

УДК 667.28:547.97:547.917

Исследование влияния циклодекстринов и модифицированных крахмалов на светостойкость бета-каротина в инклюзионных комплексах

Канд. хим. наук **Н.В. Рудометова**, natrudjob@mail.ru
К.Е. Кулишова, ksusha-@list.ru

*ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
 191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55
 Университет ИТМО
 190002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

И.С. Ким, vniipakk55@mail.ru

*ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
 191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55.*

Изучена светостойкость β -каротина в инклюзионных комплексах с циклодекстринами и модифицированными крахмалами. В качестве носителей-модификаторов были изучены альфа- и бета-циклодекстрины, нативный и модифицированные крахмалы со степенью гидролиза от 30 до 46%. Комплексы включения получали твердофазным способом. Светостойкость β -каротина определяли при хранении образцов и их водных растворов при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в условиях ультрафиолетового облучения с максимумом при длине волны 253,7 нм. Интенсивность цвета растворов образцов определяли по оптической плотности, измеряемой в максимуме светопоглощения на дуолучевом сканирующем спектрофотометре Shimadzu UV-1800 со спектральным диапазоном 190–1100 нм и программой обработки данных. Спектрофотометрический анализ показал, что в спектрах водных растворов комплексов включения наблюдается батохромный сдвиг и изменения максимумов поглощения по сравнению с β -каротином. Вид циклодекстрина и молярное соотношение компонентов не оказывает значительного влияния на светостойкость β -каротина. Установлено, что светостойкость β -каротина в образцах комплексов на основе альфа- и бета-циклодекстринов в семь раз превышает светостойкость красителя. Изменение светостойкости красителя может быть результатом включения его молекулы во внутреннюю полость молекулы циклодекстрина с образованием новой супрамолекулярной структуры. Нативный и модифицированные пористые крахмалы не оказывают значительного влияния на светостойкость β -каротина, что свидетельствует об отсутствии структурных изменений. Супрамолекулярные комплексы на основе β -каротина и циклодекстрина могут найти широкое применение в различных областях науки и промышленности.

Ключевые слова: пищевые красители; бета-каротин; альфа-циклодекстрин; бета-циклодекстрин; модифицированный крахмал; супрамолекулярная химия.

DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-3-3-11

The influence of cyclodextrin and modified starches on the beta-carotene lightfastness in inclusion complexes

Ph. D. **Natalia V. Rudometova**, natrudjob@mail.ru
Kseniia E. Kulishova, ksusha-@list.ru

*All-Russian Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS
 55, Liteyniy ave., St. Petersburg, 191014, Russia
 ITMO University
 9, Lomonosov str., St. Petersburg, 197101, Russia*

Irina S. Kim, vniipakk55@mail.ru

*All-Russian Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS
 55, Liteyniy ave., St. Petersburg, 191014, Russia*

The lightfastness of beta-carotene in inclusive complexes with cyclodextrins and modified starches was studied. Alpha- and beta-cyclodextrins, native and modified starches with a degree of hydrolysis from 30 to 46%, were studied as modifier carriers. Inclusion complexes were obtained by a solid-phase method. The lightfastness of β -carotene was determined by storage of samples and their aqueous solutions at the temperature of $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ under ultraviolet irradiation with a maximum at the wavelength of 253.7 nm.

The color intensity of sample solutions was determined from the optical density measured at the light absorption maximum on Shimadzu UV-1800 two-beam scanning spectrophotometer with the spectral range of 190–1100 nm supported by data processing program. Spectrophotometric analysis showed that in the spectra of aqueous solutions of inclusion complexes a bathochromic shift and changes in absorption maxima are observed in comparison with beta-carotene. The type of cyclodextrin and the molar ratio of the components do not significantly affect the light stability of beta-carotene. It has been established that the lightfastness of beta-carotene in the samples of complexes, based on alpha and beta-cyclodextrins, is seven times higher than that of the dye. The change lightfastness of the dye can be the result of the incorporation of its molecule into the internal cavity of the cyclodextrin molecule with the formation of a new supramolecular structure. Native and modified porous starches do not significantly affect the lightfastness of beta-carotene, which indicates the absence of structural changes. Supramolecular complexes based on beta-carotene and cyclodextrin can be widely used in various fields of science and industry.

Keywords: food dye; beta-carotene; alpha-cyclodextrin; beta-cyclodextrin; modified starch; supramolecular chemistry.

Введение

Пищевые красители широко применяются для улучшения потребительских свойств практически всех групп пищевых продуктов. Однако некоторые из красителей не растворяются в воде, термо-, кислото- и светолabileльны и чувствительны к ионам металлов, поэтому использование, как природных (бета-каротин, антоцианы), так и получаемых химическим синтезом (индигокармин, синий патентованный) пищевых красителей, ограничено [1].

Бета-каротин (β -каротин) – желто-оранжевый пигмент, непредельный углеводород из группы каротиноидов. Он обладает большим промышленным значением вследствие довольно широкого спектра экономически выгодных способов его получения [2]. β -каротин, применяемый в качестве пищевого красителя E160a, может быть получен методом химического синтеза E160a (i), ферментацией зигомицета *Blakeslea trispora* E160a (iii), экстракцией из съедобных растений E160a (ii) и водорослей вида *Dunaliella salina* E160a (iv) [3].

