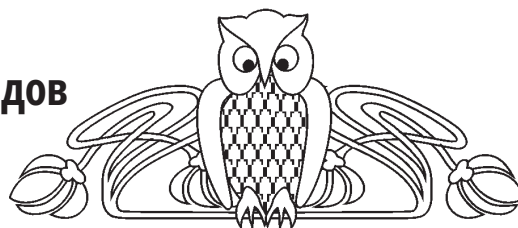




Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 373–381
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 373–381
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-373-381>, EDN: IWRMEA

Научная статья
УДК 546.15:613.26

Определение содержания йода, йодидов и йодатов в пищевых продуктах



Е. О. Маркова , Д. А. Некрасов, М. Ю. Дьяков, А. А. Данилов

Смоленский государственный медицинский университет, Россия, 214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28

Маркова Екатерина Олеговна, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и медицинской химии, smeshik-kate@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4361-0824>

Некрасов Дмитрий Александрович, студент 4-го курса, dister555@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9903-6166>

Дьяков Михаил Юрьевич, кандидат химических наук, доцент кафедры общей и медицинской химии, dyakov.mikhail@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2615-7674>

Данилов Аркадий Александрович, студент 5-го курса, danilov.arkadiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0490-0316>

Аннотация. В настоящее время йододефицитные заболевания являются одной из важнейших медицинских и социальных проблем. В связи с этим цель исследования – определить содержание йода, йодидов, йодатов в йодированной соли, питьевой и минеральной воде, морских водорослях, определить устойчивость содержания йода в соли. Для качественного определения йодид- и йодатов-ионов в солях и молекулярного йода в морских водорослях проводили йодкрахмальную реакцию. Наличие йодид-ионов в йодированной воде определяли по реакции с нитратом серебра и хлорной водой, выделяющийся йод экстрагировали хлороформом. Количественное определение йода в соли проводилось титриметрическим методом, в воде – колориметрическим, в морской капусте – гравиметрическим с последующим титрованием. В ходе исследования установлено, что йодированная соль содержит йод в форме йодата калия, в количестве 18.65 мкг/г элементарного йода, ламинарии содержат молекулярный йод в количестве 8.12 мкг/г элементарного йода, а йодированная вода содержит йодид калия в количестве 0.327 мкг/мл элементарного йода. В ходе исследования доказано, что количество йода в йодированной йодатом калия соли уменьшается через месяц в 5,6 раза. Для того чтобы соблюдать ежедневную норму потребления йода, необходимо включать в свой рацион около 9.7 г йодированной соли, что превышает суточную норму ее потребления в 5 г. В связи с этим рекомендуется в качестве профилактики йододефицита употреблять йодированную соль (не более 5 г) или йодированную воду (0.7 л воды) или ламинарии (18.47 г).

Ключевые слова: йододефицит, йод, профилактика, соль, вода, морские водоросли

Для цитирования: Маркова Е. О., Некрасов Д. А., Дьяков М. Ю., Данилов А. А. Определение содержания йода, йодидов и йодатов в пищевых продуктах // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 373–381. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-373-381>, EDN: IWRMEA

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Determination of the content of iodine, iodides and iodates in food products

Е. О. Markova , D. A. Nekrasov, M. Yu. Dyakov, A. A. Danilov

Smolensk State Medical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation, 28 Krupskaya St., Smolensk 214019, Russia

Ekaterina O. Markova, smeshik-kate@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4361-0824>

Dmitry A. Nekrasov, dister555@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9903-6166>

Michael Yu. Dyakov, dyakov.mikhail@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2615-7674>

Arkady A. Danilov, danilov.arkadiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0490-0316>

Abstract. Currently iodine deficiency diseases are one of the most important medical and social problems. In this regard, the purpose of the study is to determine the content of iodine, iodides, iodates in iodized salt, drinking and mineral water, seaweed, to determine the stability of the iodine content in salt. For the qualitative determination of iodides and iodates ions in salts and molecular iodine in seaweed, an iodine starch reaction has been carried out. The presence of iodide ions in iodized water has been determined by reaction with silver nitrate and chlorine water, the iodine released has been extracted with chloroform. Quantitative determination of iodine in salt has been carried out by the titrimetric method, in water – by colorimetric method, in seaweed – by gravimetric method with subsequent titration. The study has found that iodized salt contains iodine in the form of potassium iodate, in an amount of 18.65 µg / g of elemental iodine, kelp contains molecular iodine in the amount of 8.12 µg / g of elemental iodine, and iodized water contains potassium iodide in the amount of 0.327 µg / ml of elemental iodine. The study has proved that over time, the



amount of iodine in the salt iodized with potassium iodate decreases after a month by 5.6 times. In order to comply with the daily rate of iodine intake, it is necessary to include in your diet about 9.7 g of iodized salt, which exceeds the daily norm of its consumption in 5 g. In this regard, it is recommended to use iodized salt (not more than 5 g) or iodized water (0.7 L of water) or kelp (18.47 g) as a prevention of iodine deficiency.

