

Для корреспонденции

Мазо Владимир Кимович – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии и биохимии пищеварения ФГБУ «НИИ питания» РАМН.
 Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
 Телефон: (495) 698-53-71
 E-mail: mazo@ion.ru

О.В. Багрянцева, В.К. Мазо, С.А. Хотимченко, Г.Н. Шатров

Использование селена при обогащении пищевых продуктов

In to the question of selenium using in case of foodstuffs enrichment

O.V. Bagryantseva, V.K. Mazo, S.A. Khotimchenko, G.N. Shatrov

The analysis of different selenium compounds toxicity and level of selenium intake in different countries are given in the article. It showed that population of Russian Federation have not defined selenodeficiency. Thus there is no need in wide-ranging fortification of foodstuff by selenium. For increasing of selenium level in particularized foodstuffs (biology activity supplements, specialized foodstuff for pregnant, children, dietetic, medicinal and prophylactic foodstuff) are preferred the organic forms of selenium. Inorganic forms of selenium (selenites and selenates) could use only in the composition of biology activity supplements. However in this case the organic form is more preferably too.

Key words: selenium, recommended level of using, methods of foodstuff enrichment

ФГБУ «НИИ питания» РАМН, Москва
 Institute of Nutrition of Russian Academy of Medical Sciences, Moscow

В обзоре дается сравнительный анализ токсичности различных соединений селена и его потребления населением разных стран. Отсутствие выраженного дефицита селена у населения Российской Федерации показало, что в настоящее время нет веских оснований в пользу обогащения им пищевых продуктов массового потребления. Для увеличения уровня содержания селена в специализированных пищевых продуктах (БАД к пище, специализированные продукты для беременных женщин, детей, продукты диетического, лечебного и профилактического питания) рекомендуется использовать органические формы селена. Неорганические соединения селена (селениты и селенаты) могут быть включены в состав биологически активных добавок к пище (БАД). Однако и в этом случае применение органических форм селена более предпочтительно.

Ключевые слова: селен, рекомендуемый уровень потребления, способы обогащения пищевых продуктов

Предпочтительность профилактических мер для предупреждения заболеваний по сравнению с их лечением находит отражение в концепции оптимального питания, одним из основных положений которой является обоснование необходимости обогащения пищи макро- и микронутриентами, а также минорными биологически активными веществами (БАВ). Концепция оптимального питания отличается от предшествующих ей отечественных теорий сбалансированного [14], рационального [10] и адекватного [20] питания тем, что основное внимание в ней уделяется оздоровительному действию пищи. Последнее, как установлено многочисленными исследованиями, не может полностью реализоваться без достаточного содержания в пище БАВ.

Человечество испокон веков тем или иным способом обогащало пищу различными БАВ. Приобретенный в настоящее время опыт убеждает в том, что наиболее эффективным и целесообразным способом решения указанной проблемы является крупное промышленное про-

изводство пищевых продуктов, обогащенных БАВ, а также биологически активных добавок к пище (БАД), содержащих такие микронутриенты, как витамины, макро- и микроэлементы [9, 18].

Следует иметь в виду, что при решении вопроса о введении в состав различных видов пищевой продукции тех или иных микронутриентов одним из важнейших является вопрос безопасности подобного обогащения. Особенно острым и дискуссионным является обогащение БАВ пищевых продуктов массового потребления, так как при этом затрагиваются проблемы эффективности такого алиментарного воздействия и одновременно его безопасности как для отдельных потребителей, так и для популяции в целом. Мероприятиям по обогащению БАВ пищевых продуктов массового потребления должно предшествовать достоверное выявление дефицита или недостаточной микронутриентной обеспеченности населения, негативно сказывающихся на состоянии его здоровья. Необходимы научно обоснованные доказательства того, что широкое использование в питании обогащенных теми или иными микронутриентами пищевых продуктов массового потребления действительно эффективно влияет на состояние здоровья больших групп населения и в то же время является безопасным. Помимо этого следует принимать во внимание потенциальную возможность негативных последствий недостаточного контролируемого микронутриентного обогащения и в первую очередь передозировки добавляемых витаминов или минеральных веществ, использования токсичных соединений эссенциальных микроэлементов, ухудшения органолептических характеристик пищевых продуктов, потерь при длительном хранении. В этой связи понятна дискуссия о допустимости и целесообразности обогащения различных видов пищевой продукции селеном, эссенциальным микроэлементом, для которого убедительно доказаны свойства

антиоксиданта и иммуномодулятора [2–5, 7, 8, 19, 20, 36, 53].

Целью данного обзора является рассмотрение вопроса о целесообразности обогащения селеном продуктов массового потребления.

Токсичность

Селенит и селенат – наиболее токсичные соединения селена. Потребление человеком данных соединений (250 мг однократно или 27–31 мг многократно) обуславливает такие проявления токсичности, как тошнота, рвота, приводит к повреждению ногтевых пластинок, сухости и выпадению волос, повышенной чувствительности и распуханию кончиков пальцев, усталости, раздражительности, появлению запаха чеснока в выдыхаемом воздухе [57, 77].