Использование лабильных красителей в пищевых производствах требует повышения их дозировок, либо внесения дополнительных стабилизирующих добавок. Альтернативой могут быть различные способы микрокапсулирования, в частности, модификация гидрофобных красящих веществ методом включения их в гидрофильную среду.

Одним из наиболее интенсивно развиваемых направлений современной химической науки является супрамолекулярная химия, изучающая ассоциацию частиц (молекул, ионов, радикалов), а также структуру образующихся ассоциатов. Объектами изучения супрамолекулярной химии являются супрамолекулярные комплексы, образующиеся в результате исключительно невалентных взаимодействий, которые приводят к образованию прочных и вместе с тем гибко изменяющих свою структуру ассоциатов. К их числу относятся и супрамолекулярные наноконплексы, образующиеся при включении молекулы вещества – «гостя» в полость молекулы – «хозяина».

Существует несколько способов получения супрамолекулярных наноконплексов. Среди них различают твердофазный (сорастирание, сорастирание с растворителем) и жидкофазный (соиспарение, соосаждение) [4, 5]. Для подтверждения конплексообразования и исследования супрамолекулярных конплексов используют ЯМР-спектроскопию [6], ИК-спектроскопию, дифференциальную сканирующую калориметрию [7], термогравиметрический [8], аффинный капиллярный электрофорез [9], рентгеноструктурный, масс-спектрофотометрический и другие методы анализа [10].

Способностью образовывать супрамолекулярные наноконплексы с различными органическими молекулами обладают природные и модифицированные макроциклические лиганды – циклодекстрины. Среди них различают цикломальтогексозу (альфа-циклодекстрин, α -ЦД), цикломальтогептозу (бета-циклодекстрин, β -ЦД), цикломальтооктаозу (гамма-циклодекстрин) [11]. Объемное изображение молекул β -ЦД и β -каротина представлено на рисунке 1.

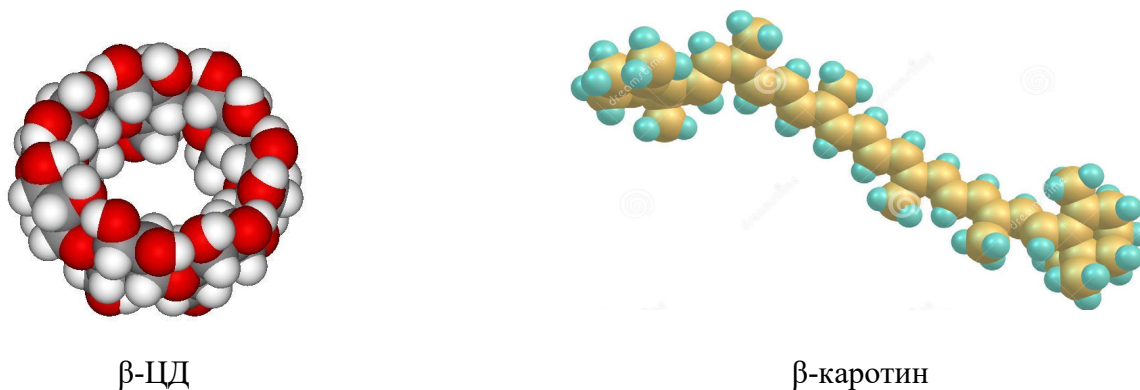


Рисунок 1 – Молекулы β-ЦД и β-каротина
 Fig. 1 – β- cyclodextrin and β- carotene molecules

Молекулы циклодекстринов имеют гидрофильную внешнюю поверхность и сквозную гидрофобную полость, по своим размерам сопоставимую с величиной многих органических и неорганических соединений (рисунок 2) [11]. β-ЦД зарегистрирован в качестве пищевой добавки с кодом E451 и имеет наибольшее практическое применение среди всех циклодекстринов.

Циклодекстрины обладают уникальными свойствами: так, например, с их помощью можно получить стабильные водорастворимые комплексы включения с гидрофобными молекулами. При включении молекулы вещества – «гостя» – в полость большей молекулы – «хозяина», как правило, изменяются свойства включаемых соединений, например, растворимость и светостойкость [3, 12].

Крахмал – природный полимер глюкозы и его модификации широко используются в ряде отраслей пищевой промышленности. Ферментативно модифицированный пористый крахмал обладает повышенной адсорбционной способностью и может найти применение в качестве носителя микроингредиентов в пищевой промышленности [13].

Изучение процессов образования и свойств супрамолекулярных комплексов, а также поиск способов изменения физико-химических свойств пищевых красителей с использованием методов супрамолекулярной химии является актуальным направлением научных исследований. В будущем такие комплексы могут найти широкое применение в различных областях науки и промышленности.

В связи с этим цель настоящей работы – изучение влияния α-, β-циклодекстринов, нативного и модифицированных крахмалов на светостойкость β-каротина, является актуальной.

