

## ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ЙОДИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЕ НОВЫХ ЙОДСОДЕРЖАЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК

К. В. ОМЕЛЬЧЕНКО<sup>1)</sup>, М. О. ПОЛУМБРИК<sup>1)</sup>, В. В. ЛИТВЯК<sup>2)</sup>, А. Н. БАТЯН<sup>3)</sup>, В. А. КРАВЧЕНКО<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Национальный университет пищевых технологий,  
ул. Владимирская, 68, 01601, Киев, Украина

<sup>2)</sup>РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Разработан инновационный способ йодирования продуктов питания, заметно повышающий йодный статус и проявляющийся в повышении уровня тиреоидных гормонов, что подтверждается результатами исследования йодурии. Анализ свойств комплекса «гость-хозяин» между  $\beta$ -ЦД и йодом указывают на то, что данная добавка может быть перспективной для обогащения пищевых продуктов йодом в современных экологических условиях.

**Ключевые слова:** функциональная добавка; йод; йодирование; циклодекстрин.

### Образец цитирования:

Омельченко К. В., Полумбрик М. О., Литвяк В. В., Батян А. Н., Кравченко В. А. Инновационный способ йодирования продуктов питания путем введение новых йодсодержащих функциональных добавок // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 52–62.

### For citation:

Omelchenko C. V., Polumbryk M. O., Litvyak V. V., Batian A. N., Kravchenko V. A. An innovative way of iodization of food products through the introduction of a new iodine-containing functional additives. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 52–62 (in Russ.).

### Авторы:

**Кристина Владимировна Омельченко** – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности.

**Максим Олегович Полумбрик** – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры безопасной жизнедеятельности, докторант.

**Владимир Владимирович Литвяк** – доктор технических наук, доцент.

**Анатолий Николаевич Батян** – доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой экологической медицины и радиобиологии.

**Вячеслав Анатольевич Кравченко** – кандидат биологических наук; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

### Authors:

**Christina V. Omelchenko**, senior lecturer of the department of life safety.

*info@nift.edu.ua*

**Maksim O. Polumbryk**, PhD (engineering), associate professor; associate professor of the department of life safety, doctoral student.

*info@nift.edu.ua*

**Vladimir V. Litvyak**, doctor of science (engineering), associate professor.

*besserk1974@mail.ru*

**Anatoly N. Batian**, doctor of science (medicine), professor; head of the department of environmental medicine and radiobiology.

*ani\_b@tut.by*

**Viacheslav A. Kravchenko**, PhD (biology); associate professor of the department of environmental medicine and radiobiology.  
*kravchenko.v.anat@gmail.com*

# AN INNOVATIVE WAY OF IODIZATION OF FOOD PRODUCTS THROUGH THE INTRODUCTION OF A NEW IODINE-CONTAINING FUNCTIONAL ADDITIVES

C. V. OMELCHENKO<sup>a</sup>, M. O. POLUMBRYK<sup>a</sup>, V. V. LITVYAK<sup>b</sup>, A. N. BATIAN<sup>c</sup>, V. A. KRAVCHENKO<sup>c</sup>

<sup>a</sup>National University of Food Technologies, Vladimirskaya street, 68, 01601, Kiev, Ukraine

<sup>b</sup>Practical Center for foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus,

Kozlova street, 29, 220037, Minsk, Belarus

<sup>c</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute

Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: info@nuft.edu.ua

The complex formed by interaction between  $\alpha$ -CD and/or  $\beta$ -CD and iodine has developed. It has found, that complex utilization in the human diet resulted in significant rise of urinary iodine excretion, and therefore, these compounds markedly improve iodine status of the humans. The additive can be promising for food fortification with iodine in modern ecological conditions.

**Key words:** functional additive; iodine; iodination; cyclodextrins.

## Введение

Йод играет важную роль для поддержания жизнедеятельности организма человека. Дефицит этого микроэлемента негативно влияет на синтез гормонов щитовидной железы, необходимых для метаболизма у взрослых и, особенно, для нормального развития детей. В результате этого возникает ряд таких заболеваний, как эндемический зоб, кретинизм, ухудшение репродуктивной функции, рост детской смертности и умственные расстройства.

Необходимо подчеркнуть, что от общего количества выброшенных радионуклидов из реактора в результате аварии на Чернобыльской АЭС, 25 % составлял йод-131. Уровни радиоактивного загрязнения короткоживущими радионуклидами йода были настолько велики, что вызванное ими облучение квалифицируется как период «йодно-нептуниевого удара». На отдельных участках территории Беларуси активность <sup>131</sup>I в почве достигала 37000 кБк/м<sup>2</sup>. Являясь  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучателем и находясь в аэрозольном состоянии, йод-131 нанес основной удар по щитовидной железе людям с дефицитом йода. <sup>131</sup>I легко проникает в овощи, ягоды, молоко и поэтому представляет особую опасность для человека [1].

В промышленно развитых странах, испытывавших природный дефицит йода (США, Канада, Швейцария, Великобритания, Скандинавские страны, Австралия), реализация программ йодной профилактики привела к ликвидации йоддефицитных заболеваний [2]. Йодирование молока, яиц, мяса осуществляется за счет использования йодсодержащих добавок в пищевом рационе животных, а также применения йодсодержащих лекарственных средств. При этом за счет ликвидации дефицита йода у животных повышается эффективность сельскохозяйственного производства и качество готовой продукции. Содержание йода в курином мясе находится в прямой зависимости от содержания йода в корме. По данным европейских исследователей, среднее содержание йода в грудных мышцах мяса кур может варьироваться от 56 до 1248 мкг/кг. Значительные успехи в ликвидации дефицита йода достигнуты в Республике Беларусь [3; 4].

