

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ НУТРИЕНТОВ КАК НАУЧНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ И МЕХАНИЗМОВ ИХ ДЕЙСТВИЯ НА ОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

В.Б. Спиричев¹, В.В. Трихина²

¹Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, г. Москва,

²Кемеровских технологический институт пищевой промышленности (университет), г. Кемерово

Цель исследования – анализ биохимических функций и витаминов и их метаболитов с целью научного обоснования и определения функциональной направленности нового специализированного продукта – витаминизированного напитка с бета-каротином и пектином для оптимизации лечебно-профилактического питания рабочих металлургических предприятий. Актуальность работы связана с необходимостью оптимизации рационов рабочих, контактирующих с вредными условиями труда с целью профилактики профессионально обусловленных заболеваний, повышения трудоспособности и сохранения здоровья. **Методы и организация исследования.** Использовался теоретический анализ, в том числе – интеллектуальный в области аналитического обзора литературного материала и собственных исследований авторов. Применялись инструментальные методы испытания качества, эффективности и функциональной направленности специализированного продукта, статистической обработки полученных данных. **Результаты и их обсуждение.** Представлены материалы аналитического обзора по участию эссенциальных нутриентов – витаминов и их метаболитов в обменных процессах организма. Результаты теоретического анализа послужили основанием для разработки рецептурной формулы нового профилактического напитка с учетом биохимической характеристики его действующих начал и специфики воздействия на организм рабочих профессиональных вредностей. Определены регламентируемые показатели пищевой ценности и нормы потребления специализированного продукта. Получены клинические доказательства эффективности напитка путем его включения в рацион рабочих алюминиевого завода, изучения продуктов перекисного окисления липидов и активности ферментов антиоксидантной защиты. Показано положительное влияние фактора питания на антиокислительный потенциал и функциональное состояние организма. Обсуждены механизмы такого действия. **Заключение.** Использование в рационе рабочих витаминизированного напитка с бета-каротином и пектином обладает эффективным способом защиты организма от воздействия ксенобиотиков, обеспечивая сохранение здоровья и профилактику профессиональных заболеваний.

Ключевые слова: *витамины и их метаболиты, биохимическая характеристика, специализированный напиток, функциональная направленность, эффективность, профессиональные заболевания, профилактика.*

Введение. Разработка специализированных продуктов различной функциональной направленности – один из основных векторов развития пищевой и перерабатывающей промышленности, направленный на коррекцию питания и здоровья современного человека, что подтверждается на государственном уровне Указами Президента и Постановле-

ниями Правительства РФ [1, 6, 7–10, 14, 15, 18]. Немаловажное значение уделяется вопросам разработки лечебно-профилактического питания рабочих промышленных предприятий, в том числе металлургических производств, учитывая распространение профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний [3, 5, 11]. В этой связи

возникает необходимость научного обоснования рецептурных формул рассматриваемой продукции, оценки ее эффективности в эксперименте и натуральных наблюдениях [2, 4, 12, 13, 16, 17].

Результаты и их обсуждения. Дана биохимическая характеристика витаминов – основных рецептурных компонентов сухого витаминизированного напитка с каротином и пектином. Рассмотрена их роль в обменных превращениях организма с целью определения функциональной направленности специализированного продукта и его использование в лечебно-профилактическом питании рабочих металлургических предприятий.

Витамин А. К витаминам этой группы относятся соединения, производные бета-иона, обладающие биологической активностью ретинола. Функции витамина А связаны с процессами размножения и роста, дифференцировки эпителиальной и костной ткани, поддержанием иммунологического статуса и функции зрения (фоторецепции). Роль витамина А в процессах размножения опосредована его влиянием на развитие сперматогенного эпителия и плаценты.

Значение витамина для дифференцировки и развития эпителиальных тканей обусловлено функциями образующейся из него ретиновой кислоты, являющейся его гормональной формой. Кроме того, в форме ретинилфосфата витамин А участвует в переносе остатков сахаров (фруктозы, маннозы) при синтезе гликопротеидов клеточной мембраны. Этими же механизмами может объясняться значение витамина для иммунной системы.