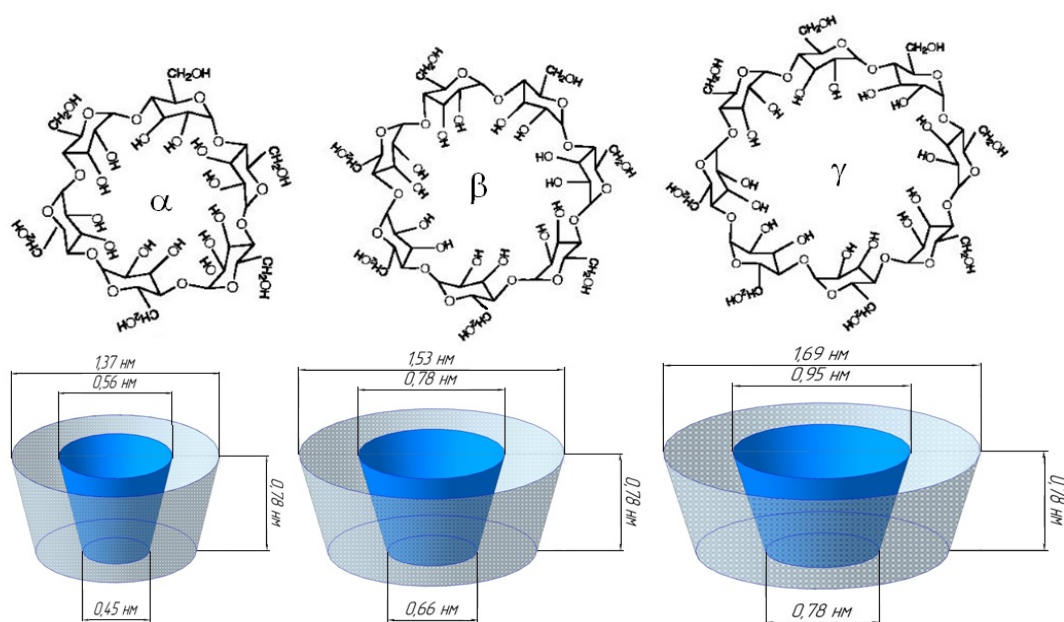


Рисунок 2 – Структура молекул циклодекстринов [11]
 Fig. 2 – Cyclodextrin molecules

Объекты и методы исследования

В данной работе использовали β -каротин Е160а (i) кристаллический производства КНР и эмульсию β -каротина в воде производства ООО «ОНА».

В качестве носителей-модификаторов использовали β - и α -циклодекстрины производства фирмы Roquette (Франция), кукурузный крахмал и экспериментальные образцы модифицированного крахмала, полученные путем ферментативного гидролиза с использованием глюкоамилазы, и предоставленные ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН [13].

Комплексы включения получали твердофазным способом (растиранием смеси носителя с красителем в течение 3,0 ч при периодическом увлажнении дистиллированной водой до состояния пасты) при эквимолярных соотношениях «хозяин : гость» в диапазоне 1÷5 : 1. [1, 14].

Светостойкость β -каротина определяли при хранении образцов и их водных растворов при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в условиях облучения коротковолновыми ультрафиолетовыми лучами с максимумом при длине волны 253,7 нм.

Интенсивность цвета растворов образцов определяли по оптической плотности, измеряемой в максимуме поглощения на двулучевом сканирующем спектрофотометре Shimadzu UV-1800 со спектральным диапазоном 190–1100 нм и программой обработки данных.

Водные растворы образцов комплексов включения с гидромодулем 1:1000 получали при перемешивании в течение 60 мин при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и частоте вращения ротора 130 об/мин на перемешивающем устройстве УВМТ-12-250, после чего фильтровали [14].

Содержание красящих веществ в образцах, не растворимых в воде, определяли по методике [15] в хлороформе и циклогексане при характеристических длинах волн 464 и 455 нм, соответственно.

Результаты исследований

Сравнительный спектрофотометрический анализ растворов β -ЦД, β -каротина (рисунок 3а) и комплексов включения β -каротина с β -ЦД (рисунок 3б), показал, что в спектрах водных растворов комплексов включения наблюдается bathochromный сдвиг и изменения в положении максимумов поглощения по сравнению с β -каротином. Такой характер изменения может свидетельствовать об изменениях в молекуле β -каротина при включении ее в полость молекулы β -ЦД. Идентичность спектров комплексов, полученных при различных соотношениях β -ЦД : β -каротин позволяет считать, что изменения имеют одинаковую природу. Различная интенсивность окраски растворов полученных образцов, очевидно, связана с различным содержанием красящих веществ и β -ЦД в комплексах, так как β -ЦД не имеет характеристических полос в видимой области спектра.

На рисунке 4 приведены результаты исследования влияния ультрафиолетовых лучей на светостойкость β -каротина. Светостойкость красящих веществ в водных растворах комплексов β -каротина с β -ЦД в семь раз превышает светостойкость водного раствора эмульсии β -каротина. Изменение молярного соотношения компонентов в комплексе не оказывает значительного влияния на светостойкость красящих веществ.