Значения доз LD₅₀, вызывающих гибель половины подопытных крыс, для различных групп животных при пероральном введении соединений селена, приведены в табл. 1. В разных работах значения LD₅₀ неодинаковы для одних и тех же соединений селена. Так, некоторые авторы [16] большинство органических соединений селена относят к относительно малотоксичным. В то же время в соответствии с данными Европейского комитета по безопасности пищевых продуктов (EFSA), пероральное введение крысам в течение 28 дней обогащенных селеном дрожжей и селенита натрия в дозе 1000 мкг на 1 кг массы тела приводит к значительному снижению массы тела животных и потере их аппетита. При этом оба соединения индуцируют появление острого воспалительного процесса и гепатотоксичности, включая вакуолизацию и некроз гепатоцитов, повышение способности клеток к апоптозу. Снижение массы тела и проявления гепатотоксичности были менее выражены в группе животных, получавших обогащенные селеном дрожжи [58, 68].

Таблица 1. Значения LD₅₀ при пероральном введении селена подопытным животным

Соединение селена	Вид животного	Значение LD50 при пероральном введении, мг/кг	Источник
Селенит натрия	Крысы	4,8–7,0 (10*)	[29, 56, 75,16]
	Мыши	3,2 (10*)	
	Кролики	1,0	
L-селенцистеин	Мыши	35,9	
Обогащенные селеном дрожжи	Крысы	>5 (1000*)	[57]
	Мыши	>4,1 (1000*)	
Селенофены	Мыши, крысы	90–2500	[16]
Селенопиран	Мыши, крысы	725–1600	[16]
Диациетофенонилселенид	Мыши, крысы	200	[16]
Диметилдипиразолилселенид	Мыши, крысы	8100	[16]

Примечание. * – значения LD₅₀, полученные И.В. Саноцким [16].

Синтетические соединения селена (его диэтилдителиокарбамат, диаминодигидрохлорид) обуславливают при введении в состав рациона мышей (в течение 3 нед в дозе 10 мг/кг) развитие у них канцерогенеза. Аналогичные результаты получены для сульфида селена, который вводили в рацион крысам в дозе 3 и 15 мг/кг, мышам – 20 и 100 мг/кг. Однако при этом было сделано заключение, что данный эффект не проявляется при использовании соединений селена природного происхождения (селенометионин, селеноцистеин), содержащихся в пищевых продуктах в качестве нутриентов [57]. У людей, проживающих в районах с высоким содержанием селена в почвах, наиболее выраженные симптомы интоксикации селеном (явления селеноза) заключаются в таких клинических проявлениях, как ломкость и выпадение волос, исчезновение пигментации у вновь выросших волос, утолщение ногтей, повышение их ломкости и появление на них пятен и продольных полосок, расстройства нервной системы [4, 30, 52, 57, 67].

Эксперименты, проведенные *in vitro*, выявили умеренную генотоксичность ряда соединений селена – селенитов, селенатов, селенидов, селеноцистеина, селеносульфида. Экстракт обогащенных селеном дрожжей, содержащий селен в форме селенометионина (98%), не проявил генотоксичности при проведении теста Эймса, микроядерного теста в костном мозге мышей и наличия хромосомных аберраций в лимфоцитах человека при исследовании *in vitro*. Отсутствие генотоксичности у обогащенных селеном дрожжей подтверждено в тестах на крысах в опытах *in vivo*. Установлено, что мутагенный эффект соединений селена свя-

зан с продукцией свободных радикалов кислорода и, как результат, со стимуляцией активности глутатиона. Известно, что самоокисляемые метаболиты селена, например, селеноводород, могут продуцировать свободные радикалы кислорода и быть причиной повреждений ДНК [66, 68, 76, 77]. Однако в исследованиях с использованием различных соединений селена не установлено каких-либо проявлений репродуктивной токсичности и тератогенности даже в тех районах Китая, которые характеризуются высоким уровнем селена в почвах [76].

Минимальные дозы, вызывающие заметные изменения при введении селена в составе рациона (Lowest-observed-adverse-effect level – LOAEL), и дозы, не вызывающие заметных изменений в организме животных (No-observed-adverse-effect level – NOAEL), приведены в табл. 2. Из представленных данных следует, что наиболее высокой чувствительностью к воздействию селена характеризуются длиннохвостые макаки, наименьшей – травоядные животные (коровы, телята, овцы, козы). Для человека минимальный риск при приеме селена – 5 мкг/кг в сутки [75, 76]. Представленные данные свидетельствуют о достаточно высокой токсичности соединений селена и, следовательно, возможном риске возникновения негативных явлений при его передозировке в пищевых продуктах.

Официальные рекомендации по потреблению селена со временем претерпели определенные изменения. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. в США была установлена рекомендуемая суточная доза селена для взрослых – 50–200 мкг/сут [41]. Эти рекомендации до недавнего времени исполь-

Таблица 2. Установленные дозы LOAEL и NOAEL соединений селена для различных животных [30]

Вид животного	Соединение селена	NOAEL, мкг/г в сутки	LOAEL, мкг/г в сутки
Длиннохвостые макаки	L-селенометионин	0,025	0,15
Крысы	Селенат калия	0,2	0,33
	Селенат натрия	0,61	1,33
	Обогащенные селеном пшеница и овес	0,59	1,28
Мыши	SeO ₄	>0,76	
	Na ₂ SeO ₃ ×5H ₂ O	>0,21	
	K-селенокарагинан	>0,055	
Коровы	Селенит натрия	0,25	>0,80
Телята	Селенит натрия	1,0	2,0
Нубийские козы	Селенит натрия	1,0	5,0
Овцы	Селенит натрия	1,0	2,0
	Селенометионин	3,0	4,0
Куры	Na ₂ SeO ₃	0,17–0,2	0,3–0,34
	Обогащенное селеном зерно кукурузы, ячменя и пшеницы	0,34–0,69	0,59–1,8

