

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

МОРСКАЯ РЫБА КАК ИСТОЧНИК ДИЕТИЧЕСКОГО ЙОДА И СЕЛЕНА

MARINE FISH AS A DIETHETIC SOURCE OF IODINE AND SELENIUM

Е.Г. Кекина¹, Н.А. Голубкина^{2*}, В.И. Баранов¹, С.А. Хотимченко²
H.G. Kekina¹, N.A. Golubkina^{2*}, V.I. Baranov¹, S.A. Khotimchenko²

¹ ГОУ ДПО Российская медицинская академия последиplomного образования Росздрава, Москва

² ГУ НИИ питания РАМН, Москва

¹ Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia

² Institute of Nutrition, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: йод, селен, морская рыба, водорастворимые формы

KEYWORDS: iodine, selenium, marine fish, water soluble forms

РЕЗЮМЕ: Исследовано содержание йода и селена в 15 видах морской рыбы с использованием вольтамперометрического и флуориметрического методов анализа соответственно. Средние уровни накопления йода в мышечной ткани составили 162 ± 139 мкг/кг, селена — 349 ± 118 мкг/кг. Концентрация микроэлементов в водной фазе по сравнению с общим их содержанием в мышечной ткани составила 36,7—168% для йода и 30,8—102,4% для селена. Уровень низкомолекулярных соединений в водорастворимой фракции составил интервал 35,8—83,7% для селена и 32,4—66,7% для йода. Установлена прямая корреляция между содержанием водорастворимых форм селена и йода ($r = +0,8007$, $p < 0,01$). Корреляционные взаимосвязи между общим содержанием йода и соотношением йод/селен в мышечной ткани ($r = -0,461$, $p < 0,05$) позволяют прогнозировать значимые источники морской рыбы для человека с одновременно высоким содержанием селена и йода, отвечающие требованию: концентрация йода в мышечной ткани должна соответствовать интервалу 150—200 мкг/кг.

ABSTRACT: Iodine and selenium content in 15 species of marine fish was investigated based on voltamperometric and fluorimetric analyses respectively. Mean iodine accumulation by fish muscles was equal to 162 ± 139 $\mu\text{g}/\text{kg}$, selenium — 349 ± 118 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Con-

centration of elements in water fraction exceeds that of total concentration by 0.367—1.68 (iodine) and 0.308—1.024 (selenium). Amount of selenium compounds with low molecular weight in water fraction reached 35.8—83.7% depending to the species investigated. A direct correlation between water soluble forms of the elements were indicated ($r = +0.8007$, $p < 0.01$). A negative correlation was found between iodine content and the ratio selenium/iodine ($r = -0.461$, $p < 0.05$). The latter fact allowed to predict prospect sources of dietetic iodine and selenium being typical for marine fish with iodine concentration range 150—200 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

ВВЕДЕНИЕ

Морская рыба считается хорошим источником диетического йода и селена (Zhang et al, 1993; Dahl et al, 2004). Проблема обеспеченности этими элементами населения представляется особенно актуальной в России, большинство почв которой, как известно, бедны йодом (Ермаков, Ковальский, 1974), а потребление селена в значительном количестве регионов не достигает оптимального уровня (Голубкина, Папазян, 2006). Известно, что селен активно участвует в метаболизме тиреоидных гормонов: Т3 и Т4, — входя в состав ферментов — трийодтиронин деиодиназ (Larsen, 1997). Недостаток потребления селена увеличивает риск возникновения и развития кардиологических и ряда онкологических заболеваний (Combs, Combs, 1986). Дефицит йода приводит к развитию зоба, умственной отсталости (Жукова и др.,

* Адрес для переписки: Голубкина Надежда Александровна, д.с.-х.н.; Москва 109240, Устьинский пр., 2/14, ГУ НИИ питания РАМН, лаборатория пищевой токсикологии; E-mail: segolubkina@rambler.ru

2004а). В настоящее время потребление йодированной соли в России не носит массовый характер, а оценка пищевой ценности продуктов питания по показателям содержания йода и селена весьма фрагментарна (Жукова и др., 2004б, Голубкина, Папазян, 2006). Кроме того, эти показатели ранее никогда не рассматривались совместно, что затрудняет выбор наиболее хороших источников одновременно селена и йода.