Keywords: iodine deficiency, iodine, prophylaxis, salt, water, seaweed

For citation: Markova E. O., Nekrasov D. A., Dyakov M. Yu., Danilov A. A. Determination of the content of iodine, iodides and iodates in food products. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 373–381 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-373-381>, EDN: IWRMEA

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Дефицит йода является крайне актуальной медицинской и социальной проблемой в большинстве стран, включая промышленно развитые и развивающиеся регионы мира [1]. Около 30% населения всего мира страдает от заболеваний, связанных с йододефицитом [2]. Нарушения, вызванные йододефицитом, объединены термином «йододефицитные заболевания». Согласно ВОЗ – это патологические состояния, обусловленные дефицитом йода, которые могут быть предотвращены посредством обеспечения населения необходимым количеством йода. Ни в одном из регионов России доля семей, которые регулярно потребляют йодированную соль, не достигает целевого показателя в 90%, а находится на отметке не выше 30% [3]. Практически на всей территории России у детского и подросткового населения обнаружена зубная эндемия: ребёнок школьного возраста в среднем потребляет менее 100 мкг/л йода в день [4], в то время как рекомендуемый уровень суточного потребления йода составляет 90 мкг – для детей до 5 лет; 120 мкг – для детей с 5 до 12 лет; 150 мкг – для детей с 12 лет и взрослых; 250 мкг – для беременных и кормящих женщин [5].

Недостаточное поступление йода с пищей может служить причиной 65% случаев заболеваний щитовидной железы у взрослых и 95% у детей [6]. При этом нарушение выработки гормонов щитовидной железы негативно влияет на мышцы, сердце, печень, почки и мозг, что приводит к патологиям различной степени тяжести (зоб и его осложнения, нарушения умственного и физического развития, гипотиреоз, злокачественные образования щитовидной железы и другие) [7]. В популяциях, постоянно испытывающих даже легкий йодный дефицит, уровень IQ снижается на 10–13 пунктов [3]. Субклинический дефицит часто носит эндемический характер и характерен для определенных районов, где йод является низким или недоступен в геохимической среде [8].

В связи с этим необходима профилактика йододефицита посредством добавления в пище-

вой рацион определённых продуктов питания, содержащих достаточное количество микроэлемента. Таковыми, например, являются йодированная соль, вода с содержанием йода и морские водоросли. Ряд исследователей предлагают вводить йодированные добавки в кисломолочные [9, 10] и мясные продукты [11].

Аналитическое определение йода до сегодняшнего дня, несмотря на наличие многих методов, остается весьма сложным и трудоемким. Это связано с летучестью йода, возможностью вступать в окислительно-восстановительные реакции с компонентами анализируемого вещества, поливалентностью и, в ряде случаев, с малой концентрацией. В современной литературе указываются следующие методы определения йода.

Титриметрические методы рекомендуются для определения йода в питьевой воде, хлебобулочных изделиях, поваренной соли. Они просты, доступны, не требуют применения специальной аппаратуры, позволяют определять йод в молекулярной форме, форме йодидов, йодатов. Недостатками являются многостадийность, введение ряда окислителей и восстановителей для перевода различных степеней окисления йода в элементный йод. Метод обладает невысокой чувствительностью (10^{-3} – 10^{-4} моль/л) и высоким пределом обнаружения (в поваренной соли 54 мг/кг) [12].

Оптические методы более специфичны, используются для определения йода в биологических жидкостях, пищевых продуктах растительного и животного происхождения, в кормах и растениях, например, в картофеле, моркови, яблоках, молоке, морских продуктах, чае, сладостях и др. Они характеризуются довольно высокой чувствительностью и низким пределом обнаружения. Предел обнаружения йода в среднем составляет в фотометрических методах – 10^{-1} мг/л, экстракционно-фотометрических или флуориметрических – 10^{-2} мг/л, спектро-фотометрических – 10^{-2} мг/л [13].

Фотометрические методы (чувствительность в среднем 10^{-5} – 10^{-6} М с погрешностью 2–5%) можно разделить на две группы. Первая – методы,



основанные на образовании йодидом окрашенных комплексных соединений или ассоциатов. Разработанная методика определения йода с образованием йодкрахмального комплекса имеет предел обнаружения 10^{-2} мг/л и ошибку 3–10%. В первую группу также входят методы, использующие окислительно-восстановительные реакции с образованием йода, йодата, периодата с их последующим определением. Например, при исследовании минеральных вод разного состава использовалась реакция с участием пар $Sb(V)/Sb(III) - I_2/2I^-$. Предел обнаружения (ПрО) $5 \cdot 10^{-5}$ мг/л, относительная погрешность не превышает 20% [13]. Методы первой группы удобны в исполнении, просты и с достаточной достоверностью выполнимы при относительно высоком содержании солей йода в пробе [11]. Вторая группа методов – это кинетические методы, которые обладают большей чувствительностью. Общепринятым ВОЗ методом является кинетический церий-арсенитный метод, основанный на измерении скорости реакции между церием (IV) и мышьяком (III) в кислом растворе. ПрО метода составляет $10^{-2} - 1$ мкг йодида, стандартное отклонение (Sr) 2,15–7,21%, правильность метода $90 \pm 7\%$. Но метод имеет недостатки: токсичность используемых реагентов, необходимость высокой чистоты используемых реактивов и растворов, проведение реакций в строго контролируемых условиях (времени, температуры, pH) [14].