Исследование влияния ультрафиолетового (УФ) облучения на светостойкость β -каротина в комплексах включения на основе α -ЦД с различным молярным соотношением (рисунок 5) показало, что влияние вида циклодекстрина на светостойкость β -каротина незначительно. Однако комплексы на основе α -ЦД имеют менее интенсивную окраску, чем комплексы на основе β -ЦД, что может быть связано со стерическими затруднениями при образовании супрамолекул, так как диаметр внутренней полости α -ЦД значительно меньше диаметра внутренней полости β -ЦД (рисунок 2) и соизмерим с поперечным размером молекулы β -каротина.

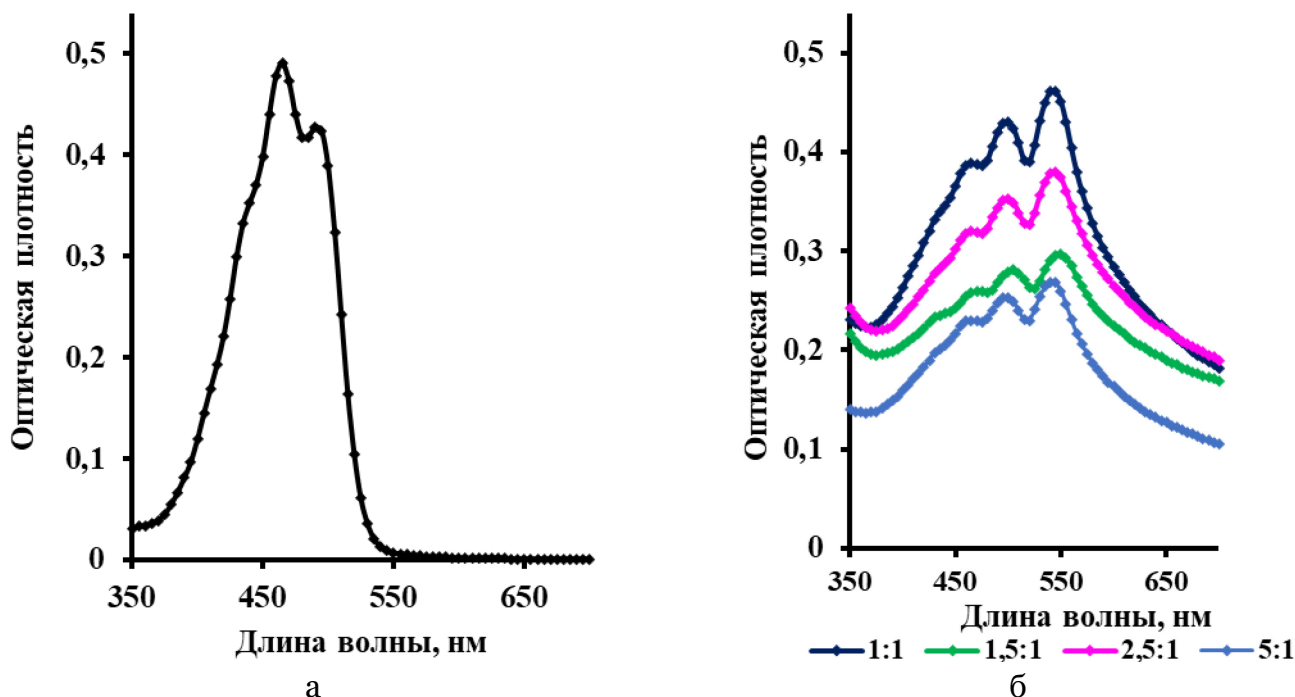


Рисунок 3 – Спектры β -каротина в хлороформе (а) и растворов комплексов β -каротина с β -ЦД (б) в воде, полученных при молярном соотношении β -ЦД : β -каротин 1:1; 1,5:1; 2,5:1 и 5:1

Fig. 3 – β -carotene specters in chloroform (a) and aqueous solutions of β -carotene with β - cyclodextrin complexes (б) with the molar ratio of β - cyclodextrin to β -carotene - 1:1; 1.5:1; 2.5:1, and 5:1

