

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ, ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ STUDY OF MICRONUTRIENT-ENRICHED CYCLODEXTRINS

Аннотация:

Проведено исследование циклодекстринов (ЦД) с встроенными в их молекулярную структуру комплексов микроэлементов. При этом рассмотрены α -ЦД, β -ЦД, γ -ЦД, получаемые с использованием циклодекстринглюканотрансфераз (ЦГТ-аз).

Для поддержания необходимого гомеостаза обменных процессов при создании новых видов пищевой продукции в их полость можно включать необходимые микроэлементы с образованием требуемых клатратов. В результате проведенных экспериментов разработаны клатраты ЦД с йодом (α -ЦД- I_2 и β -ЦД- I_2), что позволило расширить линейку подобной продукции. В этих исследованиях она получена при смешивании концентрированных растворов ЦД и KI с последующим выпадением осадка, дальнейшим его промыванием и сушкой под разряжением. На основе сканирования электронной микроскопией и йодометрическим титрованием этих обогащенных продуктов количественно установлено, что α -ЦД- I_2 содержит 18—18,6 % йода, а β -ЦД- I_2 несколько меньше — 16,82—16,9 %. Проведенные исследования позволяют положительно оценить технологию обогащения пищевой продукции с использованием, например, комплекса различных микроэлементов.

Ключевые слова: циклодекстрины, технология получения, циклодекстринглюканотрансфераза, микроэлементы, йод.

Abstract:

Cyclodextrins (CDs) with trace element complexes embedded in their molecular structure have been studied. α -CDs, β -CDs, and γ -CDs produced using cyclodextrin glucanotransferases (CDT-ases) were considered.

In order to maintain the necessary homeostasis of metabolic processes, when creating new types of food products, it is possible to incorporate the necessary trace elements into their cavity with the formation of the required clusters. As a result of these experiments, clusters of CDs with iodine (α -CD- I_2 and β -CD- I_2) were developed, which allowed us to expand the line of such products. In this research, it was obtained by mixing concentrated solutions of CD and KI followed by precipitation, further washing and drying under discharge. On the basis of scanning electron microscopy and iodometric titration

of these enriched products, it was quantitatively established that α -CD-I2 contains 18—18,6 % iodine and β -CD-I2 slightly less — 16,82—16,9 %. The conducted studies allow us to positively evaluate the technology of food products fortification using, for example, a complex of various trace elements.

Keywords: cyclodextrins, production technology, cyclodextrin-glucanotransferase, trace elements, iodine.

В настоящее время питание является основным фактором, определяющим здоровье нации и ее будущее. Государственная политика в области питания населения России сконцентрирована на обеспечении населения безопасными продуктами, к числу которых относится белый сахар.

Сахар считается социально значимым продуктом питания и, согласно соответствующей доктрине РФ¹⁹, находится на втором месте после зерна, он повышает энергетическую ценность продуктов питания, а также служит сырьем как для пищевых, так и технических целей. В настоящее время существуют исследования по обогащению белого сахара различными полезными компонентами с целью придания ему новых свойств, что достижимо, например, с использованием циклодекстринов. Подобный подход известен в производстве продуктов детского питания, профилактического назначения, в биофармацевтической и других отраслях промышленности.

Циклодекстрины относятся к нередуцирующим циклическим сахаридам, образующимся в результате ферментативной обработки крахмала. Известны три основных соединения, имеющих вид кольца: α -ЦД с 6 остатками глюкозы, β -ЦД с 7 остатками и γ -ЦД с 8 остатками. Производство ЦД относится к новому, активно развивающемуся направлению биотехнологии. В его основу положены микробиологические, химические и биохимические процессы. Так, например, биохимический синтез ЦД осуществляется с использованием крахмала. В основе его используется исключительно микробный фермент — циклодекстринглюканотрансфераза (ЦГТ-аза). При воздействии его на крахмал и аналогичные субстраты образуются циклические нередуцирующие декстрины, отличающиеся размером пор²⁰. Поэтому в зависимости от количества

¹⁹ Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 4. Ст. 345.

²⁰ Кузнецова И.Н., Николаева Е.В., Винтер В.Г. Почвенные микроорганизмы — продуценты циклодекстринглюканотрансфераз // Ученые записки Казанского государственного университета. 2005. Т. 147. Кн. 2. С. 99—107.