Необходимость витамина А для зрения определяется его участием в построении зрительного пигмента родопсина, представляющего собой комплекс белка опсина с 11-цис-ретиналем.

Распад этого комплекса под влиянием поглощенного кванта света играет существенную роль в механизме возникновения зрительного ощущения, а ресинтез родопсина и увеличение его содержания в сетчатке обеспечивают адаптацию глаза к пониженной освещенности (темновая адаптация).

Провитаминами А являются некоторые каротиноиды, из которых наибольшей биологической активностью обладает бета-каротин, расщепляемый каротиндиоксигеназой кишечника с образованием двух молекул ретинола. Бета-каротин обладает также многочисленными индивидуальными функциями, одной из которых является его антиоксидантная активность.

Функции витамина D. Основные функции кальциферолов в организме связаны с поддержанием гомеостаза кальция и фосфора, осуществлением процессов минерализации и ремоделирования (перестройки) костной ткани.

Имеющиеся данные позволяют определить три процесса, непосредственное участие витамина D в которых может считаться достаточно обоснованным:

1. Всасывание кальция и неорганического фосфата в кишечнике.

2. Мобилизация кальция из скелета путем резорбции преобразованной костной ткани.

3. Реабсорбция кальция в почечных канальцах.

Кальциферолы выполняют свои специфические функции в обмене веществ в форме образующихся из них в организме активных метаболитов, важнейшими из которых являются 25-оксикальциферол ($25(\text{OH})\text{D}$), 1,25-диоксикальциферол ($1,25(\text{OH})_2\text{D}$) и 24,25-диоксикальциферол ($24,25(\text{OH})_2\text{D}$).

Основным регулятором, активизирующим синтез $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, является паратгормон. Уменьшение концентрации Са в крови при его недостаточном поступлении или усиленной утилизации стимулирует секрецию паратгормона, который активизирует в почках 1-гидроксилазу, вследствие чего происходит увеличение синтеза $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, усиливающего подачу Са в кровоток за счет увеличения его всасывания в кишечнике и мобилизации из скелета. При чрезмерном повышении концентрации Са в крови события развиваются в обратном направлении. Работа этой регуляторной системы, действующей по механизму обратной связи, обеспечивает поддержание постоянной концентрации Са в крови и интеграцию разнонаправленных процессов его обмена, а также адаптацию организма к различному поступлению Са с пищей.

Наряду с паратгормоном активизирующее влияние на синтез $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ оказывают эстрогены, пролактин, гормон роста и инсулин, а также недостаток в рационе Са и Р. Избыточное поступление Са и Р с пищей подавляет синтез $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$. При торможении синтеза $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ вместо него из $25(\text{OH})\text{D}_3$ образуется $24,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, который, в отличие от $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, не оказывает резорбирующего действия на костную ткань, а, наоборот, сти-

мулирует процессы ее остеогенеза и минерализации. В норме у здорового человека основной формой активных диоксипроизводных витамина D в крови является $24,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, концентрация которого составляет 0,6–3,0 нг/мл. Концентрация $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ в крови существенно ниже и в норме составляет 20–50 пг/мл.

Наряду с $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ и $24,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ известны другие метаболиты витамина D, в частности: 25,26-диоксихолекальциферол, 1,24,25-триоксихо-лекальциферол; 25,23-лактон 25-оксихолекальциферол и др.

В соответствии с современными представлениями образующийся из витамина D активный метаболит $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ представляет собой гормон, который подобно другим стероидным гормонам регулирует на генетическом уровне биосинтез белков, ответственных за реализацию стимулирующего влияния этого витамина на всасывание кальция и другие, свойственные витамину D эффекты. В пользу этой концепции, в соответствии с которой сам витамин D, как и витамин A, рассматривается как прогормон, свидетельствует наличие в клетках органов-мишеней витамина D – высокоспецифичных внутриклеточных рецепторов его гормональной формы, обеспечивающих ее перенос к соответствующим участкам ядерного хроматина, что влечет за собой запуск транскрипции гормончувствительных генов и синтез кодируемых ими белков.