Таблица 3. Количество селена (мкг/сут), рекомендуемое к потреблению с пищей (DRI) у людей [30]

Возрастные группы	Рекомендуемая суточная норма RDA	Достаточное потребление AI	Оценка средней потребности EAR	Верхний безопасный уровень потребления UL
Дети раннего возраста (без учета пола ребенка)				
0–6 мес	Н/у	15	н/у	45
7–12 мес	Н/у	20	н/у	60
Дети (без учета пола ребенка)				
1–3 года	20	Н/у	17	90
4–8 лет	30	Н/у	23	150
Дети и взрослые (без учета пола)				
9–13 лет	40	Н/у	35	280
14–18 лет	55	Н/у	45	400
19–30 лет	55	Н/у	45	400
31–50 лет	55	Н/у	45	400
50–70 лет	55	Н/у	45	400
Свыше 70 лет	55	Н/у	45	400
Беременные женщины				
Младше 18 лет	60	Н/у	49	400
19–30 лет	60	Н/у	49	400
31–50 лет	60	Н/у	49	400
Кормящие женщины				
Младше 18 лет	70	Н/у	59	400
19–30 лет	70	Н/у	59	400
31–50 лет	70	Н/у	59	400

Примечание. Н/у – не установлено.

зовались и в Европе, пока не были утверждены рекомендации по потреблению селена согласно Директиве ЕС № 2008/100/ЕС [37]. В соответствии с этой директивой рекомендуемый уровень потребления (Recommended Daily Allowance – RDA) селена для взрослых людей соответствует 55 мкг/сут. Верхний переносимый без вреда для здоровья уровень потребления селена для взрослых (Tolerable Upper Intake Level – UL) в Европейском союзе (ЕС) составляет 300 мкг/сут, для детей 1–3, 4–6, 7–10, 11–14 и 15–17 лет – соответственно 60, 90, 130, 200 и 250 мкг/сут [23].

В США и Канаде в настоящее время приняты рекомендуемые уровни потребления селена (Dietary Reference Intakes – DRI): показатели рекомендуемой суточной дозы потребления (RDA); достаточный уровень суточного потребления, основанный на наблюдениях, экспериментальных данных или данных исследований здоровых людей в тех случаях, когда рекомендованная суточная доза не может быть установлена (Adequate Intakes – AI); суммарное суточное потребление селена, выявляемое у половины здоровых людей – предположителей разных возрастных групп (Estimated

Average Requirement – EAR) (табл. 3). В соответствии с табл. 3 рекомендованная суточная норма (RDA) для селена, принятая в США и Канаде, в настоящее время составляет 55 мкг/сут для взрослых мужчин и женщин (примерно 0,8 мкг/кг/сут). Эти рекомендации несколько ниже предыдущих (70 мкг/сут для мужчин и 55 мкг/сут для женщин). Установленный верхний переносимый без вреда для здоровья уровень потребления селена для взрослых составляет 400 мкг/сут (примерно 5,7 мкг/кг/сут) [30, 76].

Рекомендуемый уровень потребления селена в Великобритании – 75 мкг/сут для мужчин и 60 мкг/сут для женщин, в Австралии этот показатель составляет 70 и 60 мкг/сут соответственно [43]. В России в соответствии с МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» физиологическая потребность в селене составляет 55 мкг/сут для женщин и 70 мкг/сут для мужчин; для детей она варьирует от 10 до 50 мкг/сут в зависимости от возраста. Верхний допустимый уровень потребления селена для взрослых составляет 300 мкг/сут [1].

Таблица 4. Потребление селена в различных странах мира за счет пищевых продуктов, входящих в рацион питания [61]

Страна	Уровень потребления селена, мкг/сут
Австралия	57–87
Австрия	48
Бельгия	28–61
Бразилия	28–37
Великобритания	29–39
Венесуэла	200–350
Германия	35
Дания	38–47
Египет	29
Индия	27–48
Ирландия	50
Испания	35
Италия	43
Канада	98–224
Китай	7–4990
Непал	23
Нидерланды	39–54
Новая Гвинея	20
Новая Зеландия	55–80
Польша	30–40
Португалия	37
Саудовская Аравия	15
Сербия	30
Словакия	38
Словения	30
США	106
Турция	30–36
Франция	29–43
Хорватия	27
Чехия	10–25
Швейцария	70
Швеция	31–38
Япония	104–199

Уровень потребления селена в разных странах мира

Потребление селена с пищей в разных странах и регионах в значительной мере различается и в большей степени зависит от его содержания в растительных пищевых продуктах и кормах для животных (табл. 4). Так, в некоторых областях Китая (области Енши и Зиуанг, провинции Хубей и Сханси) его потребление достигает токсичного уровня, вызывающего селеноз (около 5 мг/сут). В Венесуэле и ряде областей США (штаты Северная и Южная Дакота, Монтана и Вайоминг) также установлено повышенное (хотя и в меньшей степени)

потребление селена – 200–724 мкг/сут. В остальных северных американских штатах, а также в Японии потребление селена составило 100–200 мкг/сут, в Австралии, Западной Европе, Новой Зеландии – 30–90 мкг/сут. Низкое потребление селена (от 7 до 30 мкг/сут) выявлено в ряде стран Восточной Европы (Сербия, Словения, Чехия, Хорватия), на части территории Китая, в Новой Гвинее, Саудовской Аравии, Египте, Непале [61].