В Украине отсутствует законодательная база по использованию йодированной соли при производстве продуктов питания, недостаточно пропагандируется использование йодированной соли в домохозяйствах, а также недостаточно применение йодата калия для стабилизации и повышения устойчивости йодированной соли. В работах известных эндокринологов, доктора медицинских наук В. И. Кравченко и доктора медицинских наук М. Е. Маменко, освещены проблемы йодного дефицита в Украине и влияния йодного дефицита и зобогенов окружающей среды на возникновение патологий у детей. По результатам исследований, около 38 млн украинцев испытывают йодный дефицит различной степени. Из 417 тыс. ежегодно рождающихся детей 341 тыс. имеют врожденный йодный дефицит. По экспертным заключениям, Украина по уровню проведения йодной профилактики занимает последние места в мировом списке [5–7].

Использование йодированной соли имеет следующие недостатки: излишки соли вредны для организма человека, а при некоторых заболеваниях соль вообще противопоказана. Йод находится в соли в виде нестойкого химического соединения, что приводит к значительной его потере во время технологической обработки при производстве пищевых продуктов, которые, по некоторым данным, могут достигать 67 %. Негативное влияние на качественные показатели готовых изделий при длительном хранении и термической обработке йода теряется.

Таким образом, возникает необходимость разработки и использования йодсодержащих пищевых добавок, обладающих повышенной способностью к синтезу тироксина и трийодтиронина в щитовидной железе человека. Поскольку биосинтез указанных гормонов в щитовидной железе происходит с молекулярным йодом, то целесообразным является получение комплексов по типу «гость–хозяин» с этим соединением. Это позволит существенно уменьшить токсичность йода, обеспечивая при этом контролируемый синтез основных гормонов щитовидной железы. Кроме того, эти соединения должны обладать такими свойствами, как ограниченная растворимость в воде, стабильность при технологической обработке и хранении, отсутствие негативного влияния на качество готовых изделий, высокая биологическая доступность, безвредность, возможность взаимодействия с компонентами пищевого продукта с образованием биологически активных соединений и низкая стоимость. Важным этапом исследований является установление точной структуры указанных комплексов.

Цель исследования – разработка инновационного способа йодирования продуктов питания в современных экологических условиях путем введения новых йодсодержащих функциональных добавок.

### Материалы и методы исследования

По нашему мнению, в настоящее время наиболее перспективным способом обогащения пищевых продуктов микроэлементами является использование в качестве обогащающих ингредиентов комплексов микроэлементов с циклодекстринами. Циклодекстрины – циклические невосстанавливаемые олигомеры  $\alpha$ -D-глюкопиранозы, которые образуются вследствие трансформации крахмала такими специфическими бактериями, как *Bacillus macerans*. К их основным типам относят  $\alpha$ -ЦД, образованные из шести фрагментов глюкопиранозы,  $\beta$ -ЦД, состоящие из семи ее остатков, а также  $\gamma$ -ЦД, в которые входят восемь фрагментов глюкопиранозы (табл. 1).

Таблица 1

Свойства циклодекстринов

Table 1

Properties of cyclodextrins

Свойства	$\alpha$ -ЦД	$\beta$ -ЦД	$\gamma$ -ЦД
Число остатков глюкозы в макроцикле	6	7	8
Молекулярный вес, Да	972,85	1134,99	1297,14
Внешний диаметр тора, Å	13,7	15,3	16,9
Внутренний диаметр полости тора, Å	5,2	6,6	8,4
Высота тора, Å	7,8	7,8	7,8
Объем внутренней полости, Å <sup>3</sup>	174	262	472
Физический объем полости в навеске 1 г ЦД, мл	0,1	0,14	0,2
Частичный молярный объем в растворах, мл·моль <sup>-1</sup>	611,4	703,8	801,2
Растворимость в воде при 25 °С, г/100 мл	14,5	1,85	23,2
Температура разложения, °С	278	299	267

Эти циклические углеводы имеют полость диаметром 0,5–0,8 нм, способную вместить 6–17 молекул воды.

Небольшие органические молекулы могут замещать воду в полости ЦД, при этом образуются соединения включения типа «гость–хозяин» – происходит так называемая супрамолекулярная инкапсуляция (рис. 1).

Кольцо, которое составляет ЦД, в действительности является цилиндром, точнее коническим цилиндром, пространство которого ограничено водородными связями и гликозидными кислородными мостиками.

Для определения структуры комплексов йода с циклодекстринами (ЦД) использовали метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Метод СЭМ широко применяется с целью определения структуры поверхности макромолекул, а также позволяет определить элементный состав и формы связи образцов [8]. Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6700F (JEOL, Япония) в Институте геохимии, минералогии и рудообразования

им. Н. П. Семеновко НАН Украины. Предварительно на поверхность образцов, для стекания с них электрического заряда, наносилось платиновое напыление с толщиной пленки 100 Å. Съемка выполнялась при ускоряющем напряжении 5 кВ, токе зонда 0,65 нА.