Первичный эффект $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ может быть связан также с модификацией физико-химических свойств мембраны всасывающих клеток, создающей необходимые условия для транспорта ими кальция.

Витамин E. Токоферолы выполняют в живых тканях роль биологических антиоксидантов, инактивирующих свободные радикалы и, тем самым, препятствующих развитию свободнорадикальных процессов перекисного окисления ненасыщенных липидов. Поскольку ненасыщенные липиды являются важнейшим компонентом биологических мембран, эта функция токоферолов имеет большое значение для поддержания структурной целостности и функциональной активности липопротеиновых мембран клеток и субклеточных органелл.

В стабилизирующем действии токоферолов на биологические мембраны существенная роль может принадлежать физико-химическому взаимодействию между боковой изо-

преноидной цепочкой молекулы токоферолов и углеводородной цепью полиненасыщенных жирных кислот, в частности арахидоновой, входящих в состав мембранных фосфолипидов.

Таким образом, функциональная роль и механизм действия витамина E предопределены его химической структурой и свойствами. Наличие изопреноидной цепи придает токоферолам липидорастворимость и способность локализоваться в мембранах клеток и субклеточных органелл, а наличие фенольного гидроксила в хромановом кольце предопределяет его свойства биологического антиоксиданта и способность тормозить свободнорадикальное окисление мембранных фосфолипидов.

Наряду с защитой от окислительного повреждения клеточных и субклеточных мембран важнейшей функцией витамина E является торможение свободнорадикального окисления липопротеидов – процесса, которому в настоящее время придается ведущая роль в патогенезе атеросклероза и связанных с ним сердечно-сосудистых заболеваний.

Другим объектом, в защите которого витамин E принимает участие совместно с другими антиоксидантами: аскорбиновой кислотой, глутатионом и(или) липоевой кислотой, являются белки с функционально активными тиоловыми группами и остатками метионина, легко поддающимися окислению. Исключительно важным процессом, находящимся под контролем витамина E, является окисление арахидоновой кислоты до таких метаболитически высокоактивных продуктов, как простагландины, лейкотриены и тромбоксаны. С этим связано влияние, оказываемое витамином E на агрегацию тромбоцитов, хемотаксис фагоцитов, освобождение интерлейкина-1 из макрофагов и тем самым – на весь каскад иммунных реакций.

Наряду с этим имеются данные о возможном участии витамина E в процессах, связанных с биосинтезом нуклеиновых кислот и экспрессией генов, а также обменом веществ в митохондриях.

Функция токоферолов как биологических антиоксидантов тесно взаимосвязана с обменом других компонентов антиоксидантной системы, в частности селена, входящего в состав глутатионпероксидазы, восстанавливающей гидроперекиси ненасыщенных жирных кислот и других органических соединений.

Витамин С. Не подлежит сомнению, что первичные биохимические функции аскорбиновой кислоты тесно связаны с ее фундаментальным химическим свойством – способностью к быстрым и обратимым окислительно-восстановительным превращениям, что придает ей возможность служить как донором водорода в многочисленных восстановительных реакциях, так и промежуточным переносчиком электронов и протона в различных окислительно-восстановительных процессах. Способность к образованию свободнорадикальной семихинонной формы придает аскорбиновой кислоте возможность активного участия в реакциях свободнорадикального окисления и гидроксирования.

Одной из важнейших функций аскорбиновой кислоты является ее участие в процессах созревания соединительнотканного белка коллагена и эластина кровеносных сосудов. Эту функцию аскорбиновая кислота реализует в качестве кофактора ферментной системы, осуществляющей гидроксирование аминокислотного остатка пролина в оксипролин при превращении проколлагена в коллаген, что имеет важное значение для создания специфической тройной спиральной структуры этого белка.