Наиболее часто используют спектрофотометрический метод определения йода в неводных растворителях: ацетонитриле, диметилформамиде и диметилсульфоксиде (чувствительность $10^{-5} - 10^{-6}$ моль/л с погрешностью 2–5%). Недостатки метода: строгое соблюдение оптимальных условий, сложная и длительная пробоподготовка, при которой возможны потери йода из-за неоднократного выпаривания пробы, использование дорогого оборудования и редких реактивов [15]. В последние годы был предложен колориметрический датчик для чувствительного и точного определения форм йода с использованием полиметакрилатной матрицы, который может использоваться с образцами без предварительной обработки и подходит для установки в портативном приборе для анализа. Этот метод обеспечивает определение $0,05 - 80,0$ мкг·г⁻¹ йода с ПрО $0,02$ мкг·г⁻¹. Результаты испытаний показывают, что эта полиметакрилатная матрица может быть использована для определения содержания йода в растворах, пищевой соли и йодированной минеральной воде [16].

Хроматографические методы. Метод газожидкостной хроматографии чувствителен, используется для объектов с малым содержанием йода, ПрО 10^{-3} мг/л.

При использовании ВЭЖХ необходима предварительная тщательная подготовка проб, удаление из них жиров, белков, минеральных примесей и т.п. ВЭЖХ была применена для определения йодидов в жидком молоке и молочном порошке. Детектирование проводится с применением электрохимического либо ультрафиолетового детектора. Проводилось определение йода в минерализованной воде методом изократической ионной хроматографии с кондуктометрическим детектированием. ПрО йодида составил $7 \cdot 10^{-2}$ мг/л, воспроизводимость $\leq 5\%$ [17]. Определение йодид-иона в морской капусте проводили методом микроэмульсионной электрокинетической хроматографии. ПрО 110 мкг/кг высушенного образца [16].

Электрохимические методы. Вольтамперометрический метод основан на переводе всех форм йода в электрохимическую активную форму йодида с последующим определением йодид-ионов с помощью инверсионной вольтамперометрии. Метод чувствителен ($10^{-9} - 10^{-10}$ моль/л), ПрО низкий – $10^{-5} - 10^{-6}$ мг/л. Методом катодной инверсионной вольтамперометрии проводилось определение йода в поливитаминных препаратах [18].

Метод потенциометрического титрования основан на определении потенциала индикаторного серебряного электрода, в процессе титрования йодид-ионов серебром. Применяют ионоселективные электроды, в том числе йодидселективные, мембраны этих электродов состоят из малорастворимой соли йодида серебра в смеси с сульфидом серебра. Метод используется при оценке качества природных и пищевых вод [19]. Редокс-потенциометрия характеризуется высоким ПрО (10 мг/л), но недостаточной избирательностью.

Можно отметить еще ряд высокоэффективных инструментальных методов определения йода:

- метод изотопного разбавления – метод основан на введении изотопного элемента, после чего вводят индикатор известной концентрации, что позволяет определить содержание элемента в исходном продукте. ПрО – 1 мкг/л; Sr – 14% [20];
- метод нейтронно-активационного анализа – метод качественного и количественного определения элементов, основанный на измерении характеристик излучения радионуклидов, образующихся при облучении материалов нейтронами. Абсолютный ПрО 5 нг йода в пробе, Sr – 5% [12];



• метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой – разновидность масс-спектрометрии, основан на использовании индуктивно-связанной плазмы в качестве источника ионов и масс-спектрометра для их разделения и детектирования. Метод использовался для определения йода в морепродуктах. PrO – 15 мкг/кг, Sr – 3,2–12% при концентрации сухого продукта 4,7–0,17 мг/кг [21].

Многие из современных методов, обладающих высокой чувствительностью и достоверностью (нейтронно-активационного анализа, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, изотопного разбавления, высокоэффективная жидкостная хроматография), в настоящий момент малодоступны для использования в массовой аналитической практике. В связи с этим чаще используются более доступные и простые, хотя и менее чувствительные методы (титриметрические, фотометрические и др.). Титриметрический метод рекомендован Минздравом РФ для оценки степени йодирования пищевой поваренной соли йодатом калия, международной ассо-

циацией химиков-аналитиков он рекомендован в качестве официального стандартного метода для определения йода в пищевых продуктах, при оценке уровня йодирования соли, анализе йода в лекарственных средствах.