α -D-глюкопиранозных остатков (6, 7 и 8) эти соединения обозначаются соответственно как α -, β - и γ -циклодекстрины²¹.

Дальнейшие исследования в этом направлении позволили обнаружить у почвенных микроорганизмов разных родов (*Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, *Micrococcus*, *Thermoanaerobacter* и др.) соответствующие свойства²².

Наличие водородных атомов на внутренней поверхности ЦД усиливает ее гидрофобные свойства. Тогда как наружная поверхность является гидрофильной, что обусловлено ОН-группами. Последние по расположению делятся на первичные (расположены с узкой стороны) и вторичные (расположены с более широкой стороны молекулы) (Рисунок 1). Вместе с тем, несмотря на их наличие, растворимость ЦД в воде ниже, чем у ациклических сахаридов. Такая ситуация вызвана сильным взаимодействием связей между молекулами ЦД внутри его кристаллической решетки²³.

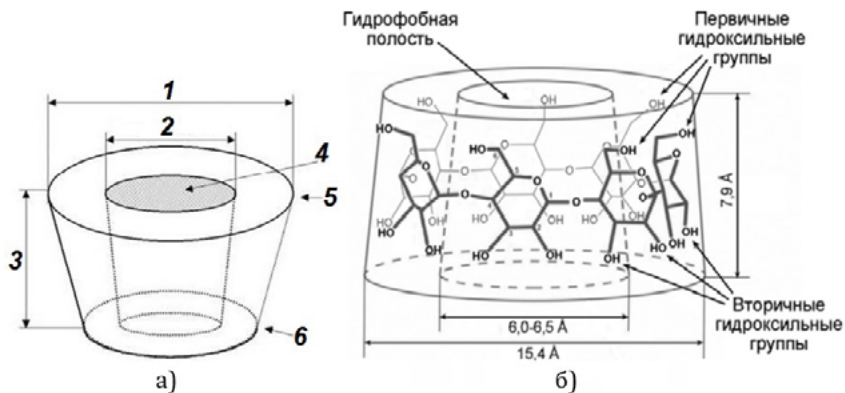


Рис. 1. Схематическое изображение молекулы циклодекстрина: а) общая структура молекулы: 1 — внешний диаметр; 2 — внутренний диаметр; 3 — высота; 4 — неполярная часть; 5 — вторичные гидроксильные группы; 6 — первичные гидроксильные группы; б) структура молекулы β -циклодекстрина по В. Саенгеру²⁴.

²¹ *Абелян В.А.* Циклодекстрины: получение и применение. Ереван: «Ван-Армян», 2001. 519 с.

²² *Логинов О.Н.* Физиолого-биохимические свойства представителей вида *Bacillus Masegans*, продуцентов циклодекстринглюканотрансферазы. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Киев, 1991. 24 с.

²³ *Никитин Н.А.* Циклодекстрины и их комплексы включения (обзор литературы) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. № 6. С. 3—11.

²⁴ *Saenger W.* Cyclodextrin inclusion compounds in research and industry //

Известны также исследования по замене молекул воды в полости ЦД иными молекулами или их фрагментами, что формирует комплекс «гость — хозяин»²⁵. Наличие гостевой молекулы способствует приобретению ЦД новых физико-химических свойств, к которым следует также отнести их повышенную водорастворимость. Это свойство является основной причиной синтеза производных ЦД, обладающих высокой водорастворимостью.

Основные свойства разных видов ЦД приведены в Таблице 1.

Табл. 1. Сопоставление физико-химических показателей ЦД: α -, β -, γ -ЦД.

Свойство	α-ЦД	β-ЦД	γ-ЦД
Число остатков глюкозы в макроцикле	6	7	8
Молекулярный вес, Да	972,85	1134,99	1297,14
Диаметр тора, внешний, Å	13,7	15,3	16,9
Диаметр полости тора, внутренний, Å	5,2	6,6	8,4
Высота тора, Å	7,8	7,8	7,8
Внутренняя полость (объем), Å ³	174	262	472
Физический объем полости в навеске 1 г ЦД, мл	0,1	0,14	0,2
Молярный объем в растворах (частичный), мл·моль ⁻¹	611,4	703,8	801,2
Растворимость в воде при 25 °С, г/100 мл	14,5	1,85	23,2
Температура распада, °С	278	299	267

К основным операциям процесса их катализации относят такие реакции, как циклизация, связывание, диспропорционирование

Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1980. V. 19. № 5. P. 344—362.