Аналогичную роль аскорбиновая кислота играет при окислении аминокислотного остатка лизина в составе коллагена и эластина в оксализин, что обеспечивает образование поперечных сшивок между волокнами этих белков, стабилизирующих их сетевую трехмерную структуру.

Наряду с этими реакциями и независимо от них аскорбиновая кислота стимулирует экспрессию генов, ответственных за синтез коллагена в фибробластах и хондроцитах.

Аскорбиновой кислоте принадлежит важная роль в процессах гидроксирования стероидных соединений, в частности холестерина при его превращении в желчные кислоты. С этим может быть связана отмеченная во многих эпидемиологических исследованиях обратная корреляционная зависимость уровня холестерина в плазме крови от обеспеченности организма витамином С.

Имеются указания на зависимость от аскорбиновой кислоты синтеза глюкокортикоидных гормонов в коре надпочечников, о чем свидетельствует снижение их ответа на стресс при недостатке витамина С.

Аскорбиновая кислота необходима для

нормального образования гидроксированных производных витамина D: его транспортной формы – 25(OH)D в печени и гормональной формы – 1,25(OH)₂D в почках. Именно поэтому хорошая обеспеченность организма витамином С является абсолютно необходимым условием реализации витамином D его функциональной активности: при дефиците аскорбиновой кислоты даже повышенные дозы витамина D оказываются неэффективными.

Реакциям гидроксирования с участием витамина С принадлежит важное место в обмене нейротрансмиттеров. Аскорбиновая кислота функционирует в качестве кофактора дофамин-β-гидроксилазы при гидроксировании дофамина в норадреналин в хромаффинных гранулах мозгового слоя надпочечников и адренэргических синапсов. Промежуточно образующаяся при этом монодегидроаскорбиновая кислота регенерируется в аскорбиновую с участием цитохрома В 561. Значение аскорбиновой кислоты для этого процесса подчеркивается ее высокой концентрацией в хромаффинных гранулах.

В обмене тирозина аскорбиновая кислота защищает фермент *n*-оксифенилпируватгидроксилазу от торможения ее субстратом. При дефиците витамина С усиливается превращение тирозина в гомогентизиновую, *n*-оксифенилпропионовую и *n*-оксифенилмолочную кислоты.

Другой аминокислотой, обмен которой зависит от витамина С, является триптофан: его гидроксирование в 5-окситриптофан, являющийся предшественником серотонина, нуждается в дегидроаскорбиновой кислоте.

Аскорбиновая кислота оказывает также необходимую для осуществления функции таких гормонов, как гастрин, а также кортикотропин- и тиреотропин-рилизинг-факторы, предварительным условием проявления биологической активности которых является их С-концевое амидирование.

Катализирующий это превращение фермент – пептидилглицинамидирующая монооксигеназа нуждается, наряду с ионами меди и молекулярным кислородом, в L-аскорбиновой кислоте.

Аскорбиновая кислота является кофактором в многочисленных реакциях микросомального гидроксирования, катализируемых печеночными оксидазами со смешанными функциями, чем определяется ее важная

роль в процессах обезвреживания и выведения из организма токсических метаболитов, ксенобиотиков и лекарственных препаратов. Предполагается, что аскорбиновая кислота стимулирует синтез участвующего в этих реакциях цитохрома Р450 и защищает его от инактивации свободнорадикальными формами кислорода.

Аскорбиновая кислота блокирует образование канцерогенных нитрозаминов из нитритов (нитратов) и аминов в просвете кишечника, с чем связана наблюдаемая во многих эпидемиологических исследованиях обратная связь между потреблением богатых аскорбиновой кислотой овощей, фруктов и частотой (риском) рака желудка.

Аскорбиновая кислота обладает выраженными антиоксидантными свойствами, участвует в регенерации α -токоферола при свободнорадикальном окислении последнего активными формами кислорода в биологических мембранах, оказывая таким образом сберегающее токоферол действие.

