аскорбиновой кислоты (Б), ванилина (В), альфа-токоферола (Г)

Figure 5. Geometrical sizes of the molecules: beta-cyclodextrin (A), ascorbic acid (B), vanillin (B), and alpha-tocopherol (Г)

Еще одним фактором, влияющим на стабильность получаемой мультикомплексной системы, является подверженность аскорбиновой кислоты и ванилина окислительному воздействию кислорода, которая возрастает под ультрафиолетовым облучением. Вследствие этого антиокислитель деградирует и не оказывает значительного влияния на стабильность бета-каротина. Данный эффект проявляется в большей степени в комплексах с добавлением аскорбиновой кислоты в условиях ультрафиолетового облучения. Этим также можно объяснить различие в стабильности бета-каротина в комплексе ББВ 211 при хранении при температуре 2...5°C и в условиях ультрафиолетового облучения.

Кроме этого, на взаимодействие молекул в мультикомплексной системе может оказывать влияние и форма вносимого антиокислителя. Например, при использовании альфа-токоферола в виде масляного раствора комплекс обволакивается тонкой пленкой, что дополнительно защищает бета-каротин от ультрафиолета.

Заключение

В ходе исследования выявлено влияние различных антиокислителей на замедление деградации частично окисленного бета-каротина в составе мультикомплексной системы при хранении в условиях ультрафиолетового облучения и при температуре 2...5°C. Наилучшие результаты отмечены у комплексов на основе альфа-токоферола (массовое соотношение бета-циклодекстрин: бета-каротин: альфа-токоферол 2:1:1) и ванилина (массовое соотношение бета-циклодекстрин: бета-каротин: ванилин 6:3:1). В дальнейшем предполагается исследование природы взаимодействия и структуры полученных мультикомплексных систем.

Литература/References

1. Schieber A., Weber F. In: Carle R., Schweiggert R. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*, Cambridge: Woodhead Publ. 2016, pp. 101–123. DOI: 10.1016/B978-0-08-100371-8.00005-1
2. Simonova O.R., Zaitseva S.V., Tyulyaeva E.Yu., Zdanovich S.A., Koifman O.I. Kinetics of β -carotene oxidation in the presence of highly active forms of μ -carbido diiron (IV) tetraphenylporphyrinate. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2018, V.92, pp. 2128–2134. DOI: 10.1134/S0036024418110390