Оценка содержания селена в крови взрослого населения 69 стран свидетельствует о том, что в 21 стране превалирует дефицит его потребления с пищей, а в 16 странах потребление умеренно снижено (показателем благополучия служило содержание селена в плазме крови не менее 70 мкг/л) [41]. По данным [43], в мире насчитывается от 500 до 1000 млн людей с дефицитом селена. Однако по мнению EFSA, недостаточное поступление селена с обычными пищевыми продуктами в значительной степени нивелируется потреблением БАД и пищевых продуктов, обогащенных этим элементом (табл. 5).

Расчеты экспертов EFSA показывают, что суммарное потребление селена в странах ЕС в составе рациона и БАД к пище не только достаточное, но даже превышает рекомендуемый уровень его потребления – 55 мкг/сутки, хотя и не достигает максимально допустимого. Это обстоятельство, по мнению авторов, указывает на необходимость дополнительного контроля использования селена в составе обогащенных продуктов питания и БАД к пище [23].

Следует отметить, что в странах ЕС разрешено обогащение селеном некоторых категорий пищевых продуктов. Так, в соответствии с постановлением Комиссии ЕС № 953/2009 [36] селен может добавляться в специализированные пищевые продукты в виде селената натрия, одно- и двухзамещенного селенита натрия, обогащенных селеном дрожжей. Постановлением ЕС № 1170/2009 [35] разрешено использовать селен в качестве БАД к пище в виде L-селенометионина, обогащенных селеном дрожжей, селената натрия, одно- и двухзамещенного селенита натрия. Постановлением Европейского совета № 1925/2006 [63] селен в биологически доступных формах, не оказывающих негативного влияния на здоровье человека, разрешено использовать для обогащения некоторых видов специализированных пищевых продуктов.

На этикетке у таких продуктов или БАД к пище, в соответствии с Постановлением Европейского совета и Парламента № 1924/2006 ЕС [64], следует выносить данные об их пищевой ценности и эффективности использования (с целью сохранения или улучшения здоровья). При этом необходимо указать, что селен способствует защите клеток организма от окислительного повреждения

Таблица 4. Потребление селена в различных странах мира за счет пищевых продуктов, входящих в рацион питания [61]

Страна	Уровень потребления селена, мкг/сут
Австралия	57–87
Австрия	48
Бельгия	28–61
Бразилия	28–37
Великобритания	29–39
Венесуэла	200–350
Германия	35
Дания	38–47
Египет	29
Индия	27–48
Ирландия	50
Испания	35
Италия	43
Канада	98–224
Китай	7–4990
Непал	23
Нидерланды	39–54
Новая Гвинея	20
Новая Зеландия	55–80
Польша	30–40
Португалия	37
Саудовская Аравия	15
Сербия	30
Словакия	38
Словения	30
США	106
Турция	30–36
Франция	29–43
Хорватия	27
Чехия	10–25
Швейцария	70
Швеция	31–38
Япония	104–199

Уровень потребления селена в разных странах мира

Потребление селена с пищей в разных странах и регионах в значительной мере различается и в большей степени зависит от его содержания в растительных пищевых продуктах и кормах для животных (табл. 4). Так, в некоторых областях Китая (области Енши и Зиуанг, провинции Хубей и Сханхи) его потребление достигает токсичного уровня, вызывающего селеноз (около 5 мг/сут). В Венесуэле и ряде областей США (штаты Северная и Южная Дакота, Монтана и Вайоминг) также установлено повышенное (хотя и в меньшей степени)

потребление селена – 200–724 мкг/сут. В остальных северных американских штатах, а также в Японии потребление селена составило 100–200 мкг/сут, в Австралии, Западной Европе, Новой Зеландии – 30–90 мкг/сут. Низкое потребление селена (от 7 до 30 мкг/сут) выявлено в ряде стран Восточной Европы (Сербия, Словения, Чехия, Хорватия), на части территории Китая, в Новой Гвинее, Саудовской Аравии, Египте, Непале [61].

Оценка содержания селена в крови взрослого населения 69 стран свидетельствует о том, что в 21 стране превалирует дефицит его потребления с пищей, а в 16 странах потребление умеренно снижено (показателем благополучия служило содержание селена в плазме крови не менее 70 мкг/л) [41]. По данным [43], в мире насчитывается от 500 до 1000 млн людей с дефицитом селена. Однако по мнению EFSA, недостаточное поступление селена с обычными пищевыми продуктами в значительной степени нивелируется потреблением БАД и пищевых продуктов, обогащенных этим элементом (табл. 5).

Расчеты экспертов EFSA показывают, что суммарное потребление селена в странах ЕС в составе рациона и БАД к пище не только достаточное, но даже превышает рекомендуемый уровень его потребления – 55 мкг/сутки, хотя и не достигает максимально допустимого. Это обстоятельство, по мнению авторов, указывает на необходимость дополнительного контроля использования селена в составе обогащенных продуктов питания и БАД к пище [23].

Следует отметить, что в странах ЕС разрешено обогащение селеном некоторых категорий пищевых продуктов. Так, в соответствии с постановлением Комиссии ЕС № 953/2009 [36] селен может добавляться в специализированные пищевые продукты в виде селената натрия, одно- и двузамещенного селенита натрия, обогащенных селеном дрожжей. Постановлением ЕС № 1170/2009 [35] разрешено использовать селен в качестве БАД к пище в виде L-селенометионина, обогащенных селеном дрожжей, селената натрия, одно- и двузамещенного селенита натрия. Постановлением Европейского совета № 1925/2006 [63] селен в биологически доступных формах, не оказывающих негативного влияния на здоровье человека, разрешено использовать для обогащения некоторых видов специализированных пищевых продуктов.