Указанный обширный набор методов количественного анализа йода свидетельствует о поиске учеными эффективных, высокоточных и доступных методов, позволяющих определять йод в различных пищевых продуктах, воде и биологических объектах с целью решения острой стоящей йододефицитной проблемы населения. Для профилактики йододефицита необходимо контролировать количество йода, вводимое в ежедневный рацион с пищей.

Цель исследования: определить содержание йода, йодидов и йодатов в йодированной соли, питьевой и минеральной воде и морских водорослях и оценить устойчивость йода в соли.

Материалы и методы

Для исследования была отобрана пищевая продукция, указанная в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Исследуемая пищевая продукция Investigated food products

Вид продукции Product type	Название Title	Производитель Manufacturer	Антислеживающий агент E536, массовая доля, % Anti-tracking agent E536 mass fraction, %
Йодированная соль (в составе KIO_3) Iodized salt (as part of KIO_3)	«Экстра» «Extra»	ООО «ТДС», РФ ООО «TDS», Russia	0.001
	«Щепотка» «Pinch»	ООО «ТДС», РФ ООО «TDS», Russia	0.001
	«4Life»	ООО «КОПЭКЕР АГРО», РФ ООО KOPACKER AGRO, Russia	–
	«Зимушка» «Zimushka»	«Akzo Nobel Functional Chemicals B.V.», Нидерланды / Netherlands	0.002
	«SeaSalt»	ООО «Руссоль», РФ ООО «Russol», Russia	0.001
	«Setra»	«Salinen Prosold. o.o.», Словения / Slovenia	–
Йодированная вода (в составе I^-) Iodized water (as part of I^-)	«Архыз» «Arkhyz»	ЗАО «Висма», РФ CJSC «Visma», Russia	–
	«Jodika»	«SMW» Gmbh, Австрия / Austria	–
Морские водоросли (состав не указан) Seaweed (composition not specified)	«ВкусВилл» «Vkusville»	ООО Рыбпромышленная группа «БИНОМ», РФ ООО Fishing group «BINOM», Russia	–
	«Беломорская жемчужина» «Belomorskaya pearl»	ООО «Архангельский водорослевый комбинат», РФ LLC «Arkhangelsk Algae Plant», Russia	–
	«Green Laminaria»	ООО «Компас здоровья», РФ ООО «Compass of health», Russia	–



Пробы соли каждого наименования отбирались из 10 упаковок в потребительской таре по 1 кг. Из отобранных упаковок отбирались первичные пробы, а затем смешивались для получения суммарной пробы. Суммарную пробу сокращали до лабораторной последовательным квартованием вручную (ГОСТ 33770-2016). Пробы морской капусты отбирались аналогично из 10 упаковок потребительской тары (ГОСТ 31412-2010). Отбор проб минеральной воды проводили согласно ГОСТ 23268.0-91. Определение содержания йода проводили из усредненной пробы, которую готовили, используя воду из 6 бутылок.

Для проведения анализа использовались методы качественного и количественного определения. Для качественного определения содержания KI в солях использовали реакцию с нитритом натрия и серной кислотой, а выделившийся молекулярный йод определяли йодкрахмальной реакцией. Для качественного определения содержания KIO₃ в солях использовали реакцию с иодидом, а выделившийся молекулярный йод определяли йодкрахмальной реакцией [22].

Для качественного определения содержания KI в питьевой воде «Архыз» и «Jodika» были использованы фармакопейные методики [23].

Для качественного определения содержания йода в морских водорослях был использован метод, основанный на взаимодействии йода с крахмалом [24].

Определение массовой доли йода в соли, обработанной йодноватокислым калием, проводилось титриметрическим методом (ГОСТ РФ 51575-2000). Определение массовой доли йода в воде проводилось колориметрическим методом (ГОСТ РФ 23268.16-78). Определение массовой доли йода в морской капусте проводилось гравиметрическим методом с последующим титрованием фильтрованного раствора [24].

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2019 и Statistica 7.

Результаты и их обсуждение

Качественный анализ показал, что йод в йодированной соли находится в форме KIO₃, что соответствует данным, заявленным производителями в разделе «Состав», иодид-ионов в солях обнаружено не было.

Данные по количественному содержанию йода в йодированной соли представлены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Содержание йодата калия в йодированных солях, мкг/г
The content of potassium iodate in iodized salts, mcg/g

Йодированная соль Iodized salt	KIO ₃ , мас., % KIO ₃ , mass., %		Содержание йода, заявленное производителем, мкг/г The iodine content declared by the manufacturer, mcg/g
	04.05.2020	04.06.2020	
«4Life» (образец 1/ sample 1)	27,93 ± 0,25	3,10 ± 0,55*	11.25 – 40.00
«Экстра» / «Extra» (образец 2/ sample 2)	17,29 ± 0,30	2,10 ± 0,50*	11.25 – 40.00
«Щепотка» / «Pinch» (образец 3 / sample 3)	10,73 ± 0,20	1,10 ± 0,30*	25 – 55
«Зимушка» / «Zimushka» (образец 4 / sample 4)	49,10 ± 0,55	12,70 ± 0,60*	30.00 – 60.00
«Sea Salt» (образец 5 / sample 5)	35,20 ± 0,40	4,20 ± 0,50*	11.25 – 40.00
«Setra» (образец 6 / sample 6)	62,60 ± 0,15	10,40 ± 0,15*	42.10 – 92.70

Примечание. * – $p < 0,05$ по отношению к первоначальным значениям.
Note. * – $p < 0.05$ relative to the original values.