3. Pechinskii S.V., Kuregyan A.G. The Impact of carotenoids on immunity (Review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2014, V. 47, pp. 509–513. DOI: 10.1007/s11094-014-0992-z
4. Rodriguez-Amaya D.B. Natural Food Pigments and Colorants. In: Mérillon J.-M., Ramawat K.G. (Eds) *Bioactive Molecules in Food*. Springer Publ. 2019, pp. 867–901. DOI:10.1007/978-3-319-78030-6_12
5. Рудометова Н.В., Кулишова К.Е. Разработка способа экстракции бета-каротина для его определения в комплексных пищевых добавках // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 374–386. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-374-386
Rudometova N.V., Kulishova K.E. Beta-carotene extraction in complex food additives. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021, V. 51, no. 2, pp. 374–386. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-374-386. (In Russian)
6. Lavello V., Sereikaitė J. Kinetic study of encapsulated β -carotene degradation in aqueous environments: A review. *Foods*. 2022, V. 11, no. 3, pp. 317–335. DOI: 10.3390/foods11030317
7. Xu D., Wang X., Jiang J., Yuan F., Decker E.A., Gao Y., Influence of pH, EDTA, α -tocopherol, and WPI oxidation on the degradation of β -carotene in WPI-stabilized oil-in-water emulsions. *LWT – Food Science and Technology*. 2013, V. 54, no. 1, pp. 236–241. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.05.029
8. Hejri A., Khosravi K., Gharanjig M., Davarani M. Effect of edible antioxidants on chemical stability of β -carotene loaded nanostructured lipid carriers. *LWT – Food Science and Technology*. 2019, V. 113, article 108272. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108272
9. Gasa-Falcon A., Acevedo-Fani A., Oms-Oliu G., Odriozola-Serrano I., Martin-Belloso O. Development, physical stability and bioaccessibility of β -carotene-enriched tertiary emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020, V. 64, article 103615. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103615
10. Borba C.M., Tavares M.N., Macedo L.P., Araújo G.S., Furlong E.B., Dora C.L., Burkert J.F.M. Physical and chemical stability of β -carotene nanoemulsions during storage and thermal process. *Food Research International*. 2019, V. 121, pp. 229–237. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.03.045
11. Baek E.J., Garcia C. V., Shin G.H., Kim J.T. Improvement of thermal and UV-light stability of β -carotene-loaded nanoemulsions by water-soluble chitosan coating. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020, V. 165, Part A, pp. 1156–1163. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.008
12. Mahalakshmi L., Maria Leena M., Mosesa J.A., Anandharamakrishnan C. Micro and nano encapsulation of β -carotene in zein protein: size dependent release and absorption behavior. *Food & Function*. 2020, V. 11, Is. 2, pp. 1647–1660. DOI: 10.1039/C9FO02088H
13. Gonçalves A., Estevinho B.N., Rocha F. Microencapsulation of vitamin A: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2016, V. 51, pp. 76–87. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.03.001
14. Yazdani M., Tavakoli O., Khoobi M., Wu Y.Sh., Faramarzi M.A., Gholibegloo E., Farkhondeh S. Beta-carotene/cyclodextrin-based inclusion complex: improved loading, solubility, stability, and cytotoxicity. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 2022, V. 102, pp. 55–64. DOI: 10.1007/s10847-021-01100-7
15. Kulishov B., Kulishova K., Rudometova N., Fedorov A., Novoselov A. Advantages of electric resistance method for baking bread and flour confectionery products of functional purpose. *Agronomy Research*. 2020, V. 18, no. 4, pp. 2449–2464. DOI: 10.15159/AR.20.211
16. Yi J., Huang H., Wen Zh., Fan Y. Fabrication of chitosan-gallic acid conjugate for improvement of physicochemical stability of β -carotene nanoemulsion: Impact of Mw of chitosan. *Food Chemistry*. 2021, V. 362, article 130218. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130218
17. Wanga M., Fuab Y., Chena G., Shia Y., Lia X., Zhanga H., Shena Y. Fabrication and characterization of carboxymethyl chitosan and tea polyphenols coating on zein nanoparticles to encapsulate β -carotene by anti-solvent precipitation method. *Food Hydrocolloids*. 2018, V. 77, pp. 577–587. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.10.036
18. Рудометова Н.В., Кулишова К.Е. Стабилизация красящих веществ в составе инклюзионных наноконплексов на основе продуктов переработки крахмала // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2018. № 4. С. 15–21. DOI:10.17586/2310-1164-2018-11-4-15-21
Rudometova N.V., Kulishova K.E. Stabilization of coloring substances in the composition of inclusive nanocomplexes based on starch products. *Processes and Food Production Equipment*. 2018, no. 4. pp. 15–21. DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-4-15-21. (In Russian)
19. Рудометова Н.В., Кулишова К.Е., Ким И.С. Исследование влияния циклодекстринов и модифицированных крахмалов на светостойкость бета-каротина в инклюзионных комплексах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2018. № 3. С. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-3-3-11
Rudometova N.V., Kulishova K.E., Kim I.S. The influence of cyclodextrin and modified starches on the beta-carotene lightfastness in inclusion complexes. *Processes and Food Production Equipment*. 2018, no. 3, pp. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-3-3-11. (In Russian)
20. Makni M., Chtourou Y., Fetoui H., Garoui el M., Boudawara T., Zeghal N. Evaluation of the antioxidant, anti-inflammatory and hepatoprotective properties of vanillin in carbon tetrachloride-treated rats. *European Journal of Pharmacology*. 2011, V. 668, no. 1-2, pp. 133–139. DOI: 10.1016/j.ejphar.2011.07.001

Информация об авторах

Ксения Евгеньевна Кулишова – аспирант факультета биотехнологий, инженер-исследователь

Рудометова Наталия Викторовна – канд. хим. наук, заведующая лабораторией структурной переработки биоресурсов

Information about the authors

Ksenia E. Kulishova, Postgraduate Student, Research Engineer

Nataliia V. Rudometova, Ph.D., Head of the Laboratory for Structural Processing of Bioresources

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 22.09.2022

Одобрена после рецензирования 17.10.2022

Принята к публикации 09.11.2022

The article was submitted 22.09.2022

Approved after reviewing 17.10.2022

Accepted for publication 09.11.2022