На этикетке у таких продуктов или БАД к пище, в соответствии с Постановлением Европейского совета и Парламента № 1924/2006 ЕС [64], следует выносить данные об их пищевой ценности и эффективности использования (с целью сохранения или улучшения здоровья). При этом необходимо указать, что селен способствует защите клеток организма от окислительного повреждения

Таблица 5. Суммарные данные о потреблении селена (мкг/сут) в странах ЕС [23]

Источник потребления	Среднее потребление	Верхний уровень потребления (для 95–97,5%)	Обоснование
Средний уровень потребления селена с пищевыми продуктами для взрослых	24–89	108	Данные научных исследований
Средний уровень потребления селена с пищевыми продуктами для детей (от 2-х до 17 лет)	23–42	32–77	Данные научных исследований
Среднее количество селена, добавляемое в пищевой рацион при использовании обогащенных продуктов и БАД к пище	40 (5–100)		В соответствии с данными производителей
Предполагаемое суммарное потребление селена с пищей, обогащенными продуктами питания и БАД к пище для взрослых*	124–189	208	Расчеты экспертов EFSA
Предполагаемое суммарное потребление селена с пищей, обогащенными продуктами питания и БАД к пище для детей (от 2-х до 17 лет)**	123–142	132–177	Расчеты экспертов EFSA

Примечание. * – расчеты основываются на данных о максимально возможном уровне потребления селена с пищевыми продуктами (100 мкг/сут) + средний (24–89 мкг/сут) или верхний (108 мкг/сут) уровни потребления селена с пищевыми продуктами для взрослых; ** – расчеты основываются на данных о максимально возможном уровне потребления селена с пищевыми продуктами (100 мкг/сут) + средний (23–42 мкг/сут) или верхний (32–77 мкг/сут) уровень потребления с пищевыми продуктами для детей.

и способствует нормальному функционированию иммунной системы.

Кроме того, в EFSA рассматривается возможность использования других заявлений (информации) о влиянии на здоровье селена (он способствует защите клеток организма, ДНК, белков и липидов при оксидативном стрессе, нормальному функционированию иммунной системы, нормализации уровня тиреоидных гормонов и сперматогенеза, нормализации состояния ногтей, волос и суставов, улучшает работу сосудов и сердца, предстательной железы, улучшает познавательные способности, оказывает защитное действие при воздействии тяжелых металлов [65, 66].

Эпидемиологические исследования по установлению селенового статуса населения России, проведенные на рубеже прошлого и нынешнего столетий, показали, что обеспеченность им характеризуется содержанием в сыворотке крови обследованных от 60 до 145 мкг/л (средний уровень – 90–100 мкг/л) [40]. В среднем обеспеченность населения России селеном составила 75–83% от оптимального уровня потребления [40]. Истинные селенодефицитные состояния, соответствующие уровню селена в сыворотке крови <50 мкг/л [32], практически отсутствовали (за исключением единичных случаев в Читинской области).

Недостаточная обеспеченность селеном может быть обусловлена не только его низким содержанием в пищевых продуктах, но и рядом других причин, в частности:

- снижением абсорбции селена при хронических заболеваниях желудочно-кишечного тракта (язве желудка, острый панкреатит, хронический панкреатит и гепатит, в том числе алкогольного происхождения) [7, 13, 25, 30, 42, 48, 51, 53, 71, 78];

- наличием ряда инфекционных патологий, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, анемии, бронхиальной астмы [2, 21, 26, 31, 38, 39, 44, 46, 54, 55, 59, 65, 69, 78];
- использованием в течение длительного времени специализированных продуктов (например, при фенилкетонурии, сахарном диабете) или парентерального питания [24, 50, 70, 73, 75];
- беременностью женщин и лактацией [45, 61, 62];
- повышенным фоном ионизирующей радиации, наличием хронической интоксикации в результате воздействия соединениями ртути и кадмия, контактом с нефтепродуктами (особенно у рабочих при добыче и переработке нефти), а также контактом с различными пластмассами при их производстве [6].

Для нормализации содержания селена в организме перспективно использование селеносодержащих БАД к пище или специализированных пищевых продуктов, обогащенных селеном [41, 49]. При этом эффективное и одновременно безопасное проведение мероприятий по восполнению недостаточности или дефицита селена предполагает не только контроль содержания селена в организме, но и обоснованный выбор формы этого микроэлемента в составе БАД к пище или специализированного продукта.

В некоторых странах продукты массового потребления, например, мука злаковых культур, могут обогащаться непосредственно неорганическими и органическими формами селена [41]. Однако обогащение пищевых продуктов неорганическими формами селена вызывает определенные возражения из-за их высокой токсичности по сравнению с органическими формами. Неорганические формы селена (селениты и селе-

Таблица 6. Общее мировое производство различных пищевых продуктов, содержащих селен [41]

Источник	Общее мировое производство продуктов, т	Содержание селена в пищевых продуктах, мг/кг	Средний уровень содержания селена в пищевых продуктах, мг/кг	Общее производство селена, т
Сельскохозяйственные культуры				
Зерновые	2 227 980 000	0,05–0,6	0,1	223
Мясо	265 105 000	0,05–0,30	0,1	27
Фрукты и овощи	1 392 253 000	0,002–0,08	0,05	70
Корнеплоды	711 682 000	0,002–0,08	0,05	35
Бобовые растения	61 706 000	0,002–0,08	0,05	3
Масличные культуры и орехи	146 353 000	0,002–19,0	0,04	5
Все, содержащие селен	4 805 079 000			363
Морепродукты				
Океанические	40 664 000	0,3	0,3	12
Пресноводные	36 147 000	0,3	0,3	11
Придонные виды	22 324 000	0,3	0,3	7
Моллюски	16 786 000	0,4	0,4	7
Все, содержащие селен	4 921 000 000			37