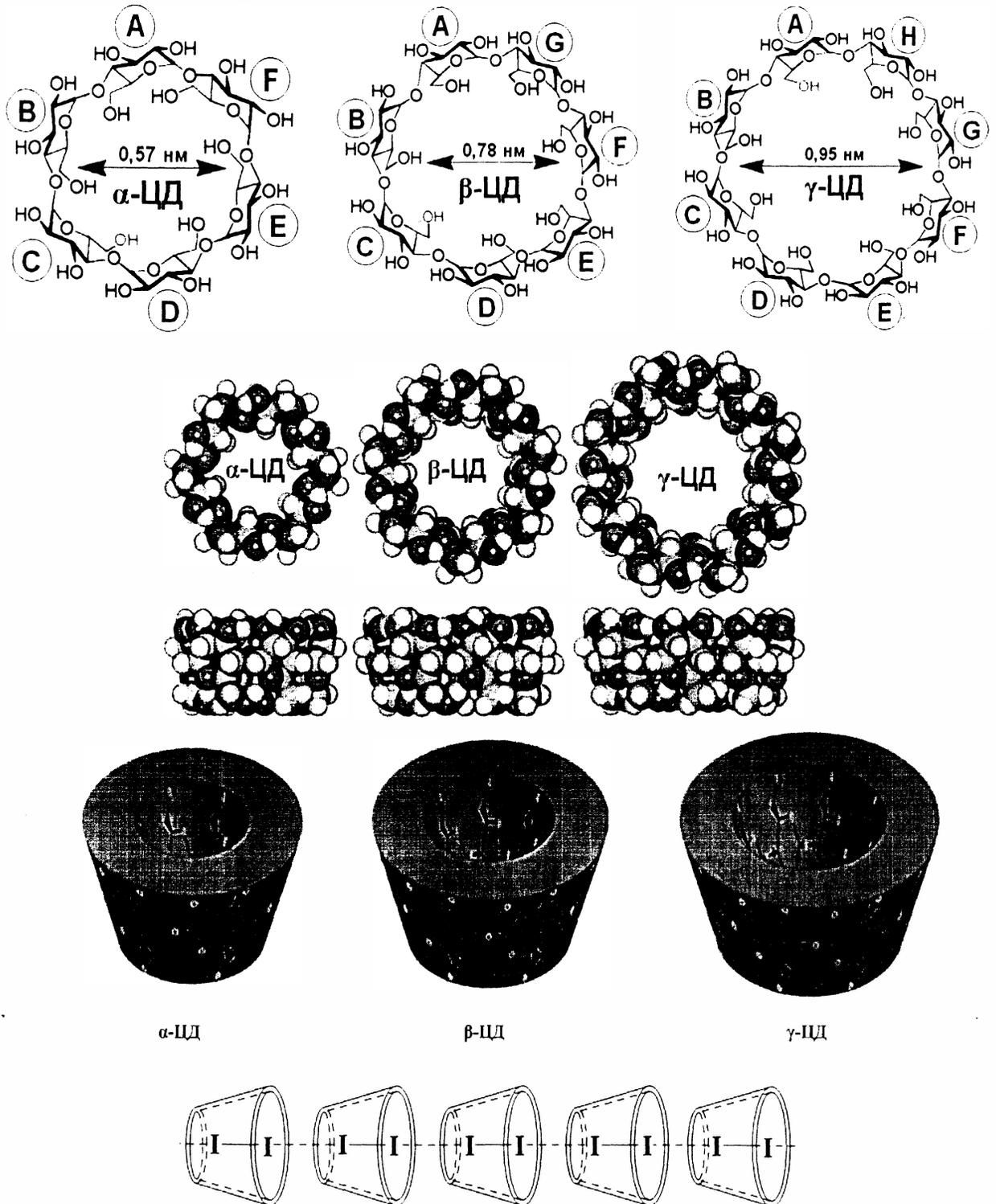


Рис. 1. Особенности строения циклодекстринов и йодсодержащей добавки:  
ЦД – циклодекстрин; А, В, С, D, E, F, G, H – глюкопиранозные звенья ЦД; I – йод; 1 – особенности строения ЦД;  
2 – структура включения молекул йода («гостя») во внутреннюю полость молекулы ЦД («хозяина»)

Fig. 1. Features of the structure of cyclodextrins and iodine-containing additives:  
CD – cyclodextrin; A, B, C, D, E, F, G, H – glucopyranose links of CD; I – iodine; 1 – features of the structure of CD;  
2 – structure of inclusion of iodine molecules («guest») in the internal cavity of the CD molecule («host»)

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследований синтезированы комплексы  $\alpha$ - и  $\beta$ -циклодекстрина с йодом и изучилось строение и свойства этих веществ. Результаты исследований структуры поверхности опытных образцов представлены на рис. 2–5.