Все исследуемые образцы соответствуют приведенной рекомендуемой норме, кроме образца 3, что может быть обусловлено неправильными условиями хранения в магазине

розничной торговли, на складе, при транспортировке или ошибками в производстве.

Через месяц в соли образца 4 произошла наименьшая потеря йода – концентрация снизи-



лась в 3,9 раза. Возможно, это произошло из-за изначально высокого содержания KIO_3 , а также из-за того, что стабилизатор и антислеживающий агент E536 в составе продукта находился в более высокой концентрации. В образцах 2 и 5 содержание йода уменьшилось в 8,3 раза. Одинаковое изменение концентрации может быть вызвано тем, что добавка E536 входит в их состав в одинаковом количестве. В солях образцов 1 и 3 – содержание йода уменьшилось в 9,1 и 9,7 раза соответственно.

Таким образом, йодированная соль обогащается йодом искусственным путём в виде соли KIO_3 и содержит в среднем 18.65 мкг/г йода, что в пересчёте на йодат калия составляет 15.47 мкг/г. Для соблюдения ежедневной нормы потребления

йода, необходимо включать в свой рацион 9.7 г йодированной соли. Однако суточная норма потребления соли составляет не более 5 г, поэтому восполнить суточную потребность йода только за счет йодированной соли невозможно, целесообразно вводить в рацион другие продукты, содержащие йод.

При качественном исследовании питьевой и минеральной воды было установлено, что йод содержится в форме KI, как и заявлено производителем.

При количественном определении также было установлено соответствие полученных значений показателям содержания йодид-ионов, заявленным производителем в разделе «Основной состав» (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Содержание йодид-ионов в йодированной воде, мкг/г
The content of iodide ions in iodized water, mg/l

Йодированная вода Iodized water	I ⁻	Содержание йода, заявленное производителем Iodine content, declared by the manufacturer
Питьевая вода «Архыз» Drinking water «Arkhyz»	0.0585 ± 0.002*	0.01 – 0.06
Минеральная вода «Jodika» Mineral water «Jodika»	0.9225 ± 0.002*	0.75 – 1.05

Примечание. * – $p < 0,05$ по отношению к средним показателям йодированной соли.

Note. * – $p < 0.05$ in relation to the average values of iodized salt.

Содержание йода в питьевой и минеральной воде не одинаково. В минеральной воде «Jodika» количество йода в 15.8 раза больше, чем в питьевой воде «Архыз». Среднее содержание йода в йодированной воде 0.327 мкг/мл, что в пересчёте на йодид калия составляет 0.21 мкг/мл, поэтому для соблюдения ежедневной нормы потребления йода, необходимо выпивать примерно 0.7 л воды с содержанием данного микроэлемента.

В настоящее время рекомендуют восполнять дефицит йода в организме за счет употребления продуктов, обогащенных органическим йодом, который уменьшает опасность передозировки, гарантирует нормированное потребление нутриента, способствует хорошему

усвоению, что приводит к оптимизации йодного метаболизма в организме человека. Морские водоросли представляют собой ценный биологический ресурс, активно используемый в пищевой промышленности для непосредственного употребления в пищу и получения специфических пищевых добавок. Основная часть йода (до 90%) концентрируется в ламинарии в виде органических соединений с белками и аминокислотами [25].

При качественном исследовании морских водорослей было установлено, что они содержат йод в виде I_2 .

Результаты количественного анализа морских водорослей представлены в табл. 4.

Таблица 4 / Table 4

Массовая доля йода в морской капусте, мкг/100г
Mass fraction of iodine in seaweed, mcg/100g

Морские водоросли / Seaweed	I ⁻
«ВкусВилл» (образец 1) / «Vkusville» (sample 1)	972 ± 0,0982*
«GreenLaminaria» (образец 2) / «GreenLaminaria» (sample 2)	926 ± 0,1014*
«Беломорская жемчужина» (образец 3) / «Belomorskaya pearl» (sample 3)	533 ± 0,0854*

Примечание: * – $p < 0,05$ по отношению к средним показателям йодированной соли.

Note: * – $p < 0.05$ in relation to the average values of iodized salt.