²⁵ Uekama K. Design and evaluation of cyclodextrin-based drug formulation // Chem. Pharm. Bull. 2004. V. 52.P. 900—915.

и гидролиз²⁶. В целом они характеризуются общим механизмом катализа²⁷, который характерен для всех гликозилгидролаз²⁸.

Под циклизацией понимают процесс, посредством которого линейная полисахаридная цепь расщепляется. Причем два конца отщепленного фрагмента образуют кольцевой декстрин (ЦД). По количеству сахарных остатков образуемый продукт состоит из 3 основных соединений: α -ЦД с 6 остатками, β -ЦД с 7 остатками и γ -ЦД с 8 остатками.

Следующая реакция — связывание — условно представляет собой обратный процесс циклизации. То есть имеет место расщепление ЦД с образованием линейного декстрина, который впоследствии присоединяется к линейному олигосахариду. Очень похожим на эту операцию является диспропорционирование. Однако расщепленный декстрин является не ЦД, а линейным олигосахаридом, который затем входит в соединение со вторым олигосахаридом.

При этом невысокая гидролизующая активность также свойственна ЦГТ-азе, которая затем расщепляется на более короткие фрагменты.

В промышленных масштабах ЦД можно получать лишь ферментативным путем²⁹. Однако синтез этих соединений химическим путем требует больших затрат и очень дорог.

Для промышленного получения ЦД используются два принципиально различных метода:

1. Неконтролируемая конверсия, когда в биохимический реактор вводятся лишь ЦГТ-аза и раствор крахмала.

2. Контролируемая конверсия с добавлением в реакцию смесь комплексобразователей (сольвентов). Они являются органическими или неорганическими соединениями, которые селективно реагируют с одним из циклических сахаров. При этом имеет место процесс образования нерастворимых или слаборастворимых комплексов включения. Эти вещества сдвигают равновесия реакции в сторону одного из целевых продуктов, что увеличивает его выход. В ряде случаев выход ЦД достигает 40—75 % (масс.) по отношению к субстрату. Вместе с тем число подобных сольвентов, имеющих промышленное применение

²⁶ Грачев М.К. Циклодекстрины как уникальные природные объекты для супрамолекулярной химии // Химия в школе. 2013. № 8. С. 5—10.

²⁷ Варламов В.П. Ферментные системы и технологии получения циклодекстринов // В мире науки. 2006. № 11. С. 80—82.

²⁸ Штейнман А.А. Циклодекстрины // Журнал Всесоюзного хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 1985. Т. 30. № 5. С. 514—518.

²⁹ Biber A., Antranikian G., Heinzle E. Enzymatic production of cyclodextrins // Applied Microbiology and Biotechnology. 2002. Vol. 59. № 6. P. 609—617.

в производстве ЦД, существенно ограничено. Так, к известным сольвентам относят толуол, широко используемый в технологии получения β-ЦД, деканол-1 и циклогексадека-8-ен-1-он, активизирующие накопленные β- и γ-гомологов ЦД соответственно.

Вследствие уникального строения (гидрофильная поверхность и гидрофобная внутримолекулярная полость) синтезируемые ЦГТ-азами ЦД способны образовывать комплексы — включения с различными органическими и неорганическими молекулами. За счет изменения их физико-химических свойств можно достигнуть возрастания в десятки и сотни раз растворимости в воде неполярных соединений. Это позволяет увеличить стабильность различных веществ к воздействию кислорода воздуха.

Микроэлементы обладают способностью поддержания необходимого гомеостаза обменных процессов (Таблица 2). Их можно включать в полость ЦД с образованием клатратов для более оптимальной их доставки к местам протекания обменных процессов и тем самым повышать пищевую ценность продуктов питания.

Табл. 2. Суточная потребность некоторых групп населения в минеральных компонентах.