электрод (в 1 М КСl). Рабочий серебряный электрод модифицированный. Перед проведением измерений пробы минерализовали с помощью гидроксида калия с добавлением сульфата цинка. Полученную концентрацию рассчитывали по величине аналитического сигнала иодид-ионов согласно параметрам, приведенным в таблице 1.

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью критерия Стьюдента.

Таблица 1. Режим измерения содержания йода

Этап	Потенциал, В	Время выполнения этапа, с	Состояние исполнительных устройств	
			УФ-лампа	Вибрация электрода
Подготовка	-0.5	60	Включена	Включена
Растворение	-0.5	10	Включена	Включена
Накопление	-0.1	От 5 до 30	Включена	Включена
Успокоение	0	2	Выключена	Выключена
Развертка потенциала	От 0 до -1,0	9	Выключена	Выключена

В связи с этим представляло интерес оценить содержание микроэлементов в морской рыбе для установления наиболее перспективных источников йода и селена

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы морской рыбы были предоставлены рыбоперерабатывающим комбинатом (НПКП «Меридиан», Москва), а также отобраны на рынках и в магазинах Москвы в зимний период 2008 г.

Содержание селена устанавливали флуорометрически, используя мокрое сжигание образцов смесью хлорной и азотной кислот, восстановление 6-валентного селена до Se(+4) и конденсацию образующейся селенистой кислоты с 2,3-диаминонафталином (Alfhan, 1984). Концентрацию микроэлемента рассчитывали по величине флуоресценции образующегося комплекса — пиазоселенола — при λ эмиссии 519 нм (λ возб. 376 нм). В качестве референс-стандартов использовали образцы лиофилизированной мышечной ткани (Сельскохозяйственный центр Финляндии) и печени (№ 32 ЕКТ, Nippan, Осло) с регламентированным содержанием селена соответственно 394 мкг/кг и 2766 мкг/кг.

Измерение содержания йода проводили на компьютеризированном вольтамперометрическом анализаторе ТА-4 производства ООО НПП «Томьаналит» (Томск) с встроенной УФ-лампой ($\lambda = 185-260$ нм; P = 20 Вт) и 3-электродной электрохимической ячейкой: вспомогательный электрод и электрод сравнения — хлоридсеребряный

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование содержания йода и селена в 15 видах морской рыбы выявило значительный разброс наблюдаемых концентраций: для йода от 7 до 538 мкг/кг, для селена — от 143 до 535 мкг/кг (таблица 2).

Эти результаты находятся в хорошем соответствии с известными литературными данными о существовании значительного разброса содержания йода, что затрудняет классификацию видов по этому показателю (Haldimann et al., 2005). По литературным данным, велик разброс этого показателя и внутри одного вида (Karl et al., 2001). Действительно, в нашем исследовании для горбуши интервал наблюдаемой концентрации йода составил 42—187 мкг/кг. Меньшие колебания в морской рыбе наблюдаются в содержании селена, для которого отклонение от среднего составляет 33%.

Анализ содержания микроэлементов в водной фракции также показал наличие значительных вариаций: йода — от 36,7% до 168% по сравнению с валовым содержанием, селена — от 26,2% до 102,3% (таблица 3). По данным Onning (2002), доля водорастворимых форм селена в морской рыбе составляет 23—34%. По другим оценкам, количество водорастворимого селена в морской и пресноводной рыбе составляет большие величины — 55—80%. (Carpon, Smith, 1981).