наты) используются преимущественно в составе БАД к пище, когда потребление селена строго контролируется [3, 27, 41]. В то же время для увеличения потребления селена с пищей известна практика добавления его в столовую соль. Так, в Китае в провинции Кванг более 20 тыс. человек получали пищевую соль, обогащенную селеном (15 мкг селената натрия на 1 г соли). Сообщается, что использование в пищу этой соли способствовало потреблению 30–50 мкг/сут селена. Данные мероприятия, проводимые в течение 8 лет, позволили снизить заболеваемость раком печени на 35% [78]. В Российской Федерации зарегистрированы несколько видов обогащенной селеном питьевой воды, а также целый спектр БАД к пище и специализированных продуктов детского питания, содержащих селен. Имеются сообщения о возможности получения БАД к пище на основе наночастиц элементарного селена, которые могут быть стабилизированы в виде водной дисперсии и при этом хорошо усваиваются [15]. Однако все большее распространение получают селенсодержащие БАД, изготавливаемые на основе обогащенных селеном дрожжей, макро- и микроводорослей, содержащие органические формы этого микроэлемента [10, 12, 17, 58, 60]. Что касается производства пищевых продуктов оздоровительного действия, в большинстве зарубежных стран отдается предпочтение биологическим методам (биофортификации) их обогащения селеном путем выращивания растений в условиях, способствующих аккумуляции селена, увеличения его содержания в продуктах животного происхождения с помощью обогащения им кормов животных [22, 28, 33, 47, 56, 60, 72, 74].

Добавление селена в почву или корма домашних животных – простое и эффективное решение проблемы увеличения его содержания в выращиваемой продукции, что подтверждается опытом Финляндии и других стран. Так, картофель с повышенным содержанием селена производится в Австралии, пшеница – в Северной Дакоте (США), рис и чай – в Китае [33, 41]. Показано, что биофортификация ячменя селеном является эффективным способом при производстве пива с повышенным содержанием селена (50–100 мкг/л) [41]. В ряде стран мира производятся яйца домашней птицы с повышенным содержанием селена вследствие его введения в состав кормов [39, 66]. Согласно представленным оценкам [41], суммарное содержание селена в составе зерновых культур, бобовых растений, масличных культур, орехов, овощей и фруктов, выращенных на почвах, богатых селеном, достигает 400 т (табл. 6). То же касается мясных продуктов, полученных соответственно от сельскохозяйственных животных и морепродуктов – от рыб, корм которых был обогащен селеном.

Авторы статьи разделяют ранее высказанное мнение [5], что проводить обогащение селеном пищевых продуктов массового потребления вряд ли целесообразно. В случае обогащения пищевых специализированных продуктов селеном предпочтение следует отдавать биологическим методам обогащения, обеспечивающим наличие в продуктах органических форм данного микроэлемента. Неорганические соединения селена (селениты и селенаты) могут использоваться в составе БАД к пище, когда их потребление строго контролируется, хотя и в этом случае применение органических форм более предпочтительно.