Название	Суточная потребность, мг										
	Дети 1-10 лет	11—14 лет		14—18 лет		18—59 лет		60 и старше		Дополнительная потребность	
		М	Ж	М	Ж	М	Ж	М	Ж	Беременные (> 4,5 мес.)	Кормящие
Кальций (Ca)	800-1100	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1200	1200	1300	1400
Фосфор (P)	600-800	900	900	900	900	800	800	800	800	900	900
Магний (Mg)	80-250	300	300	400	400	400	400	400	400	450	450
Калий (K)	1000-2000	2500	1500	3200	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Йод (I)	0,09	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,22	0,29
Селен (Se)	0,015-0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,055	0,05	0,05

В природе ЦД образуются при деградации крахмала под действием циклогликозилтрансферазы, продуцируемой различными бактериями, среди которых *Bacillus macerans* и *B. circulans* являются основными продуцентами. Известно, что циклодекстрины представляют собой

кольцевые молекулы. Причем в виду отсутствия свободного вращения на уровне связей между глюкопиранозными фрагментами для них характерна форма усеченного конуса.

Помимо повышения растворимости гостевых молекул ЦД увеличивают их физическую и химическую стабильность. Так, при формировании комплекса включения (КВ) летучие соединения становятся устойчивыми к испарению, а чувствительные к окислению, температуре и свету сохраняют неизменность первичной структуры.

Центральная полость ЦД, сформированная глюкозными связями, липофильна и в водных растворах может обратимо захватывать молекулы подходящего размера или их фрагменты, формируя комплексы включения: свободный ЦД + свободный гость \leftrightarrow ЦД-гость (комплекс включения).

В ходе исследований в этом направлении содержание йода в комплексах ЦД с йодом определяли при помощи сканирующего электронного микроскопа, а также методом йодометрического титрования.

Формирование комплекса между ЦД и йодом проводили по известной методике³⁰. С этой целью навеску 76,667 мг KI и 50 мг кристаллического йода растворяли в 8,333 см³ воды и по каплям вносили в коническую колбу, где находился раствор 0,5 г α -ЦД или β -ЦД в 13,333 см³ воды. Для полного растворения ЦД в воде использовали водяную баню. После чего колбу с раствором запечатывали парафином и перемешивали в течение 3 часов с использованием магнитной мешалки и далее выдерживали 12 часов на ледяной бане для полного инкапсулирования йода³¹. Полученный коричневый осадок промывали, высушивали, снова промывали дистиллированной водой (333,333 см³) и раствором KI (1,2 mM, 33,33 см³). Конечный продукт (клатрат ЦД с микроэлементом) высушивали при 45 °C в сушильном шкафу в течение 24 часов.

Содержание йода в клатратах ЦД с йодом приведено в Таблице 3.

Табл. 3. Содержание йода в комплексах ЦД с йодом.

Вид комплекса	Сканирующая электронная микроскопия, %	Йодометрическое титрование, %
α -ЦД-I ₂	18,0 ± 0,1	18,6 ± 0,1
β -ЦД-I ₂	16,82 ± 0,1	16,9 ± 0,1

³⁰ Wang T., Li B., Feng Y. et al. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with β -cyclodextrin // J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. 2011. Vol. 69. P. 255—262.

³¹ Song L.H., Bai L., Xu X.M. et al. Inclusion complexation, encapsulation interaction and inclusion number in cyclodextrin chemistry // Coordinat. Chem. Rev. 2009. Vol. 253. P. 1276—1284.

Уникальные свойства ЦД обусловлены их способностью образовывать комплексы «гость — хозяин», в которых неполярная молекула «гость», попадая во внутреннюю часть ЦД (молекула «хозяина»), замещает молекулы воды и образует комплекс, стабилизирующийся за счет водородных связей, вандерваальсовых сил и электростатических взаимодействий³².

Главным достоинством ЦД является возможность включать в свою полость другие молекулы или их фрагменты. Это приводит к изменению физико-химических свойств «молекулы-гостя», таких как стабильность, растворимость, биодоступность³³.

Результаты исследований представлены на Рисунках 2—6.