Важное значение аскорбиновой кислоты для системы клеточного иммунитета связано с ее антиоксидантными свойствами и защитой мембраны фагоцитов от разрушающего действия продуцируемых этими клетками свободнорадикальных форм кислорода и хлора. Концентрация аскорбиновой кислоты в полиморфноядерных лейкоцитах на порядок выше, чем в окружающей плазме, а ее недостаток существенно снижает их хемотоксическую и фагоцитирующую активность. С этим связывают повышенную склонность к простудным заболеваниям, гингивитам и перидонтитам при субклиническом дефиците витамина С.

Исключительно высокая концентрация аскорбиновой кислоты в легочном сурфактанте, превышающая ее содержание в плазме крови на 2–3 порядка, также является выражением ее важной роли в поддержании барьерных функций легочной ткани.

Наряду с перечисленными функциями витамин С принимает участие в синтезе и обмене целого ряда других биологически активных соединений, необходимых для поддержания обменных процессов и жизнедеятельности организма.

Аскорбиновая кислота совместно с лизином и метионином задействована в биосинтезе карнитина, осуществляющего транспорт жирных кислот из цитозоля в митохондрии, где происходит их окисление, сопряженное

с аккумуляцией освобождающейся энергии в форме АТФ. Недостаток аскорбиновой кислоты уже на ранних стадиях ее дефицита ведет к обеднению мышц карнитином и снижению продукции АТФ, что является причиной повышенной усталости, характерной для недостаточности витамина С.

Аскорбиновая кислота принимает участие в превращении фолиевой кислоты в ее активную коферментную форму – тетрагидрофолат.

Витамин С ослабляет влияние фитатов и других лигандов, связывающих железо и затрудняющих его всасывание в кишечнике. Одновременно он восстанавливает трехвалентное железо в двухвалентное, которое значительно легче всасывается в кишечнике и связывается ферритином, проявляя таким образом свою биологическую функцию.

Витамин В₁. Биологическая роль тиамина обусловлена функциями образующегося из него ТДФ (кокарбоксилазы), который является коферментом важнейших ферментов углеводного обмена: пируватдегидрогеназы, кетоглутаратдегидрогеназы, дегидрогеназы кетокислот с разветвленной боковой цепью и транскетолазы.

ТДФ-зависимая пируватдегидрогеназа принимает участие в окислительном декарбоксилировании пировиноградной кислоты с образованием ацетилкоэнзима А. В результате этого превращения пировиноградная кислота, образующаяся при гликолитическом расщеплении глюкозы, включается в цикл трикарбоновых кислот, где окисляется до CO_2 и H_2O . Общее количество энергии, получаемой за счет окисления пировиноградной кислоты в этом цикле, почти в 4 раза превосходит энергию, освобождаемую в предшествующих реакциях гликолиза. Таким образом, метаболическая роль окислительного декарбоксилирования пирувата состоит в том, чтобы обеспечить возможность полного окисления углеводов и утилизации заключенной в них энергии. Кроме того, образующийся в ходе этого ферментативного процесса ацетил-КоА служит донором остатка уксусной кислоты («активного ацетата») для синтеза важнейших биохимических соединений: жирных кислот, холестерина, стероидных гормонов, желчных кислот, ацетилхолина.

Другой ТДФ-зависимый фермент – кетоглутаратдегидрогеназа участвует в окислительном декарбоксилировании кетоглутаровой кислоты с образованием янтарной кислоты. Это превраще-

ние является важным этапом цикла трикарбоновых кислот, в котором окисляются продукты расщепления всех трех основных групп пищевых веществ: углеводов, белков и жиров.

Кроме того, ТДФ принимает участие в окислительном декарбоксилировании кетокислот с разветвленным углеродным скелетом: кетоизовалериановой, кетометилвалериановой и кетоизокапроновой, являющихся продуктами дезаминирования валина, изолейцина и лейцина. Эта реакция играет важную роль в процессах катаболизма белков, обеспечивая окисление и утилизацию перечисленных разветвленных аминокислот.