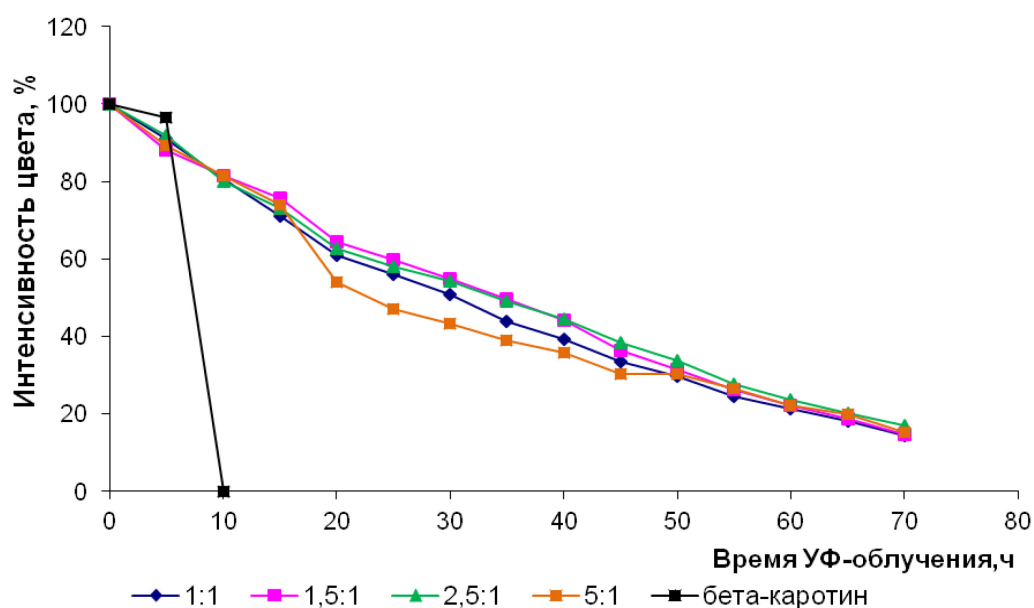


Рисунок 4 – Влияние УФ облучения на светостойкость красящих веществ в растворах комплексов β -каротина с β -ЦД, полученных при молярных соотношениях β -ЦД : β -каротин 1:1; 1,5:1; 2,5:1 и 5:1

Fig. 4 – The influence of UV-radiation on the lightfastness of dye substances in the solutions of β -carotene complexes with β - cyclodextrin with the molar ratio of β -cyclodextrin to β -carotene – 1:1; 1.5:1; 2.5:1, and 5:1

Исследование растворимости образцов, полученных на основе β -каротина и крахмала с различной степенью гидролиза при массовых соотношениях крахмал : β -каротин 2:1 и 4:1, показало, что полученные образцы не растворяются в воде. В этой связи влияние носителя на светостойкость β -каротина определяли при УФ-облучении сухих образцов.

Результаты исследований представлены на рисунках 6 и 7.

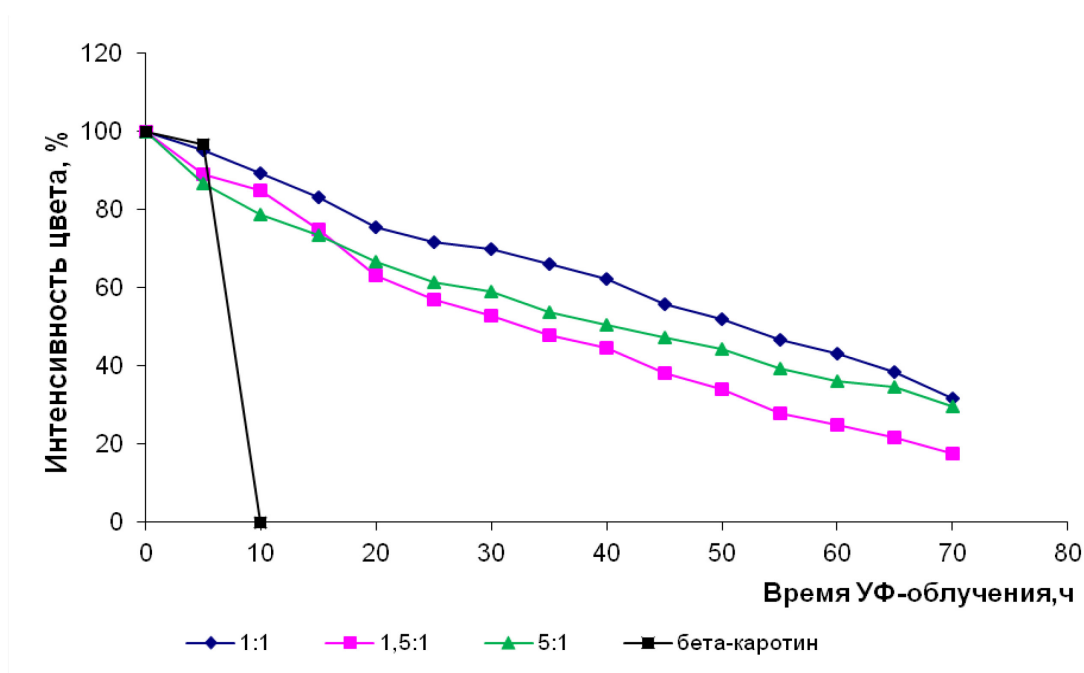


Рисунок 5 – Влияние УФ облучения на светостойкость красящих веществ в растворах комплексов β -каротина с α -ЦД, полученных при молярных соотношениях β -ЦД : β -каротин 1:1; 1,5:1 и 5:1

Fig. 5 – The influence of UV-radiation on the lightfastness of dye substances in the solutions of β -carotene complexes with α -cyclodextrin with the molar ratio of β -cyclodextrin to β -carotene – 1:1; 1.5:1, and 5:1

В результате проведенного эксперимента отмечено влияние крахмалов на светостойкость β -каротина: через 20–25 ч УФ облучения содержание красящих веществ в образцах с крахмалом на 18% выше, чем в контрольной пробе. По истечении 65–70 ч содержание красящих веществ снижается, но положительная тенденция влияния крахмала сохраняется. После 120–140 ч УФ облучения различия в светостойкости образцов нивелируются. При этом соотношение крахмал : β -каротин и вид крахмала на светостойкость красящих веществ влияния не оказывает.