Содержание йода в морских водорослях превосходит его количество в питьевой воде, но уступает количеству в йодированной соли, однако употреблять ламинарии можно без ограничения, в отличие от йодированной соли. Содержание йода в морских водорослях не одинаково (см. табл. 4). Наибольшее количество обнаружено в морских водорослях торговых марок образцов 1 и 2. В морских водорослях образца 3 содержание йода в 1.8 раза меньше, чем в 1 и 2. Для пополнения запаса йода в организме достаточно употреблять примерно 15 г консервов образцов 1 и 2. В среднем содержание органического йода в ламинарии составляет 8.12 мкг/г и для соблюдения ежедневной нормы потребления данного микроэлемента необходимо включать в свой рацион 18.47 г морских водорослей. Некоторые исследователи рекомендуют не только употреблять ламинарии, но и вводить их в различные продукты [26, 27].

Основной метод профилактики йоддефицитных заболеваний – введение в пищу продуктов, обогащенных йодом. В связи с этим целесообразно употреблять йодированную соль (не более 5 г в сутки), которая обладает наименее требовательными условиями и относительно большим сроком хранения. Однако йодированная соль решает проблему лишь частично, так как при производстве равномерно распределить йодат калия в объеме соли практически не удастся, количество йода в соли с течением времени уменьшается в среднем в 5.6 раза, кроме того, при некоторых заболеваниях соль противопоказана, поэтому для определенной категории населения такой источник йода является неприемлемым.

Выводы

Регулярный анализ содержания йода в пищевой продукции различными методами аналитической химии позволит контролировать количество микроэлемента в пищевом рационе и поможет в решении проблемы йододефицита. В качестве профилактики йододефицита целесообразнее употреблять ламинарии или йодированную воду.

Список литературы

1. The Iodine Global Network: 2018 Annual Report. URL: https://www.ign.org/cm_data/IGN_2018_Annual_Report_5_web.pdf (дата обращения: 07.04.2022).
2. Ma Z. F., Skeaff S. A. Assessment of population iodine status // *Iodine Deficiency Disorders and Their Elimination*. Berlin ; Heidelberg, Germany : Springer, 2017. P. 15–28. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49505-7_
3. Дефицит йода в России. Время принятия решений. Выступление чл.-кор. РАН, проф. Е. А. Трошиной // *Вестник эндокринологии*. 2020. № 1. С. 8–9.
4. Duborska E., Matulova M., Vaculovic T., Matus P., Urik M. Iodine Fractions in Soil and Their Determination // *Forests*. 2021. № 12. P. 1512. <https://doi.org/10.3390/f12111512>
5. Cesar J. A., Santos I. S., Black R. E., Chrestani M. A. D. Iodine status of Brazilian school-age children: A national cross-sectional survey // *Nutrients*. 2020. Vol. 12. P. 1077–1092. <https://doi.org/10.3390/nu12041077>
6. Zimmermann M. B., Andersson M. Global perspectives in endocrinology: Coverage of iodized salt programs and iodine status in 2020 // *European Society of Endocrinology*. 2021. Vol. 185, № 1. P. 13–21.
7. Xin S., Zhongyan Sh., Weiping T. Effects of increased iodine intake on thyroid disorders // *Endocrinology and Metabolism*. 2014. Vol. 29, № 3. P. 240–247. <https://doi.org/10.3803/EnM.2014.29.3.240>
8. Aghini-Lombardu F., Antonangeli L., Martino E., Vitti P., Maccherini D., Leoli F., Rago T., Grasso L., Valeriano R., Balestrieri A., Pinchera A. The spectrum of thyroid disorders in an iodine – deficient community: The Pescopagano survey // *J. Clin. Endocrinol Metab*. 1999. Vol. 84, № 2. P. 561–566.
9. Ковалёва О. А., Поповичева Н. Н., Здрабова Е. М., Киреева О. С. Перспективы использования йодированного пищевого композита «Йодонорм» в молочных продуктах питания // *Ползуновский вестник*. 2020. №1. С. 74–77. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.015>
10. Поповичева Н. Н. Обогащение молочных продуктов питания йодированной пищевой добавкой в условиях йододефицита // *Сетевой научный журнал ОРЕЛ ГАУ*. 2017. Т. 8, № 1. С. 29–32.
11. Хамаганова И. В., Цыжипова А. В., Замбалова Н. А., Лхагвадолгор Д. Разработка технологии йодированных мясных продуктов // *Вестник ВСГУТУ*. 2019. Т. 72, № 1. С. 13–18.
12. Явич П. А., Кахетелидзе М. Б., Чурадзе Л. И. Методы аналитического определения йода // *Исследования в области естественных наук*. 2014. № 1. URL: <https://science.snauka.ru/2014/01/6585> (дата обращения: 31.05.2022).
13. Сергеев Г. М., Шляпунова Е. В., Макеева И. В. Определение йодид-ионов в минеральных водах методом экстракционной редокс-фотометрии // *Аналитика и контроль*. 2006. Т. 10, № 1. С. 49–54.
14. 06.02-19Г.217 Определение йода в биологических жидкостях с использованием кинетического церий-арсенитного метода // *РЖ 19ГД. Аналитическая химия. Оборудование лабораторий*. 2006. № 2.
15. Benvidi A., Heidari F., Tabaraki R., Mazloum-Ardakani M. Simultaneous determination of iodate and periodate by kinetic spectrophotometric method using principal component artificial neural network // *Zhurnal Analiticheskoi Khimii*. 2012. Vol. 67, № 7. P. 727.