Литература

1. Бакулин И.Г., Новоженев В.Г., Орлов А.М. и др. // *Вопр. питания.* – 2004. – № 3. – С. 12–14.
2. Гмошинский И.В., Мазо В.К. // *Medicina Altera.* – 1999. – № 4. – С. 18–22.
3. Гмошинский И.В., Мазо В.К., Тутельян В.А., Хотимченко С.А. Экология моря: Сборник. – НАН Украины, 2000. – Вып. 54. – С. 5–19.
4. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании: растения, животные, человека. – М., 2006. – 254 с.
5. Голубкина Н.А., Хотимченко С.А., Тутельян В.А. // *Микроэлементы в медицине.* – 2003. – Т. 4(4). – С. 1–5.
6. Мазо В.К., Гмошинский И.В., Парфенов А.И. и др. // *Микроэлементы в медицине.* – 2001. – Т. 2, вып. 1. – С. 28–31;
7. Мазо В.К., Гмошинский И.В., Соколова А.Г. и др. // *Вопр. питания.* – 1999. – № 1. – С. 17–19.
8. Мазо В.К., Гмошинский И.В., Ширина Л.И. Новые источники эссенциальных микроэлементов антиоксидантов. – М., 2009. – 208 с.
9. Мазо В.К., Тутельян В.А., Гмошинский И.В. и др. Материалы IV Международного симпозиума «Биологически активные добавки к пище: XXI». – М., 2000. – С. 145–146
10. Молчанова О.П. // *Вопр. питания.* – 1938. – № 1. – С. 20–29.
11. МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». – М., 2008. – 21 с.
12. Нечаева С.В., Мазо В.К., Колодянская Е.Ю. и др. Труды VII междунар. конф. «Новые информационные технологии в медицине и экологии». – Киев, 1999. – С. 140–141.
13. Низов А.А., Гмошинский И.В., Лебедева И.Н. и др. // *Вопр. дет. диетологии.* – 2003. – Т. 1, № 6. – С. 84–85.
14. Покровский А.А. // *Вестн. АМН СССР.* – 1964. – № 5. – С. 3–12.
15. Попов К.И., Гмошинский И.В., Филиппов А.Н. и др. *Пищевые нанотехнологии: перспективы и проблемы.* – М.: Издательский комплекс МГУПП. 2010. – 164 с.
16. Саноцкий И.В. Незаменимый селен. Предупреждение и лечение заболеваний: Сборник. – М., 2001. – С. 3–11.
17. Скрипченко Н.Д., Мещерякова В.А., Шарафетдинов Х.Х. и др. Актуальные проблемы восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии. – М., 2001. – С. 177–178.
18. Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н., Понзяковский В.М. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2005 – 548 с.
19. Тутельян В.А., Княжев В.А., Хотимченко С.А. и др. Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе. – М.: Изд-во РАМН, 2002. – 224 с.
20. Уголев А.М. Теория адекватного питания и трофология. – СПб.: Наука, 1991. – 155 с.
21. Фролова Э.В., Манеров Ф.К., Гмошинский И.В. и др. // *Вопр. питания.* – 2004. – № 4. – С. 32–35
22. *Abdulah R., Faried A., Kobayashi K. et al. // BMC Cancer.* – 2009. – Vol. 9 (414). – P. 285–300.
23. *Aguilar F., Charrondiere U.R., Dusemund B. et al. // EFSA J.* – 2009. – Vol. 1009. – P. 1–17.
24. *Barretto J.R., Silva L.R., Leite M.E. et al. // Braz. Nutr. Res.* – 2008. – Vol. 28. – P. 208–211.
25. *Bogdanova O.V., Kot L.I., Lavrova K.V. et al. // World J. Biol. Chem.* – 2010. – Vol. 26, N 1(11). – P. 338–347
26. *Boosalis M.G. // Nutr. Clin. Pract.* – 2008. – Vol. 23, N 2. – P. 152–160.
27. *Bordoni A., Danesi F., Malaguti M. et al. // Br. J. Nutr.* – 2008. – Vol. 99. – P. 191–197.
28. *Broadley M.R., White P.J., Bryson R.J. et al. // Proc Nutr. Soc.* – 2006. – Vol. 65. – P. 169–181.
29. *Burguera J.L., Villasmil L.M., Burguera M. et al. // J. Trace Elem. Med. Biol.* – 1995. – Vol. 9. – P. 160–164.
30. Canadian Soil Quality Guidelines Selenium Environmental and Human Health Effects Scientific Criteria Document. – PN 1438. – ISBN 978-1-896997-90-2 PDF. – Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009. – 138 p.
31. *Chiang E.C., Shen Sh., Kengeri S.S. et al. // Dose Response.* – 2010. – Vol. 8. – P. 285–300.
32. *Combs G.F.J., Midthune D.N., Patterson K.Y. et al. // Am. J. Clin. Nutr.* – 2009. – Vol. 89. – P. 1808–1814.
33. *Combs G.F.J., Combs S.B. The Role of Selenium in Nutrition.* – New York: Acad. Press. – 525 p.
34. *Combs G.F.J. // Br. J. Nutr.* – 2001. – Vol. 85. – P. 517–547.
35. Commission Regulation (EC) No 1170/2009 of 30 November 2009 amending Directive 2002/46/EC of the European Parliament and Council and Regulation (EC) No 1925/2006 of the European Parliament and of the Council as regards the list of vitamin and minerals and their forms that can be added to food, including food supplement // *Official Journal of the European Union.* – 2009. – Vol. 1, N 12. – P. 36–42.
36. Commission Regulation (EC) No 953/2009 of 13 October 2009 on substances that may be added for specific nutritional purposes in food for particular nutritional uses // *Official Journal of the European Union.* – 2009. – L. 269, N 9. – P. 9–19.
37. Commission Directive 2008/100/EC of 28 October 2008 amending Council Directive 90/496/EEC on nutrition labeling for foodstuffs as regards recommended daily allowances, energy conversion factors and definitions // *Official Journal of the European Union.* – 2008. – L. 285, N 9. – P. 1–4.
38. *Connelly-Frost A., Poole C., Satia J.A. et al. // Nutr. Cancer.* – 2009. – Vol. 61, N 2. – P. 165–178.
39. *Flores-Mateo G., Navas-Acien A., Pastor-Barruso R. // Am. J. Clin. Nutr.* – 2006. – Vol. 84, N 4. – P. 762–773.
40. *Golubkina NA., Alfthan G. // J. Trace Elem. Med. Biol.* – 2000. – Vol. 13. – P. 15–20.
41. *Haug A., Graham R.D., Christophersen O.A. et al. // Microb. Ecol. Health Dis.* – 2007. – Vol. 19. – P. 209–228.
42. *Hinks L.J., Inwards K.D., Lloyd B. et al. // Br. Med. J.* – 1984. – Vol. 288. – P. 20–23.
43. *Hurst R., Armah C.N., Dainty J.R. et al. // Am. J. Clin. Nutr.* – 2010. – Vol. 91. – P. 923–931.