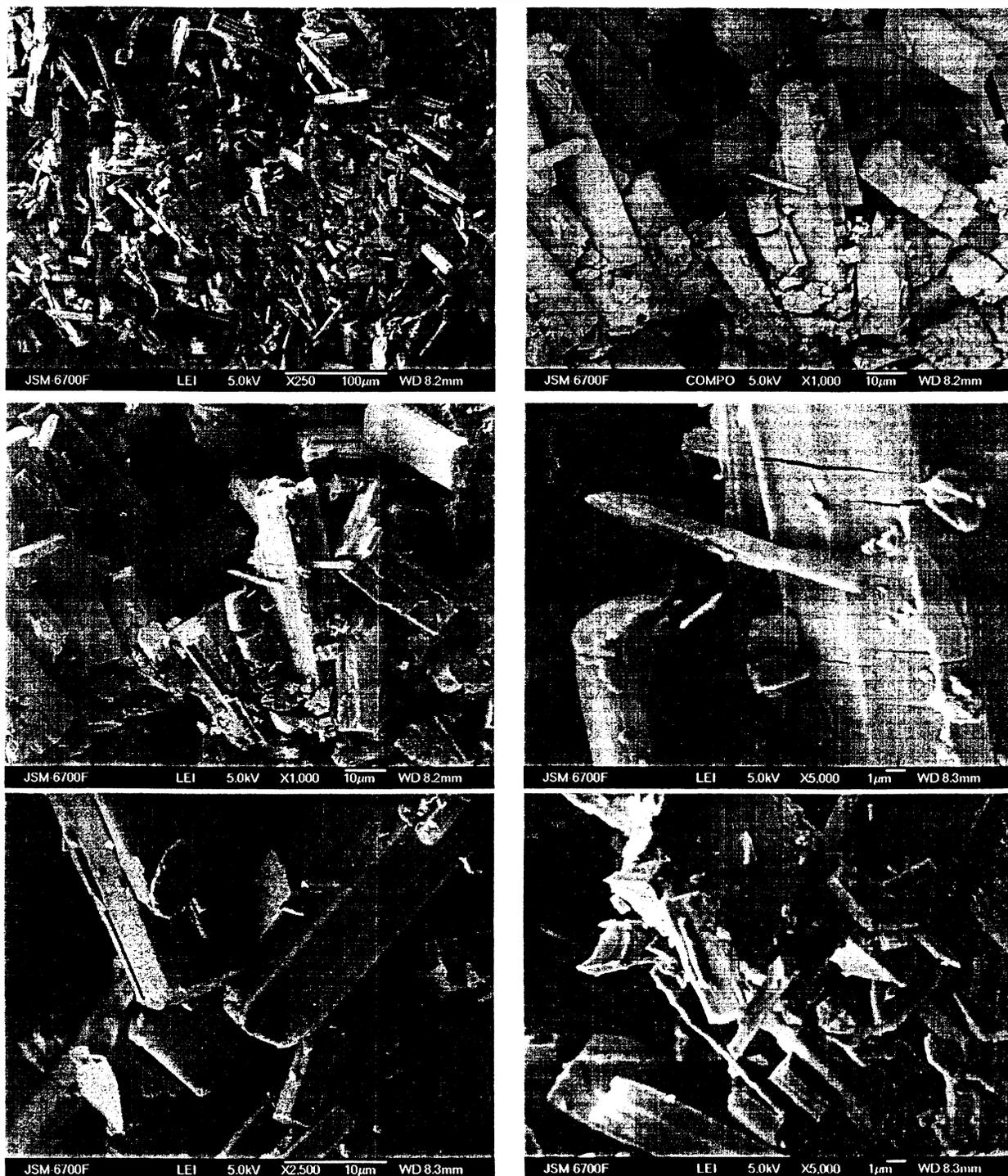


Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии комплекса альфа-циклодекстринов с йодом ( $\alpha$ -ЦД-И $5^+$ )

Fig. 2. Scanning electron microphotographs of the complex of alpha-cyclodextrins with iodine ( $\alpha$ -CD-I $5^+$ )

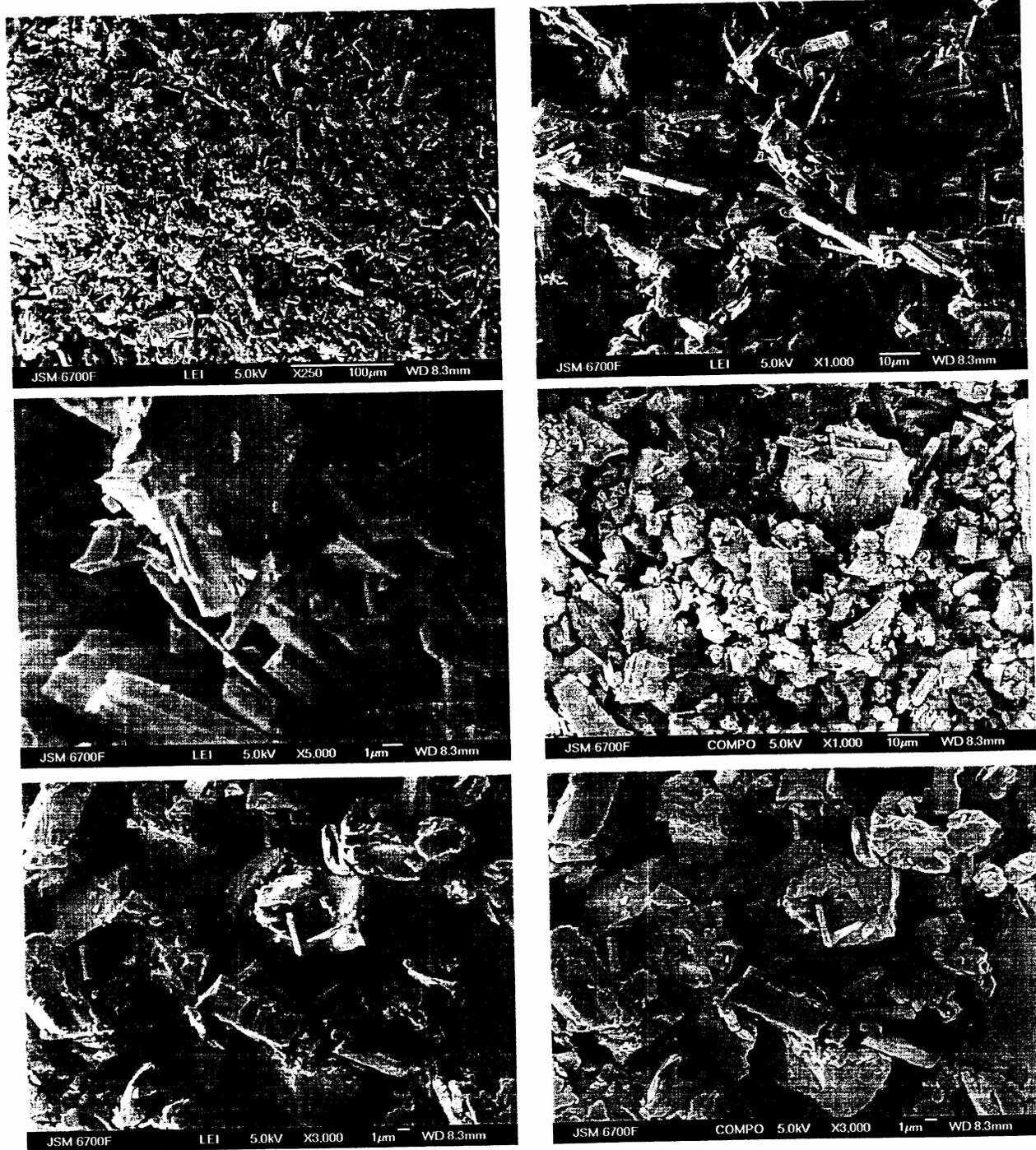


Рис. 3. Сканирующие электронные микрофотографии комплексов бета-циклодекстринов с йодом ( $\beta$ -ЦД-И<sub>2</sub>)