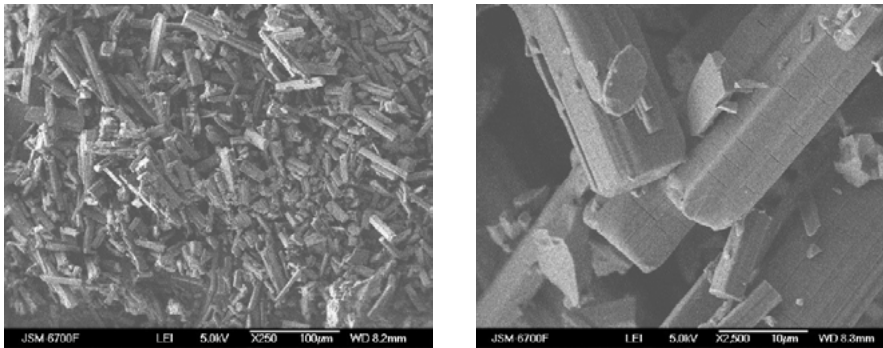


Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии α -ЦД.

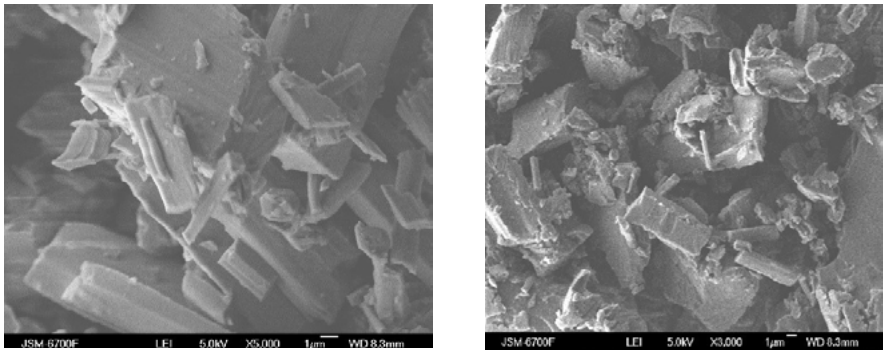
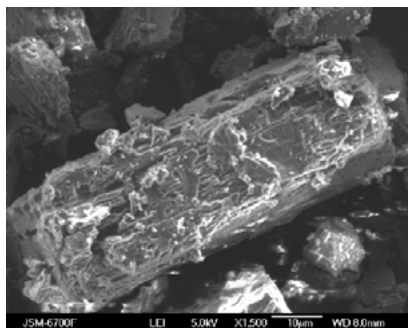
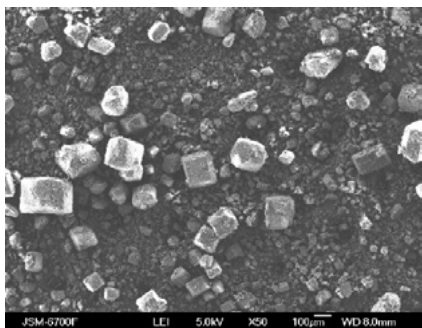


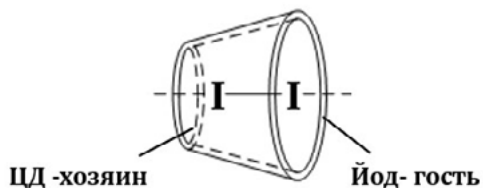
Рис. 3. Сканирующие электронные микрофотографии β -ЦД.

³² Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C. et al. A review on the use of cyclodextrins in foods // Food Hydrocol. 2009. Vol. 23. P. 1631—1640.

³³ Паннель К.Э., Духтырев С.И., Сугрובה Н.П. Особенности получения циклодекстринов и образование комплексов включения // Итоги науки и техники. Серия «Микробиология». 1988. Т. 21. Ч. II. С. 74—79.



Комплекс α -ЦД с йодом



Структура включения молекул йода («гостя») во внутреннюю полость молекулы ЦД («хозяина»)

Рис. 4. Сканирующие электронные микрофотографии комплекса α -ЦД с йодом.

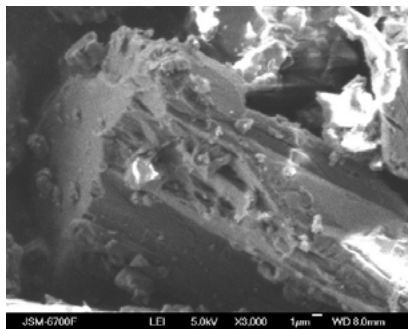
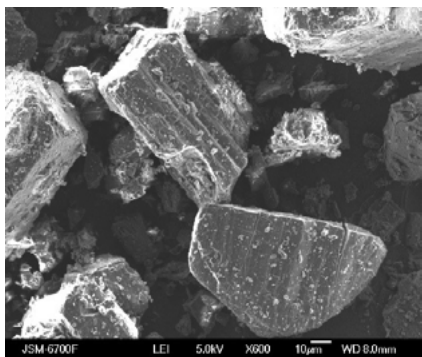


Рис. 5. Сканирующие электронные микрофотографии комплексов ЦД с йодом.