Результаты наших исследований свидетельствуют о накоплении водорастворимых форм микроэлемента в различной рыбе с высоким и ничтожно малым содержанием жира: мойве, морском

Таблица 2. Валовое содержание йода и селена в морской рыбе

Наименование		Содержание йода, мкг/кг	Содержание селена, мкг/кг
Ряпушка	<i>Coregonus albula</i>	6,8	460
Мойва	<i>Mallotus villosus</i>	27	299
Салака	<i>Clupea Harengus</i>	35	533
Сельдь	<i>Clupea Harengus</i>	36	271
Минтай	<i>Theragra chalcogramma</i>	76	312
Лимонема	<i>Laemonema longipes</i>	89	212
Навага	<i>Eleginus navage</i>	120	375
Треска	<i>Gadus morhua</i>	145	282
Макрорус	<i>Macrouridae holotrachys</i>	155	173
Горбуша	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	187	505
Морской окунь	<i>Sebastes cuvier</i>	196	415
Кета	<i>Oncorhynchus keta</i>	205	174
Чавыча	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	230	307
Зубатка	<i>Anarhichas lupus</i>	390	535
Скумбрия	<i>Scomber Scombrus</i>	538	381
Среднее		162 ± 139	349 ± 118
CV, %		85,9%	33,7%

Таблица 3. Водорастворимые (в/р) формы йода и селена в морской рыбе

Наименование		Содержание в/р йода		Содержание в/р селена	
		мкг/кг водной фракции	% от валового содержания	мкг/кг водной фракции	% от валового содержания
Мойва	<i>M. villosus</i>	15	55,6	152	50,8
Минтай	<i>T. chalcogramma</i>	51	67,1	96	30,8
Морской окунь	<i>S. cuvier</i>	72	36,7	250	60,2
Горбуша	<i>O. gorbuscha</i>	90	48,1	245	48,5
Навага	<i>E. navage</i>	96	80,0	157	41,9
Лимонема	<i>Laemonema longipes</i>	102	114,6	217	102,4
Треска	<i>G. morhua</i>	123	84,8	74	26,2
Макрорус	<i>M. holotrachys</i>	260	168	157	90,8
Скумбрия	<i>S. Scombrus</i>	420	78,1	341	89,5
Зубатка	<i>A. lupus</i>	510	130,8	520	97,2
Среднее		136 ± 140	—	221 ± 125	—
Интервал концентраций		15—510	36,7—130,8	74—520	30,8—102,4
CV, %		102,7%	—	56,4%	—

окуне, макрорусе, скумбрии, зубатке. Таким образом, возможное протекторное действие водорастворимых форм селена в отношении ПНЖК не подтверждается полученными результатами, поскольку макрорус и зубатка практически жира не содержат.

Распределение микроэлемента между высоко- и низкомолекулярными водорастворимыми формами, по литературным данным, сильно различается в зависимости от вида рыбы. Так, у трески, лосося, форели и угря большая часть водорастворимого селена представлена высокомолекулярными формами, у макрели и сельди содержание высокомолекулярных и низкомолекулярных форм одинаково, у плоских рыб преобладают низкомолекулярные производные селена (Liaset, Espe, 2008; Carpon, Smith, 1981). Аналогичные данные для йода в литературе отсутствуют. По нашим данным, содержание низкомолекулярных соединений у зубатки составляет 35,8% для селена и 45,5% для йода от общего количества водорастворимых форм, у морского окуня — почти столько же — 38,2% и 32,4%. Из этих видов только морской окунь является глубоководной рыбой. Напротив, у трески этот показатель достигает 83,7% для селена и 66,7% для йода.

Таким образом, наблюдаемые различия в содержании водорастворимых форм йода и селена на настоящий момент не поддаются интерпретации ни с позиций содержания жира, ни по показателю глубины обитания.

С другой стороны, очевидна взаимосвязь между содержанием водорастворимых производных селена и йода ($r = +0,8007$, $p < 0,01$, рис. 1). Выяв-