Fig. 3. Scanning electron micrographs of complexes of beta-cyclodextrins with iodine ( $\beta$ -CD-I<sub>2</sub>)

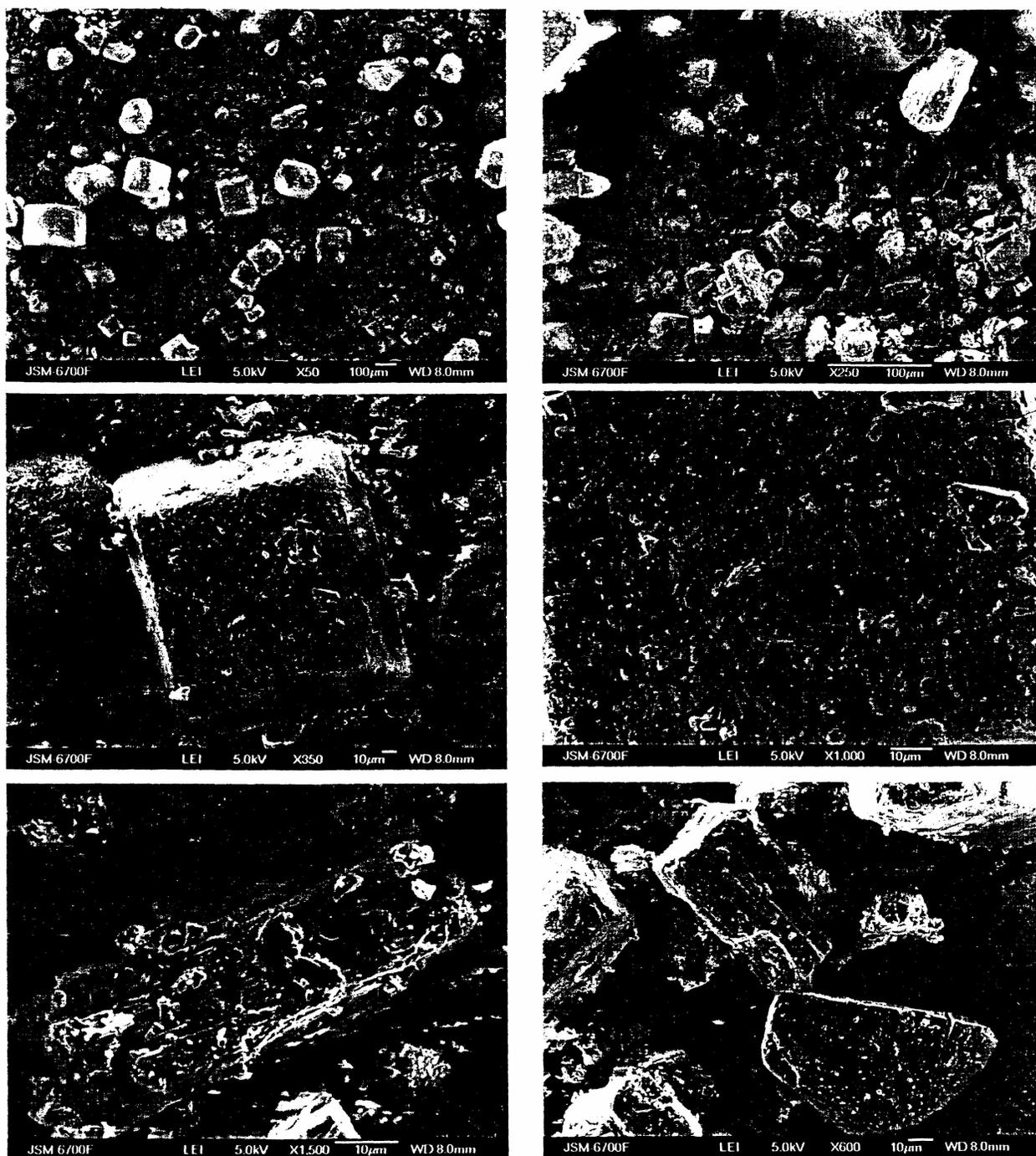


Рис. 4. Сканирующие электронные микрофотографии альфа-циклодекстрина

Fig. 4. Scanning electron micrographs of alpha-cyclodextrin

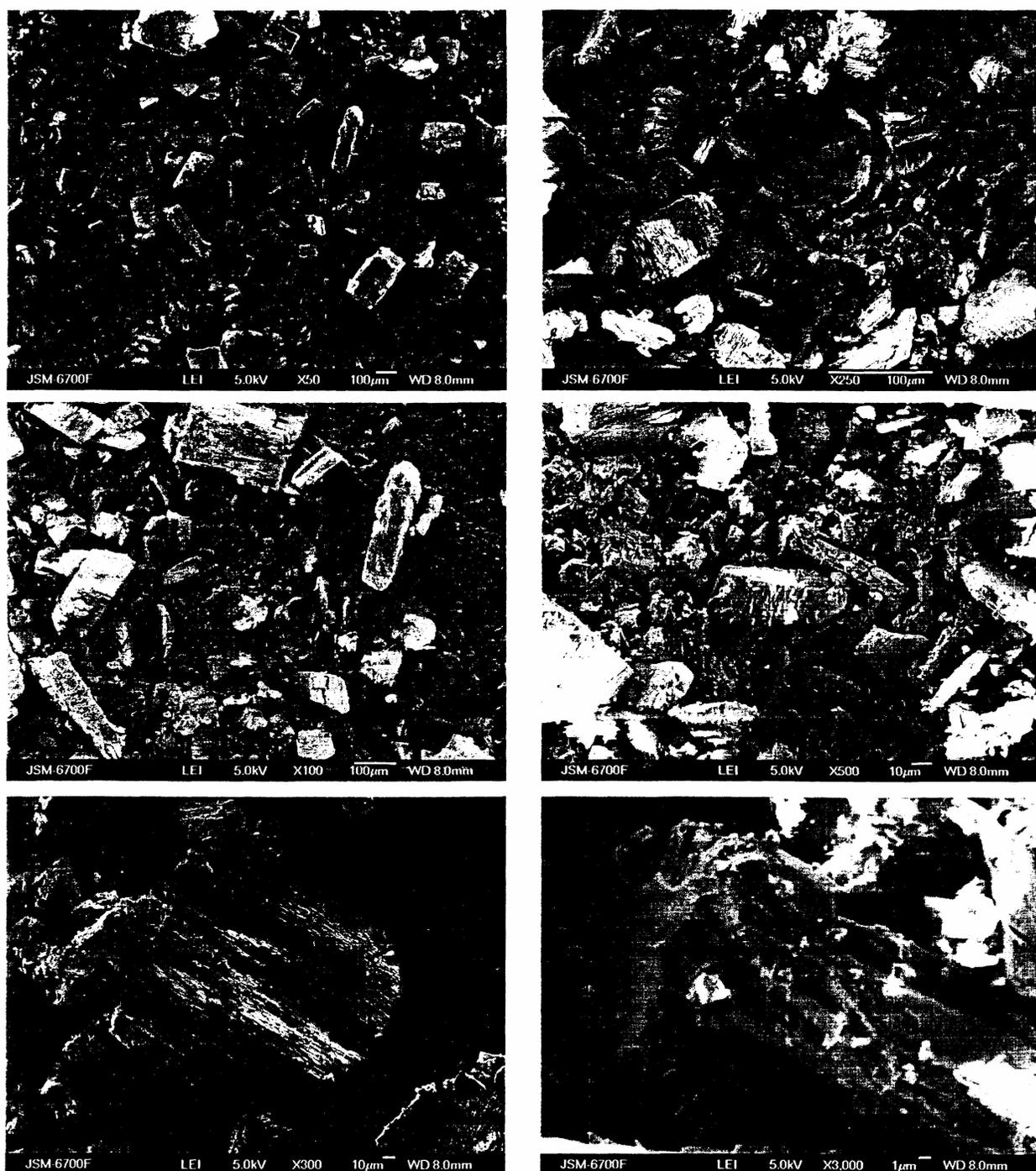


Рис. 5. Сканирующие электронные микрофотографии бета-циклодекстрина

Fig. 5. Scanning electron micrographs of beta-cyclodextrin

Так, на рис. 2 приведены сканирующие электронные микрофотографии комплексов  $\alpha$ -ЦД с йодом ( $\alpha$ -ЦД- $I_5^-$ ), на рис. 3 показана структура поверхности комплексов  $\beta$ -ЦД с йодом ( $\beta$ -ЦД- $I_7^-$ ), на рис. 4 представлена структура поверхности образцов  $\alpha$ -ЦД, а на рис. 5 – поверхность образцов  $\beta$ -ЦД.

Стабильность комплекса реализуется за счет водородных связей, Ван-дер-Ваальсовых сил и электростатических взаимодействий [9], поскольку способность образовывать сильные водородные связи влияет на его растворимость. Он умеренно растворим в воде, сравнительно недорогой и способен формировать комплексы включения с йодом. По существу в данном случае мы имеем дело с молекулярным дизайном пищевых ингредиентов. В «классическом примере» стехиометрическое соотношение «гость:хозяин» составляет величину 1:1. Поэтому наиболее распространенным является комплекс, в котором молекулы ЦД и «гостя» существуют в соотношении 1:1 [10].

Такие комплексы широко применяются в пищевых технологиях для увеличения устойчивости к свету, повышенной температуры, кислороду воздуха; повышения растворимости в воде красителей и витаминов; придают товарный вид изделиям, повышают питательную ценность продуктов, обогащая их полезными веществами. Для доказательства эффективности предложенного комплекса йода с  $\beta$ -ЦД он был применен в качестве функциональной добавки как ингредиент вареного колбасного изделия. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что использование в рецептуре комплекса «гость–хозяин» йода с ЦД не сказывается негативно на сроках хранения вареных колбасных изделий, а степень сохранения йода во время технологической обработки составляет более 80 %. Синтезированный комплекс равномерно распределяется внутри пищевой матрицы. Сравнительный анализ образцов колбасных изделий, изготовленных по стандартной рецептуре, и образцов, полученных с внесением в состав рецептуры данной добавки, доказывает об отсутствии различий в органолептических и микробиологических показателях.