Четвертый из ферментов, в состав которого входит ТДФ – транскетолаза, занимает ключевое положение в пентозофосфатном пути окисления углеводов (пентозном цикле), являющемся основным источником восстановленного НАДФ-Н₂ и рибозо-5-фосфата, из которых первый используется как донор водорода в многочисленных восстановительных биосинтетических процессах, а второй входит в состав нуклеотидов и нуклеиновых кислот.

ТДФ, находящийся в структуре активного центра перечисленных ферментов, принимает непосредственное участие в механизме ферментативного катализа, в основе которого лежит способность молекулы тиамин диссоциировать с отщеплением протона при втором углеродном атоме тиазолового кольца, в результате тиамин приобретает структуру высокоактивного биполярного иона, непосредственно взаимодействующего с молекулой подвергаемого превращению субстрата.

Помимо коферментных функций, выполняемых витамином В₁ в форме ТДФ, в составе четырех упомянутых ферментов этому витамину принадлежит и менее изученная роль, осуществляемая в нервной ткани в виде тиаминтрифосфата (ТТФ). Об этом свидетельствует существование редкого врожденного заболевания, «подострой некротизирующей энцефаломиелопатии» или болезни Лея, для которой характерно наличие неврологических проявлений дефицита витамина В₁ при нормальной активности ТДФ-зависимых ферментов и сниженном содержании ТТФ в тканях мозга. Полагают, что ТТФ может играть важную роль в транспорте ионов Na⁺ и K⁺ через мембрану нервных волокон в процессе проведения нервного импульса.

Витамин В₂. Биологическая роль рибофлавина определяется, прежде всего, его уча-

стием в построении флавиномононуклеотида (ФМН) и флавинадениндинуклеотида (ФАД), являющихся простетическими группами большого числа окислительно-восстановительных ферментов, так называемых флавиновых оксидоредуктаз или флавопротеидов.

Роль флавиновых ферментов в обмене веществ исключительно велика и многообразна. Они принимают участие в окислении жирных кислот до ацетил-КоА, в окислительном декарбоксилировании пировиноградной и кетоглутаровой кислот (липоатдегидрогеназа), окислении янтарной кислоты в цикле Кребса (сукцинатдегидрогеназа), окислительном фосфорилировании – на стадии переноса электронов и протонов от никотинамидных коферментов к цитохрому С (НАДН-цитохром С-редуктаза), играя тем самым ключевую роль в процессах биологического окисления и энергообразования.

Наряду с этим ФАД входит в состав моноаминоксидазы – основного фермента катаболизма биогенных аминов и, прежде всего, катехоламинов, ксантиноксидазы, катализирующей окисление пуринов до мочевой кислоты, альдегидоксидазы, окисляющей высокотоксичные альдегиды, оксидазы D-аминокислот, расщепляющей в организме чужеродные D-изомеры аминокислот, образующиеся в результате жизнедеятельности бактерий. К ФАД-зависимым ферментам относятся также оксидаза пиридоксинфосфата и дигидрофолатредуктаза, участвующие в синтезе коферментных форм витамина В₆ (пиридоксальфосфата) и фолиевой кислоты.

Наконец, ФАД является простетической группой глутатион- и метгемоглобинредуктазы, поддерживающих в восстановленном состоянии глутатион и гемоглобин.

Во всех этих ферментах ФАД или ФМН функционируют как промежуточные переносчики электронов и протонов, отщепляемых от окисляемого субстрата. Флавопротеиды одного типа передают эти электроны и протоны никотинамидным коферментам (оксидазы жирных кислот, липоатдегидрогеназа) или цитохрому С (НАДН-цитохром С-редуктаза), обеспечивая тем самым поток электронов по пути окислительного фосфорилирования с ресинтезом АТФ.