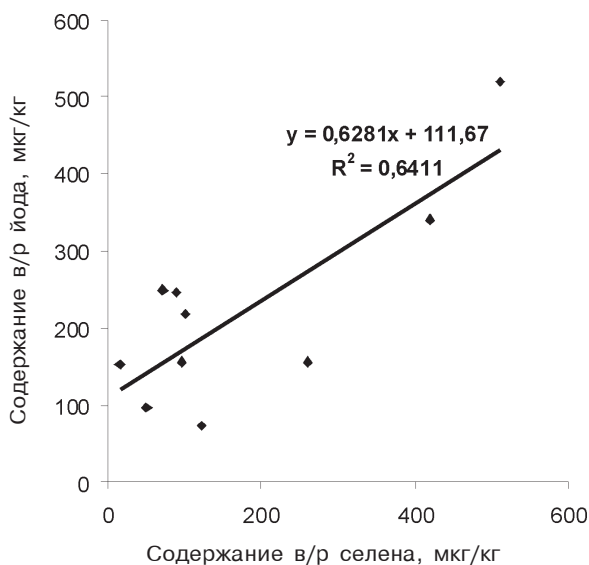


Рис. 1. Взаимосвязь между водорастворимыми формами селена и йода морской рыбы

ленная взаимосвязь предполагает, что, помимо участия селена в метаболизме тиреоидных гормонов, возможны другие формы взаимодействий селен-йод. И речь здесь идет исключительно о водорастворимых подвижных формах микроэлементов, поскольку для показателей валового содержания йода и селена такая зависимость отсутствует.

Известны лишь фрагментарные данные распределения микроэлементов по органам и тканям морской рыбы. Для селена известно преимущественное аккумулятивное накопление в органах детоксикации (печень, почки) и в репродуктивных органах (Голубкина, Мункуева, 2003). Для йода описано предпочтительное накопление микроэлемента кожей, а не мышечной тканью (Eckhoff, Maage, 1997).

Наши данные, полученные для горбуши, показывают, что по отношению к мышечной ткани преимущественное накопление йода наблюдается для печени, сердца и желудка, в то время как жабры содержат существенно меньше микроэлемента, чем мышцы (рис. 2). Особенно много йода

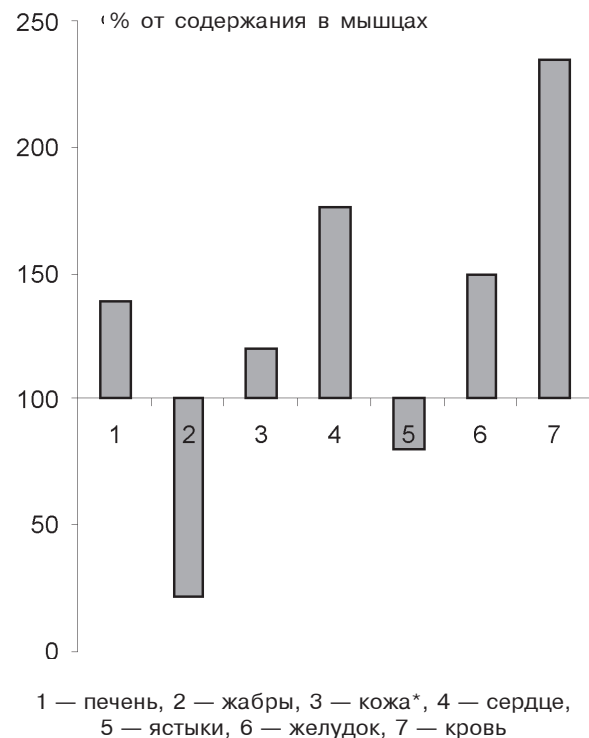


Рис. 2. Распределение йода в органах и тканях горбуши (* по данным Eckhoff, Maage, 1997)

отмечено в крови рыбы. Напротив, селена больше в жабрах, чем в мышцах (130% от мышечной ткани), а содержание в сердце и мышечной ткани почти не различаются (103%). Печень для обоих микроэлементов является аккумулятирующим органом, где уровень селена составляет 140% от содержания в мышечной ткани. Предпочтительное накоп-

ление селена в печени морской рыбы описано в работе (Саррон, Smith 1981) и подтверждено для пресноводной рыбы (Голубкина, Мункуева, 2003).

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования позволяют выделить по крайней мере 5 видов морской рыбы с высоким содержанием одновременно йода и селена. Это скумбрия, зубатка, чавыча, морской окунь и горбуша. Соотношение элементов в мышечной ткани этих видов рыбы составляет от 0,7 (скумбрия) до 2,7 (горбуша). Как видно из данных рис. 3, взаимосвязь содержания йода и соотношения селен/йод представляет собой гиперболу, что предполагает высокое содержание йода и селена у видов, соотношение йода и селена у которых находится в интервале 0,7–3, а уровень йода соответствует значениям 150–200 мкг/кг. Коэффициент корреляции между этими показателями составляет -0,461 ($p < 0,05$).