В отделе эпидемиологии эндокринных заболеваний ГУ «Институт эндокринологи и обмена вещества НАМН им. В. П. Комисаренко Украины» были проведены аналитические исследования образцов мочи волонтеров, которые употребляли вареные колбасные изделия, обогащенные синтезированным комплексом, порция (150 г) такого продукта содержала 100 мкг йода. Согласно результатам проведенных исследований всех образцов мочи, усредненный показатель йода в начале исследований составил 58,02 мкг/л, а после употребления указанного изделия на протяжении 10 дней он повысился до 110,6 мкг/л. Проведенные клинические испытания опытной партии колбас показали, что после 10-дневного их потребления достаточное йодное обеспечение было восстановлено полностью у людей с умеренным эндемическим зобом [11].

Анализируя литературные данные относительно строения комплексов, образующихся при взаимодействии ЦД с йодом, были замечены противоречия, заключающиеся в различиях элементного состава [12]. Это является существенной преградой, стоящей на пути широкого применения данных комплексов, поскольку делает невозможным быстрое и точное определение концентрации йода в них. Комплекс между  $\beta$ -ЦД и йодом был получен согласно известной методике [13]. Синтез состоит в смешивании концентрированных растворов  $\beta$ -ЦД и  $KI_3$ , а также выпадением в осадок комплекса, который промывали раствором  $KI$ , и воды для удаления избыточного количества йода, а также сушили в вакууме на протяжении 12 ч при температуре 45 °С. Данные содержания йода в комплексах, полученные методом титрования, приведены в табл. 2. В соответствии с этими данными, йод при взаимодействии с  $\beta$ -ЦД образует комплекс с содержанием 1:1, а с  $\alpha$ -ЦД – комплекс с соотношением 2:3. Полученные данные не согласуются с результатами рентгеноструктурного анализа, приведенного в литературе. Согласно этим данным, комплекс «гость–хозяин», полученный при взаимодействии  $\beta$ -ЦД с йодом, представляет собой полийодидный полимер, образованный из мономерной единицы, в которой одна молекула ЦД связывает 7 атомов йода с общим составом  $\beta$ -ЦД- $I_7^-$ , в то время как  $\alpha$ -ЦД образует комплекс с составом  $\alpha$ -ЦД- $I_5^-$ .

В табл. 2 представлены данные о содержании йода в образцах комплексов циклодекстринов с йодом.

Таблица 2

Содержание йода в образцах комплексов циклодекстринов с йодом

Table 2

The content of iodine in samples of complexes of cyclodextrins with iodine

Вид комплекса	СЭМ, %	Титрование, %
$\alpha$ -ЦД- $I_2$	18,0±0,01	15,0±0,1
$\beta$ -ЦД- $I_2$	16,82±0,01	18,6±0,1
$\beta$ -ЦД- $I_2$ (1 год)	15,42±0,01	16,6±0,1

Результаты анализа элементного состава комплексов циклодекстринов с йодом, проведенного методом сканирующей электронной микроскопии, сходны с результатами йодометрического титрования. Это доказывает высокую воспроизводительность методики синтеза комплексов и достаточно высокую точность метода йодометрического титрования. Незначительные различия в данных содержания йода, полученных методами СЭМ и йодометрического титрования для комплекса  $\alpha$ -ЦД- $I_2$ , очевидно связаны с поглощением влаги на поверхности данного вещества, что приводит к снижению уровня йода на поверхности комплекса. Итак, результаты, полученные двумя методами, свидетельствуют о том, что полученный комплекс «гость–хозяин» ( $\alpha$ - и  $\beta$ -ЦД при взаимодействии с  $KI_3$ ) имеет соотношение компонентов

1:1. Было замечено, что при хранении на протяжении одного года комплекс  $\beta$ -ЦД с йодом теряет некоторое количество йода, которое легко точно определить с помощью йодометрического титрования. Несмотря на это комплекс остается относительно стабильным при продолжительном хранении.

Анализ структуры поверхности образцов  $\alpha$ -ЦД,  $\beta$ -ЦД и комплексов  $\alpha$ -ЦД с йодом ( $\alpha$ -ЦД- $I_3^-$ ), проведенный при помощи метода СЭМ высокого разрешения, указывает на образование крупнокристаллических органических соединений, структура поверхности которых не характерна для полимерных соединений. Поэтому мы можем сослаться на отсутствие фрагментов  $I_3^-$  в полийодидной цепи в комплексах между  $\alpha$ -ЦД и йодом. Аналогичные результаты получены и по комплексу  $\beta$ -ЦД с йодом ( $\beta$ -ЦД- $I_7^-$ ).

Различия между содержанием йода в комплексах ЦД- $I_3^-$ , приведенные в литературе и полученные нами, объяснить можно тем, что синтезированные кристаллы комплексов достаточно продолжительное время промывались водным раствором KI. В свою очередь, это приводит к разрушению полийодидной цепи и вымыванию в раствор неинкапсулированного во внутреннюю полость ЦД йода в виде  $KI_3$  ( $KI \cdot I_2$ ). Можно утверждать, что в результате синтеза образуется комплекс, в котором одна молекула ЦД связывает одну молекулу йода.

В итоге сравнительный анализ поверхности образцов комплексов ЦД с йодом указывает на образование комплексов «гость–хозяин» в соотношении 1:1.

### Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Подтверждена воспроизводимость методики синтеза комплексов  $\alpha$ - и  $\beta$ -ЦД с йодом.
2. Показано, что содержание йода в данных комплексах можно измерить с помощью йодометрического титрования, не требующего дорогостоящего оборудования, что важно при использовании данных комплексов в рецептурах пищевых продуктов, обогащенных этим микроэлементом.
3. Выявлено, что употребление вареного колбасного изделия, обогащенного разработанным комплексом в рекомендованном количестве суточной потребности йода, заметно повышает йодный статус, который проявляется по результатам йодурии в уровне тиреоидных гормонов. Результаты проведенных исследований комплекса «гость–хозяин» между  $\beta$ -ЦД и йодом свидетельствуют о том, что в современных экологических условиях добавка может быть перспективной для обогащения пищевых продуктов йодом.