16. Gavrilenko N. A., Fedan D. A., Saranchina N. V., Gavrilenko M. A. Solid phase colorimetric determination of iodine in food grade salt using polymethacrylate matrix // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 280. P. 15–19
17. Колотилина Н. К., Долгоносков А. М. Определение йодид-иона в минерализованной природной воде методом изократической ионной хроматографии с кондуктометрическим детектированием // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2009. Т. 9, № 5. С. 610–615.
18. Дербина А. А., Пирогов А. В., Каргин И. Д., Попик М. В., Шпигун О. А. Определение йодид-иона в морской капусте методом микроэмульсионной электрокинетической хроматографии с применением микроэмульсий типа «вода в масле» и электростэкинга // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2015. Т. 81, № 6. С. 5–9.
19. Кулак А. И., Матвейко Н. П., Брайкова А. М., Садовский В. В. Определение йода в поливитаминных препаратах методом катодной инверсионной вольтамперометрии // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*. 2019. Т. 55, № 1. С. 32–37. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-32-37>
20. 06.13-19Г.176 Применение ионселективных электродов для определения йодид-ионов в питьевой и минеральной водах // *РЖ 19ГД. Аналитическая химия. Оборудование лабораторий*. 2006. № 13.
21. 06.20-19Г.144 Высокоточный метод первичных отношений для определения йода в сложных матрицах при помощи двойного изотопного разбавления с использованием мультиколлекторной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и метки йод-129 // *РЖ 19ГД. Аналитическая химия. Оборудование лабораторий*. 2006. № 20.
22. Вторушина Э. А. Определение хлора, брома и йода в водных объектах и образцах с органической матрицей методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой с применением газовой генерации: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Новосибирск, 2010. 19 с.
23. Володина Г. Б., Якунина И. В. *Общая экология*. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2005. 104 с.
24. ОФС.1.2.2.0001.15 Общие реакции на подлинность. URL: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-2-0001-15-obshhie-reaktsii-na-podlinnost> (дата обращения: 20.03.2022).
25. Сокол Н. В., Родионова Л. Я. Методы определения содержания йода в пищевом сырье и продуктах питания. Краснодар : КГАУ, 2014. 18 с.
26. Беспалов В. Г., Некрасова В. Б., Скальный А. В. Йод Элам – продукт из ламинарии: применение в борьбе с йоддефицитными заболеваниями. СПб. : Нордмед-издат, 2010. 92 с.
27. Стаценко Е. С. Разработка технологии кулинарного изделия с использованием обогащающей добавки на основе сои и ламинарии // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 8. С. 107–110. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10819>

References

1. *The Iodine Global Network: 2018 Annual Report*. Internet resource: https://www.ign.org/cm_data/IGN_2018_Annual_Report_5_web.pdf (accessed 20 March 2022).
2. Ma Z. F., Skeaff S. A. Assessment of population iodine status. *Iodine Deficiency Disorders and Their Elimination*. Berlin, Heidelberg, Germany, Springer, 2017, pp. 15–28. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49505-7_
3. Iodine deficiency in Russia. Decision-making time. Speech by Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, professor E. A. Troshina. *Vestnik Endokrinologii*, 2020, no. 1, pp. 8–9 (in Russian).
4. Duborska E., Matulova M., Vaculovic T., Matus P., Urik M. Iodine Fractions in Soil and Their Determination. *Forests*, 2021, no. 12, pp. 1512. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.037>
5. Cesar J. A., Santos I. S., Black R. E., Chrestani M. A. D. Iodine status of Brazilian school-age children: A national cross-sectional survey. *Nutrients*, 2020, vol. 12, pp. 1077–1092. <https://doi.org/10.3390/nu12041077>
6. Zimmermann M. B., Andersson M. Global perspectives in endocrinology: Coverage of iodized salt programs and iodine status in 2020. *European Society of Endocrinology*, 2021, vol. 185, no. 1, pp. 13–21.
7. Xin S., Zhongyan Sh., Weiping T. Effects of increased iodine intake on thyroid disorders. *Endocrinology and Metabolism*, 2014, vol. 29, no. 3, pp. 240–247. <https://doi.org/10.3803/EnM.2014.29.3.240>
8. Aghini-Lombardu F., Antonangeli L., Martino E., Vitti P., Maccherini D., Leoli F., Rago T., Grasso L., Valeriano R., Balestrieri A., Pinchera A. The spectrum of thyroid disorders in an iodine – deficient community: The Pescopagano survey. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 1999, vol. 84, no. 2, pp. 561–566.
9. Kovaleva O. A., Popovicheva N. N., Yastrebova E. M., Kireeva O. S. Prospects for the use of iodized food composite «Yodonorm» in dairy products. *Polzovnovskiy Vestnik*, 2020, no. 1, pp. 74–77. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.015>
10. Popovicheva N. N. Enrichment of dairy products with an iodized food additive in conditions of iodine deficiency. *Setevoy nauchnyy zhurnal OREL GAU*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 29–32 (in Russian).
11. Khamaganova I. V., Tsyzhipova A. V., Zambalova N. A., Lhagvadolgor D. Development of technology of iodized meat products. *Vestnik VSGUTU*, 2019, vol. 72, no. 1, pp. 13–18 (in Russian).
12. Yavich P. A., Kakhnelidze M. B., Churadze L. I. Methods of analytical determination of iodine. *Research in the Field of Natural Sciences*, 2014, no. 1. Available at: <https://science.snauka.ru/2014/01/6585> (accessed 31 May 2022) (in Russian).
13. Sergeev G. M., Shlyapunova E. V., Makeeva I. V. Determination of iodide ions in mineral waters by extraction redox photometry. *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2006, vol. 10, no. 1, pp. 49–54 (in Russian).