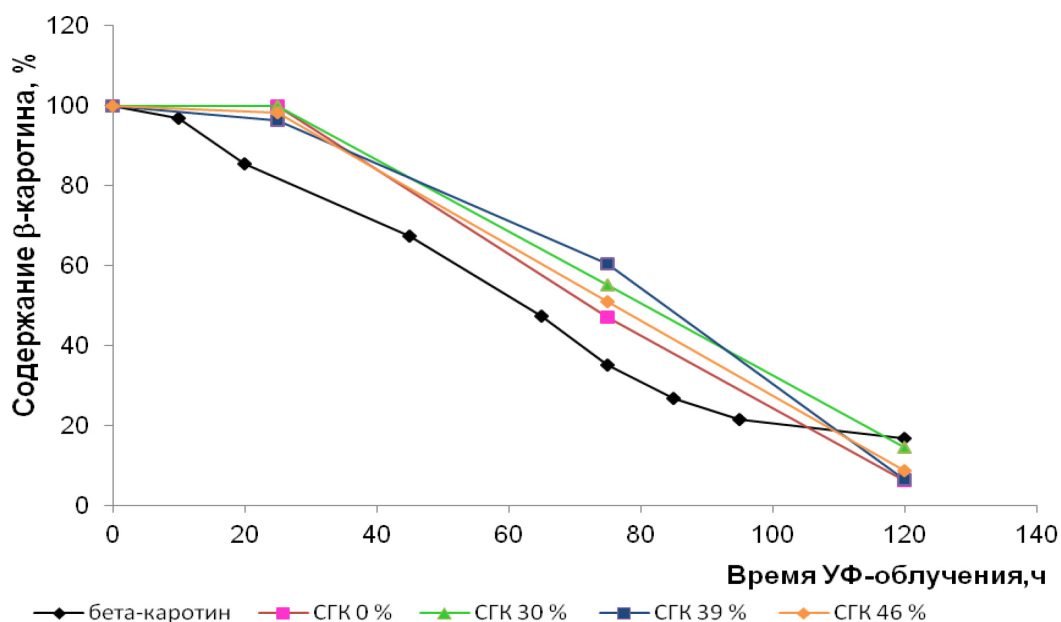


Рисунок 6 – Влияние УФ-облучения на светостойкость красящих веществ образцов, полученных на основе β -каротина и крахмала с различной степенью гидролиза (СГК) при соотношении крахмал : β -каротин 2:1

Fig. 6 – The influence of UV-radiation on the lightfastness of dye substances in the samples made on the basis of β -carotene and starch with various degree of hydrolysis in the proportion of starch to β -carotene – 2:1

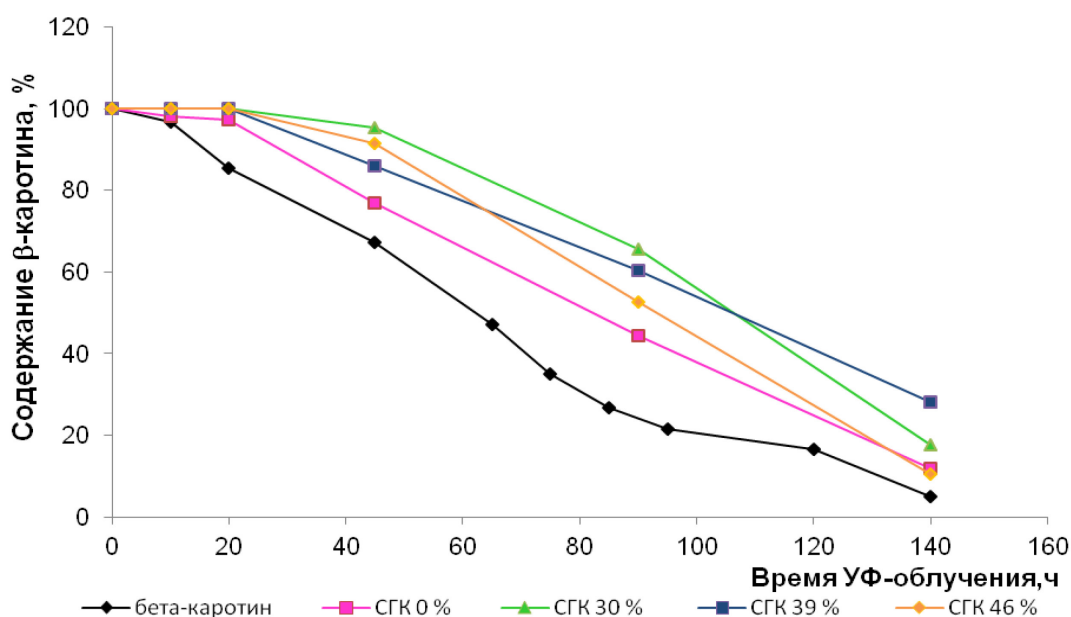


Рисунок 7 – Влияние УФ-облучения на светостойкость красящих веществ образцов, полученных на основе β -каротина и крахмала с различной степенью гидролиза (СГК) при соотношении крахмал : β -каротин 4:1
 Fig. 7 – The influence of UV-radiation on the lightfastness of dye substances in the samples made on the basis of β -carotene and starch with various degree of hydrolysis in the proportion of starch to β -carotene – 4:1

Выводы

Установлено, что светостойкость β -каротина в образцах комплексов, полученных твердофазным способом на основе α - и β -циклодекстринов, в семь раз превышает светостойкость красителя. Изменение светостойкости красителя может быть результатом включения его молекулы во внутреннюю полость молекулы циклодекстрина с образованием новой супрамолекулярной структуры. При этом молярное соотношение компонентов не оказывает значительного влияния на светостойкость β -каротина. Образование комплексов включения подтверждает также и изменение растворимости β -каротина, тогда как нерастворимый в воде β -каротин, при включении во внутреннюю полость циклодекстрина, приобретает гидрофильные свойства и растворяется в воде.