Таким образом, проведенные опыты показали, что микроэлементы, имеющие большое значение для поддержания необходимого гомеостаза обменных процессов, можно включать

в полость ЦД с образованием клатратов для более оптимальной доставки их к местам обменных процессов.

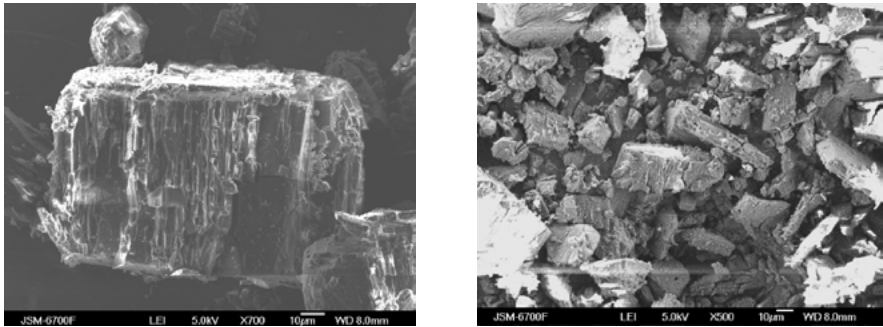


Рис. 6. Сканирующие электронные микрофотографии комплекса β -ЦД с йодом.

Получены клатраты ЦД с йодом (α -ЦД- I_2 и β -ЦД- I_2) путем смешивания концентрированных растворов ЦД и KI с последующим выпадением осадка, его промыванием и сушкой под разряжением.

Сканирующей электронной микроскопией и йодометрическим титрованием установлено, что в комплексе α -ЦД- I_2 йод содержится в количестве 18—18,6 %, а в комплексе β -ЦД- I_2 — 16,82—16,9 %, т. е. соотношение компонентов комплекса ЦД с йодом будет составлять 1:2.

Из всего этого вытекает перспективность подобных исследований для формирования новых свойств пищевых продуктов.

Список литературы

1. *Абелян В.А.* Циклодекстрины: получение и применение. Ереван: «Ван-Арьян», 2001. 519 с.
2. *Абелян В.А., Авакян З.Г., Мелкумян А.Г., Балаян А.М., Узунян Л.В., Гаспарян А.В.* Сравнительная характеристика циклодекстрингликозилтрансфераз различных групп микроорганизмов // Биохимия. 1992. Т. 57. № 3. С. 430—437.
3. *Абелян В.А., Афян К.Б., Авакян З.Г., Мелкумян А.Г., Африкян Э.Г.* Цикломальтодекстринглюканотрансферазы из термофильных актиномицетов // Биохимия. 1995. Т. 60. Вып. 10. С. 1600—1607.
4. *Варламов В.П.* Ферментные системы и технологии получения циклодекстринов // В мире науки. 2006. № 11. С. 80—82.
5. *Грачев М.К.* Циклодекстрины как уникальные природные объекты для супрамолекулярной химии // Химия в школе. 2013. № 8. С. 5—10.

6. *Кестнер А.И., Пальм Т.Б.* Применение циклодекстринов в биотехнологии и пищевой промышленности // Итоги науки и техники. Серия «Микробиология». 1988. Т. 21. Ч. II. С. 128—134.

7. *Кошелева Т.В.* Разработка технологии ферментативного синтеза циклодекстринов. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук / Моск. технол. ин-т пищевой промышленности. М., 1991. 24 с.

8. *Кузнецова И.Н., Николаева Е.В., Винтер В.Г.* Почвенные микроорганизмы — продуценты циклодекстринглюконотрансфераз // Ученые записки Казанского государственного университета. 2005. Т. 147. Кн. 2. С. 99—107.

9. *Кушакова Е.Е.* Разработка технологии высокоочищенной циклодекстринглюканотрансферазы *Bacillus Macerans* 506. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук / Моск. технол. ин-т пищевой промышленности. М., 1990. 25 с.