14. 06.02-19G.217 Determination of iodine in biological fluids using kinetic cerium-arsenite method. *RZh 19GD. Analiticheskaya Khimiya. Oborudovanie laboratorij*, 2006, no. 2 (in Russian).
15. Benvidi A., Heidari F., Tabaraki R., Mazloun-Ardakani M. Simultaneous determination of iodate and periodate by kinetic spectrophotometric method using principal component artificial neural network. *Zhurnal Analiticheskoi Khimii*, 2012, vol. 67, no. 7, pp. 727.
16. Gavrilenko N. A., Fedan D. A., Saranchina N. V., Gavrilenko M. A. Solid phase colorimetric determination of iodine in food grade salt using polymethacrylate matrix. *Food Chemistry*, 2019, vol. 280, pp. 15–19
17. Kolotilina N. K., Dolgonosov A. M. Determination of iodide ion in mineralized natural water by isocratic ion chromatography with conductometric detection. *Sorption and Chromatography Processes*, 2009, vol. 9, no. 5, pp. 610–615 (in Russian).
18. Derbina A. A., Pirogov A. V., Kargin I. D., Popik M. V., Shpigun O. A. Determination of iodide ion in seaweed by microemulsion electrokinetic chromatography using microemulsions of the “water in oil” type and electrostacking. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*, 2015, vol. 81, no. 6, pp. 5–9 (in Russian).
19. Kulak A. I., Matvejko N. P., Brajkova A. M., Sadovskij V. V. Determination of iodine in multivitamin preparations by cathodic inversion voltammetry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 32–37 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-32-37>
20. 06.13-19G.176 Application of ion-selective electrodes for the determination of iodide ions in drinking and mineral waters. *RZh 19GD. Analiticheskaya Khimiya. Oborudovanie laboratorij*, 2006, no. 13 (in Russian).
21. 06.20-19G.144 A high-precision method of primary ratios for the determination of iodine in complex matrices using double isotope dilution using multicollector mass spectrometry with inductively coupled plasma and the iodine-129 label. *RZh 19GD. Analiticheskaya Khimiya. Oborudovanie laboratorij*, 2006, no. 20 (in Russian).
22. Vtorushina E. A. *Determination of chlorine, bromine and iodine in water bodies and samples with an organic matrix by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma using gas generation*. Thesis. Dis. Cand. Sci. (Chim.). Novosibirsk, 2010. 19 p. (in Russian).
23. Volodina G. B., Yakunina I. V. *Obshchaya ekologiya [General Ecology]*. Tambov, Izd-vo TGTU, 2005. 104 p. (in Russian).
24. *General pharmacopoeia article.1.2.2.0001.15 General reactions to authenticity*. Available at: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-2-0001-15-obshhie-reaktsii-napodlinnost> (accessed 20 March 2022).
25. Sokol N. V., Rodionova L. Ya. *Metody opredeleniya sodержaniya yoda v pishchevom syr'ye i produktakh pitaniya [Methods for Determining The Content of Iodine in Food Raw Materials and Food Products]*. Krasnodar, KGAU, 2014. 18 p. (in Russian).
26. Bepalov V. G., Nekrasova V. B., Skalny A. V. *Yod Elam – produkt iz laminarii: primeneniye v bor'be s yoddefitsitnymi zabolevaniyami [Iodine Elam – a Product from Kelp: Application in the Fight Against Iodine Deficiency Diseases]*. St. Petersburg, Nordmedizdat, 2010. 92 p. (in Russian).
27. Statsenko E. S. Development of a culinary product technology using an enriching additive based on soy and kelp. *Achievements of Science and Technology of the Agro-industrial Complex*, 2020, vol. 34, no. 8, pp. 107–110 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10819>

Поступила в редакцию 12.04.22; одобрена после рецензирования 13.10.22; принята к публикации 19.10.22
 The article was submitted 12.04.22; approved after reviewing 13.10.22; accepted for publication 19.10.22