Нативный и модифицированные пористые крахмалы оказывают незначительное влияние на светостойкость β -каротина, что свидетельствует об отсутствии структурных изменений.

Окончательный вывод об образовании супрамолекулярных нанок комплексов на основе циклодекстринов β -каротина предполагается сделать после проведения исследований полученных образцов методом ЯМР-спектроскопии, а также изучения стабильности β -каротина при хранении образцов и их растворов.

Литература

1. Рудометова Н.В., Никифорова Т.А. Получение супрамолекулярных комплексов индигокармина с бета-циклодекстрином // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 3. С.13–16.
2. Хелдт Г.В. Биохимия растений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011. 471 с.
3. Commission Regulation (EU) № 231/2012 of 9 March 2012 laying down specification for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) № 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. L 83/1. pp. 1–295.
4. Machut C., Mouri-Belabdeli F., Cavrot J-P., Sayede A., Monflier E. New supramolecular amphiphiles based on renewable resources. *Green Chemistry*. 2010, no. 12, pp. 772–775.
5. Захаренко Е.В., Лапишова М.С., Дейнека В.И., Дейнека Л.А., Доронина А.Г.. Особенности образования комплексов включения ликопина и β -каротина с β -циклодекстрином // Научные ведомости Белгородского Государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2013. № 18. Выпуск 23. С. 215–219.
6. Нуркенов О.А., Сейлханов Т.М., Фазылов С.Д., Исаева А.Ж., Кабиева С.К., Такиеваева А.Т. Получение и исследование супрамолекулярного комплекса включения цитизина с β -циклодекстрином методом спектроскопии ЯМР // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 7. С. 223–226.

7. *Белякова Л.А., Роик Н.В., Дзюбенко Л.С., Кулик Т.В., Паляница Б.Б.* Особенности термической деструкции *n*-аминосалициловой кислоты в бинарных системах с β -циклодекстрином // *Химия, физика и технология поверхности*. 2013. № 4. С. 37–46.
8. *Капустин М.А., Гавриленко Н.В., Курченко В.П.* Получение и свойства комплексов включения циклодекстрина с диметилловым эфиром фталевой кислоты // *Труды БГУ*. 2011. Т. 6. ч. 2. С. 126–133.
9. *Аншакова А.В., Ермоленко Ю.В., Каменцев М.Я., Конюхов В.Ю., Максименко О.О., Гальперина С.Э.* Исследование межмолекулярного взаимодействия в системе рифабутин-гидроксипропил- β -циклодекстрин методом аффинного капиллярного электрофореза // *Успехи в химии и химической технологии*. 2015. Т. 29. № 1. С. 22–24.
10. Mangolim C.S., Moriwaki C., Nogueira A.C., Sato F., Baesso M.L., Neto A.M., Matioli G. Curcumin- β -cyclodextrin inclusion complex: Stability, solubility, characterization by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacoustic spectroscopy, and food application. *Food Chemistry*. 2014, no. 153, pp. 361–370.
11. Jin Z-Y. *Cyclodextrin Chemistry: Preparation and Application*. Singapore: World Scientific Publishing, 2013. 290 p.
12. *Рудометова Н.В.* Получение супрамолекулярных комплексов на основе циклодекстринов для создания новых пищевых ингредиентов с высокой стабильностью // *Материалы VII Междунар. научно-технич. конф. «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 17–20 ноября 2015 г.) СПб.: Университет ИТМО, 2015. С. 291–293.*
13. *Папахин, А.А., Бородина З.М., Лукин Н.Д., Гулакова В.А., Маннова И.Г., Бердышникова О.Н.* Влияние степени гидролиза на свойства кукурузного крахмала в процессе низкотемпературной биоконверсии // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2014. № 12. С. 38–41.
14. *Кулишова К.Е., Рудометова Н.В.* Образование супрамолекулярных комплексов на основе циклодекстринов как способ модификации свойств веществ [Электронный ресурс] // *Сборник тезисов VII конгресса молодых ученых*. СПб.: Университет ИТМО, 2018. URL: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/6763/obrazovanie_supramolekulyarnyh_kompleksov_na_osnove_ciklodekstrinov_kak_sposob_modifikacii_svoystv_veschestv.htm (дата обращения 17.09.2018).
15. Combined Compendium of Food Additive Specifications FAO JECFA. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* URL: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph11/additive-113-m11.pdf (Accessed 21.09.2018).