10. *Логонов О.Н.* Физиолого-биохимические свойства представителей вида *Bacillus Macerans*, продуцентов циклодекстринглюканотрансферазы. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Ин-т микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного. Киев, 1991. 24 с.

11. *Никитин Н.А.* Циклодекстрины и их комплексы включения (обзор литературы) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. № 6. С. 3—11.

12. *Панпель К.Э., Дихтярев С.И., Сугрובה Н.П.* Особенности получения циклодекстринов и образование комплексов включения // Итоги науки и техники. Серия «Микробиология». 1988. Т. 21. Ч. II. С. 74—79.

13. *Славянский А.А.* Специальная технология сахарного производства. 2-е изд., испр. СПб.: «Лань», 2020. 216 с.

14. *Славянский А.А., Гаврилов А.М., Клименко Л.Л., Купреева В.И.* Усовершенствование преддефекационной обработки диффузионного сока // Сахарная промышленность. 1996. № 1. С. 17—20.

15. *Славянский А.А., Сапронов А.Р.* Пути повышения качества и выхода сахара-песка // Международный сельскохозяйственный журнал. 1988. № 6. С. 75—80.

16. *Славянский А.А., Сапронов А.Р.* Пути повышения качества продукции в сахарной промышленности: Лекция для заочников курсов «Повышение технико-экономических знаний работников сахарной промышленности». М.: «Агропромиздат», 1985. 39 с.

17. *Стрובה С.С.* Выделение продуцента альфа-специфичной циклодекстринглюканотрансферазы из природных источников и разработка технологии ферментного препарата на его основе. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук / Моск. гос. ун-т пищевых производств. М., 2006. 26 с.

18. Терехова Е.Я. Выделение продуцентов бета-специфичной циклодекстринглюкоанотрансферазы и получение ферментных препаратов на их основе. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук / Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. Уфа, 1999. 20 с.

19. Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 4. Ст. 345.

20. Федорова П.Ю., Гильванова Е.А., Усанов Н.Г. Сравнение кинетических свойств различных циклодекстринглюкоанотрансфераз // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5 (3). С. 203—206.

21. Штейнман А.А. Циклодекстрины // Журнал Всесоюзного хим. общества им. Д.И. Менделеева. 1985. Т. 30. № 5. С. 514—518.

22. Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C. et al. A review on the use of cyclodextrins in foods // Food Hydrocol. 2009. Vol. 23. P. 1631—1640.

23. Biver A., Antranikian G., Heinzle E. Enzymatic production of cyclodextrins // Applied Microbiology and Biotechnology. 2002. Vol. 59. №. 6. P. 609—617.

24. Saenger W. Cyclodextrin inclusion compounds in research and industry // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1980. V. 19. № 5. P. 344—362.

25. Song L.H., Bai L., Xu X.M. et al. Inclusion complexation, encapsulation interaction and inclusion number in cyclodextrin chemistry // Coordinat. Chem. Rev. 2009. Vol. 253. P. 1276—1284.

26. Uekama K. Design and evaluation of cyclodextrin-based drug formulation // Chem. Pharm. Bull. 2004. V. 52. P. 900—915.

27. Wang T., Li B., Feng Y. et al. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with β -cyclodextrin // J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. 2011. Vol. 69. P. 255—262.

Сведения об авторах

Литвяк Владимир Владимирович, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории по испытаниям и внедрению модифицированных крахмалов, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья (филиал) Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха. E-mail: besserk1974@mail.ru

Славянский Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: a.slavyanskiy@mgut.ru

Авакова Алина Александровна, аспирант кафедры биологии и биоинформатики Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: *avakova.alina@mail.ru*

Information about the authors

Lityyak Vladimir Vladimirovich, Doctor of Technical Science, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Leading researcher of the laboratory for testing and implementation of modified starches, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials (branch) of the Russian Potato Research Centre. E-mail: *besserk1974@mail.ru*

Slavyanskiy Anatoliy Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies of Products from Vegetable Raw Materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: *a.slavyanskiy@mgutm.ru*

Avakova Alina Aleksandrovna, postgraduate student of the Department of Biology and Bioinformatics, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: *avakova.alina@mail.ru*