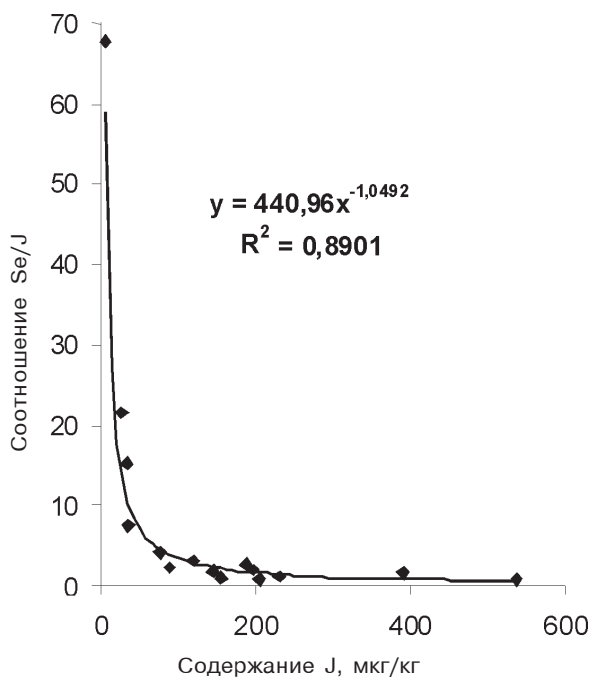


Рис. 3. Взаимосвязь селена и йода в мышечной ткани морской рыбы

Литература

Голубкина Н.А., Мункуева С.Д. Содержание селена в пресноводной рыбе России // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 4. С. 15–29.

Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006.

Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974.

Жукова Г.Ф., Савчик С.А., Хотимченко С.А. Йод-дефицитные заболевания и их распространенность // Микроэлементы в медицине. 2004 (а). Т. 5, № 2. С. 1–9.

Жукова Г.Ф., Савчик С.А., Хотимченко С.А. Йод. Содержание в пищевых продуктах и суточное потребление с рационом питания // Микроэлементы в медицине. 2004 (б). Т. 5, № 3. С. 1–16.

МУК 31-07/04 «Томьаналит» Методика выполнения измерений массовых концентраций общего йода, йодид-ионов и йодат-ионов в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых и биологически активных добавках.

Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal. Chim. Acta. 1984, 65:187–194.

Cappon C.J., Smith J.C. Mercury and selenium content and chemical form in fish muscle // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1981, 10(3):305–309.

Combs G, Combs S. The role of selenium in nutrition. Acad. Press, N.Y., 1986.

Dahl L., Johansson L., Julshamn K., Meltzer H. The iodine content of Norwegian foods and diets // Public Health Nutr. 2004, 7:569–576.

Eckhoff K.M., Maage A. Iodine content in fish and other food products from East Africa analyzed by ICP-MS // J. Food Comp. Anal. 1997, 10(3):270–282.

Haldimann M., Alt A., Blank A., Blondeau K. Iodine content of food groups // J. Food Comp. Anal. 2005, 18(6):461–471.

Karl H., Munkner W., Krause S., Bagge I. Determination, spatial variation and distribution of iodine in fish // Deutsche Lebensmittel-Rundschau. 2001, 97:89–96.

Larsen P.R. Update on the human iodothyronine selenodeiodinases, the enzymes regulating the activation and inactivation of thyroid hormone // Biochem. Soc. Trans. 1997, 25:588–592.

Liasset B., Espe M. Nutritional composition of soluble and insoluble fractions obtained by enzymatic hydrolysis of fish-raw materials // *Biochem.* 2008, 343(1):42—48.

Onning G. Separation of soluble selenium compounds in different fish species // *Aquat. Toxicol.* 2002, 57(5-7):65—84.

Zhang X.Y., Shi B., Spallholz J.E. The selenium content of selected meats, seafoods and vegetables from Lubbock, Texas // *Biol. Trace Elem. Res.* 1993, 39:161—169.