44. Kim J.-H., Ellwood P.E., Asher M.I. // *Respir. Res.* – 2009. – Vol. 10, N 49. – P. 1–7.
45. Kupka R., Mugusi F., Msamanga G.I. // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2008. – Vol. 87, N 6. – P. 1802–1808.
46. Laclaustra M., Navas-Acien A., Stranges S. et al. // *Circ. Cardiovasc. Qual. Outcomes.* – 2009. – Vol. 2, N 4. – P. 369–376.
47. Leeson S., Nakung H., Durosov S. Proceedings of 16th European Symposium on Poultry Nutrition. 26–30 Aug. 2007. – Strasbourg. 2007. – P. 2586.
48. Lindner D., Lindner J., Baumann G. et al. // *Med. Klin.* – 2004. – Vol. 15. – P. 708–712.
49. L-selenomethionine as a source of selenium added for nutritional purposes to food supplements. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives and Nutrient Sources Added to Food // *EFSA J.* – 2009. – Vol. 1082. – P. 1–39.
50. Marriott L.D., Foote K.D., Kimber A.C. et al. // *Arch. Dis. Child Fetal Neonatal.* – 2007. – Vol. 92. – P. 494–497.
51. Mastoi A.A., Devrajani B.R., Shah S.Z.A. et al. // *World J. Gastroenterol.* – 2010. – Vol. 16, N 5. – P. 603–607.
52. McKenzie R.C., Rafferty T.S., Beckett G.J. // *Immunol. Today.* – 1998. – Vol. 19. – P. 342–345.
53. Monfared S.S.M.S., Vahidi H., Abdolghaffari A.H. et al. // *World J. Gastroenterol.* – 2009. – Vol. 15, N 36. – P. 4481–4490.
54. Morgan K.L., Estevez A.O., Mueller G.L. et al. // *Oxicological Sci.* – 2010. – Vol. 118, N 2. – P. 530–543.
55. Mozaffarian D. // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2009. – N 6. – P. 1894–1916.
56. Newell-McGloughlin M. // *Plant Physiol.* – 2008. – Vol. 147. – P. 939–953.
57. Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Selenium. SCF (Scientific Committee on Food). – Belgium, 2000. – 18 p.
58. Opinion of the Scientific Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed on the safety and efficacy of the product Selenium enriched yeast (*Saccharomyces cerevisiae* NCYC. R397) as a feed additive for all species in accordance with Regulation (EC) No 1831/2003 // *EFSA J.* – 2006. – Vol. 430. – P. 1–23.
59. Peters U., Foster C.B., Chatterjee N. et al. // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2007. – Vol. 85, N 1. – P. 209–217.
60. Ravn-Haren G., Buge S., Krath B.N. et al. // *Br. J. Nutr.* – 2008. – Vol. 99. – P. 883–892.
61. Rayman M.P. // *Br. J. Nutr.* – 2008. – Vol. 100. – P. 254–268.
62. Rayman M.P., Wijnen H., Vader H. et al. Maternal selenium status during early gestation and risk for preterm birth // *CMAJ.* – 2011. – Vol. 183(5). – P. 549–555.
63. Regulation (EC) No 1925/2006 of the Parliament and of the Council of 20 December 2006 on the addition of vitamins and minerals and of certain other substances to foods // *Official Journal of the European Union.* – L. 404. – P. 26–38.
64. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods // *Official Journal of the European Union.* – L. 404. – P. 9–25.
65. Santora R., Kozar M.D., Kozar R.A. // *J. Surg. Res.* – 2010. – Vol. 161(2). – P. 288–294.
66. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to selenium and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 277, 283, 286, 1289, 1290, 1291, 1293, 1751), function of the immune system (ID 278), thyroid function (ID 279, 282, 286, 1289, 1290, 1291, 1293), function of the heart and blood vessels (ID 280), prostate function (ID 284), cognitive function (ID 285) and spermatogenesis (ID 396) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 // *EFSA J.* – 2009. – Vol. 7, N 9. – P. 1220–1244.
67. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to selenium and maintenance of normal hair (ID 281), maintenance of normal nails (ID 281), protection against heavy metals (ID 383), maintenance of normal joints (ID 409), maintenance of normal thyroid function (ID 410, 1292), protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 410, 1292), and maintenance of the normal function of the immune system (ID 1750) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 // *EFSA J.* – 2010. – Vol. 8, N 10. – P. 1727–1745.
68. Selenium enriched yeast as source for selenium added for nutritional purposes in foods or particular nutritional uses and foods (including food supplements) for the general population. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food // *EFSA J.* – 2008. – Vol. 766. – P. 1–42.
69. Semba R.D., Rick M.O., Ferrucci L. et al. // *Eur. J. Clin. Nutr.* – 2009. – Vol. 63, N 1. – P. 93–99.
70. Shelly C., Lu M.D. // *Mol. Aspects Med.* – 2009. – Vol. 30, N 1–2. – P. 42–59.
71. Siriwardena A.K., Mason J.M., Balachandra S. et al. // *Gut.* – 2007. – Vol. 56. – P. 1439–1444.
72. Steen Arvid, Strom T., Bernhoft A. // *Acta Vet. Scand.* – 2008. – Vol. 50, N 7. – P. 1–6.
73. Stranges S., Sieri S., Vinceti M. et al. // *BMC Public Health.* – 2010. – Vol. 10, N 564. – P. 1–8.
74. Surai P.F., Papazyan T.A., Karadas F. et al. Proceedings, Twenty Years of Se Fertilization, 8–9 Sept. 2005. – Helsinki, 2005. – P. 88.
75. Thomas R. Ziegler // *N. Engl. J. Med.* – 2009. – Vol. 10, N 361(11). – P. 1088–1097.
76. Toxicological Profile for Selenium, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology. – Atlanta, 2003. – 457 p.
77. Van Paemel M., Dierick N., Janssens G. et al. Technical report submitted to EFSA. – Belgium, 2010. – P. 882–957.
78. Yu S.Y., Zhu Y.J., Li W.G. // *Qidong. Biol. Trace Elem. Res.* – 1997. – Vol. 56. – P. 117–24.