### Библиографические ссылки

1. Безопасность жизнедеятельности: пособие. В 3 ч. Ч. 2. Радиационная безопасность / В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит. Минск, 2015.
2. Melse-Boonstra A., Jaiswal N. Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development // Best Prac. Res. Clin. Endocrinol. Metab. 2010. Vol. 24. P. 29–38.
3. Яблонская И. В., Валетов В. В. Экологическая оценка суммарного потока йода, поступающего в пищевые цепи населения Юго-востока Белорусского Полесья // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта. 2006. № 2. С. 73–76.
4. Кравченко, В. І. Медичні проблеми йододефіциту та протидія йодозалежним захворюванням // Ендокринологія. 2014. Т. 19, № 4. С. 312.
5. Маменко, М. С., Бугаєнко О. О. Вплив порушень тиреоїдного статусу на розвиток функціональних гастроінтестинальних розладів у дітей молодшого шкільного віку // Ендокринологія. 2014. Т. 19, № 4. С. 321–322.
6. FEEDAP Panel, EFSA. Opinion of the Scientific Panel on additives and product or substances used in animal feed on the request from the Commission on the use of iodine in feedingstuffs // Europ. Food Safety Auth. J. 2005. Vol. 168. P. 163–165.
7. Tronko M., Kravchenko V., Fink D., et al. Iodine excretion in regions of Ukraine affected by the Chernobyl accident: experience of the Ukrainian-American cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases // Thyroid. 2005. Vol. 15, № 11. P. 1291–1297.
8. Wang T., Li B., Feng Y., et al. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with  $\beta$ -cyclodextrin // J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. 2011. Vol. 69. P. 255–262.
9. 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.
10. Полумбрік М. О., Литвяк В. В., Ловкис З. В. и др. Угледовы в пищевых продуктах. Минск, 2016.
11. Полумбрік М. О., Котляр Е. О., Омельченко Х. В. и др. Применение комплекса  $\beta$ -циклодекстрина с йодом при производстве вареных колбасных изделий // Пищ. наука и технол. 2016. Т. 10. С. 44–48.
12. McMullan R. K., Saenger W., Fayoz J., et al. Topography of cyclodextrin inclusion complexes: Part II. The iodine-cyclohexaamylose tetrahydrate complex; its molecular geometry and cage-type crystal structure // Carbohydr. Res. 1973. Vol. 31. P. 211–227.
13. Faughy G. J., Sharma S. S., McCall R. D. Determining fiber fineness in flax using derivative thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy, and airflow methods // J. Appl. Polym. Sci. 2000. Vol. 75. P. 508–514.

## References

1. Bubnov V. P., Pustovit V. T. [Health and safety: a Handbook: in 3 vol. 2 vol. Radiation safety officer]. Minsk, 2015 (in Russ.).
2. Melse-Boonstra A., Jaiswal N. Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* 2010. Vol. 24. P. 29–38.
3. Yablonskaya I. V., Valetov V. V. [Ecological assessment of the total flow of iodine entering the food chains of the population of the Southeast of the Belorussian Polissya]. *Vesn. Mazyr. state pedagog. Univ.* 2006. No. 2. P. 73–76 (in Russ.).
4. Kravchenko V. I. [Medical problems of iodine deficiency and prevention of iodine deficiency disease]. *Endocrinology.* 2014. Vol. 19, No. 4. P. 312 (in Ukrainian).
5. Mamenko, N. Is., Bugaenko A. A. [The influence of violations of thyroid status on the development of functional gastrointestinal disorders in children of primary school age]. *Endocrinology.* 2014. Vol. 19, No. 4. P. 321–322 (in Ukrainian).
6. FEEDAP Panel, EFSA. Opinion of the Scientific Panel on additives and product or substances used in animal feed on the request from the Commission on the use of iodine in feedingstuffs. *Europ. Food Safety Auth. J.* 2005. Vol. 168. P. 163–165.
7. Tronko M., Kravchenko V., Fink D., et. al. Iodine excretion in regions of Ukraine affected by the Chernobyl accident, experience of the Ukrainian-American cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases. *Thyroid.* 2005. Vol. 15, No. 11. P. 1291–1297.
8. Wang T., Li B., Feng Y., et. al. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with  $\beta$ -cyclodextrin. *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* 2011. Vol. 69. P. 255–262.
9. 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.
10. Polumbrik M. O., Litvyak V. V., Lovkis Z. V., et. al. [Uglevody v pishchevykh produktakh]. Minsk, 2016. (in Russ.).
11. Polumbrik M. O., Kotlyar Ye. O., Omel'chenko Kh. V., et. al. [Primeneniye kompleksa  $\beta$ -tsiklodekstrina s yodom pri proizvodstve varenykh kolbasnykh izdeliy]. *Pishch. nauka i tekhnol.* 2016. T. 10. P. 44–48 (in Russ.).
12. McMullan R. K., Saenger W., Fayoz J., et. al. Topography of cyclodextrin inclusion complexes : Part II. The iodine-cyclohexa-amylose tetrahydrate complex; its molecular geometry and cage-type crystal structure. *Carbohydr. Res.* 1973. Vol. 31. P. 211–227.
13. Faughey G. J., Sharma S. S., McCall R. D. Determining fiber fineness in flax using derivative thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy, and airflow methods. *J. Appl. Polym. Sci.* 2000. Vol. 75. P. 508–514.

Статья поступила в редколлегию 28.11.2017  
Received by editorial board 28.11.2017