References

1. Rudometova N.V., Nikiforova T.A. Poluchenie supramolekulyarnykh kompleksov indigokarmina s beta-tsiklodekstrinom [Preparation of supramolecular indigo carmine complexes with beta-cyclodextrin]. *Storage and processing of farm products*. 2016, no. 3, pp. 13–16.
2. Kheldt G.V. *Biokhimiya rastenii* [Phytochemistry]. Moscow, BINOM. Laboratory of knowledge Publ., 2011, 471 p.
3. Commission Regulation (EU) № 231/2012 of 9 March 2012 laying down specification for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) № 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. L 83/1. pp. 1–295.
4. Machut C., Mouri-Belabdeli F., Cavrot J-P., Sayede A., Monflier E. New supramolecular amphiphiles based on renewable resources. *Green Chemistry*. 2010, no. 12, pp. 772–775.
5. Zakharenko E.V, Lapshova M.S., Deineka V.I., Deineka L.A., Doronina A.G. Osobennosti obrazovaniya kompleksov vklyucheniya likopina i β -karotina s β -tsiklodekstrinom [Particularities of Inclusion Complexes Formation of Lycopene and β -carotene with β -cyclodextrin]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo Gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*. 2013, no. 18, Is. 23, pp. 215–219.
6. Nurkenov O.A., Seilkhanov T.M., Fazylov S.D., Isaeva A.Zh., Kabieva S.K., Takivaeva A.T. Poluchenie i issledovanie supramolekulyarnogo kompleksa vklyucheniya tsitizina s β -tsiklodekstrinom metodom spektroskopii YaMR [Synthesis and Studies of Supramolecular Inclusion Complexes of Cytisine with β -cyclodextrin by NMR Spectroscopy]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2015, no. 7, pp. 223–226.
7. Belyakova L.A., Roik N.V., Dzyubenko L.S., Kulik T.V., Palyanitsa B.B. Osobennosti termicheskoi destruktzii *n*-aminosalitsilovoi kisloty v binarnykh sistemakh s β -tsiklodekstrinom [Peculiarities of thermal destruction of para-aminosalicylic acid in binary systems with β -cyclodextrin]. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2013, no. 4, pp. 37–46.
8. Kapustin M.A., Gavrilenko N.V., Kurchenko V.P. Poluchenie i svoistva kompleksov vklyucheniya tsiklodekstrina s dimetilovym efirom ftalevoi kisloty [Production and Properties of Cyclodextrin Inclusion Complexes with Dimethyl Phthalate]. *Trudy BGU*. 2011, V. 6, Part 2, pp. 126–133.
9. Anshakova A.V., Ermolenko Yu.V., Kamentsev M.Ya., Konyukhov V.Yu., Maksimenko O.O., Gal'perina S.E. Issledovanie mezhmolekulyarnogo vzaimodeistviya v sisteme rifabutin-gidroksipropil-b-tsiklodekstrin metodom affinnogo kapillyarnogo elektroforeza [Investigation of rifabutin-hydroxypropyl- β -cyclodextrin Intermolecular Interaction by Affinity Capillary Electrophoresis]. *Journal Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2015, V. 29, no. 1, pp. 22–24.

10. Mangolim C.S., Moriwaki C., Nogueira A.C., Sato F., Baesso M.L., Neto A.M., Matioli G. Curcumin– β -cyclodextrin inclusion complex: Stability, solubility, characterization by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacousticspectroscopy, and food application. *Food Chemistry*. 2014, no. 153, pp. 361–370.
11. Jin Z-Y. *Cyclodextrin Chemistry: Preparation and Application*. Singapore: World Scientific Publishing, 2013. 290 p.
12. Rudometova N.V. Poluchenie supramolekulyarnykh kompleksov na osnove tsiklodekstrinov dlya sozdaniya novykh pishchevykh ingredientov s vysokoi stabil'nost'yu [Preparation of supramolecular cyclodextrin complexes for create new food ingredients with high stability]. *Proceedings of VII International conference "Refrigeration and Food Technologies in the 21st Century"* (St. Petersburg, 17–20 November 20015). St. Petersburg, ITMO University Publ., 2015, pp. 291–293.
13. Papakhin, A.A., Borodina Z.M., Lukin N.D., Gulakova V.A., Mannova I.G., Berdyshnikova O.N. Vliyanie stepeni gidroliza na svoistva kukuruznogo krakhmala v protsesse nizkotemperaturnoi biokonversii [Influence of the Degree of Hydrolysis Corn Starch on the Properties of Low Temperature During Bio-Conversion]. *Storage and processing of farm products*. 2014, no. 12, pp. 38–41.
14. Kulishova K.E., Rudometova N.V. Obrazovanie supramolekulyarnykh kompleksov na osnove tsiklodekstrinov kak sposob modifikatsii svoystv veshchestv [Preparation of supramolecular cyclodextrin complexes as a way to modify the properties of substances]. Abstracts of Papers. Available at: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/6763/obrazovanie_supramolekulyarnykh_kompleksov_na_osnove_ciklodekstrinov_kak_sposob_modifikatsii_svoystv_veshchestv (accessed 17.09.2018).
15. Combined Compendium of Food Additive Specifications FAO JECFA. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* URL: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph11/additive-113-m11.pdf (Accessed 21.09.2018).

Статья поступила в редакцию 29.09.2018