Флавопротеиды другого типа переносят электроны и кислород непосредственно на воду с образованием перекиси водорода (оксидаза D-аминокислот, моноаминоксидаза,

пиридоксинфосфатоксидаза), которая разлагается затем каталазой. В этом случае окисление субстрата не сопровождается ресинтезом АТФ и значение реакции определяется детоксикацией окисляемого вещества или важностью образующегося продукта.

Молекулярный механизм осуществляемого ФМН или ФАД промежуточного переноса электронов и протонов заключается в их обратимом присоединении по системе двух сопряженных атомов азота: N-1 и N-10 изоаллоказинового кольца рибофлавина.

Наряду с участием в указанных выше механизмах ферментативного катализа рибофлавин входит также в состав зрительного пурпура, защищая сетчатку от избыточного воздействия ультрафиолетового облучения.

Как уже упоминалось, ФАД-зависимые ферменты играют важную роль в образовании активных (коферментных) форм витаминов В₆ и фолиевой кислоты. Поэтому недостаток витамина В₂ может нарушать не только зависящие от него процессы обмена веществ, но и приводить к нарушению функций двух вышеуказанных витаминов, даже при их достаточном поступлении.

Аналогичным образом витамин В₂ вместе с аскорбиновой кислотой принимает участие в реакциях микросомального гидроксилирования и детоксикации в организме чужеродных веществ, а также в образовании активных гидроксилированных форм витамина D. В связи с последним обстоятельством недостаток рибофлавина может способствовать развитию остеопороза.

Витамин В₆. Биологическая активность витаминов группы В₆ обусловлена образованием из них фосфорилированных коферментных форм: пиридоксаль-5-фосфата (ПАЛФ) и пиридоксаминфосфата, на долю которых приходится основная часть присутствующего в тканях витамина В₆. Фосфорилированная форма пиридоксина пиридоксинфосфаткаталитической коферментной функцией не обладает, но легко превращается в активный ПАЛФ.

Витамин В₆ в форме ПАЛФ является коферментом многочисленных пиридоксальных ферментов, катализирующих важнейшие реакции азотистого обмена.

К ним относятся более 50 различных аминотрансфераз, катализирующих взаимопревращение амино- и кетокислот. Среди них аспартат-аминотрансфераза и аланин-аминотрансфераза, катализирующие взаимопре-

вращение аланина, глутамата, аспартата и соответствующих кетокислот цикла Кребса (пировиноградной, кетоглутаровой и щавелевоуксусной), играют важнейшую роль в сопряжении белкового и энергетического обменов. Аминотрансферазы, катализирующие переаминирование тироксина и трийодтиронина, участвуют в регуляции уровня и катаболизма тиреоидных гормонов.

Другой большой группой пиридоксальных ферментов являются декарбоксылазы аминокислот, катализирующие отщепление от аминокислот карбоксильной группы с образованием биогенных аминов. Глутаматдекарбоксылаза, катализирующая превращение глутамата в гамма-аминомасляную кислоту (ГАМК), играет важную роль в регуляции процессов возбуждения и торможения в мозге. Декарбоксылаза ароматических аминокислот декарбоксылирует 3,4-диоксифенилаланин, 5-окситриптофан, триптофан, фенилаланин, тирозин, гистидин. Образующиеся при этом серотонин, триптамин, тирамин, гистамин и предшественник катехоламинов дофамин оказывают влияние на деятельность сердечно-сосудистой, мышечной, периферической и центральной нервной систем.

К числу пиридоксальфосфат-зависимых оксидоредуктаз относятся моноаминоксидазы и диаминоксидазы, принимающие участие в расщеплении и инактивации биогенных аминов.

Среди других ПАЛФ-зависимых ферментов следует указать синтазу аминолевулиновой кислоты, катализирующую образование аминолевулината из глицина и сукцинил-КоА. Эта реакция является одним из важных начальных этапов биосинтеза гемоглобина и цитохромов.

ПАЛФ-зависимый фермент кинурениназа осуществляет превращение 3-окскинуренина в 3-оксиантралиловую кислоту, являющееся важным этапом обмена триптофана на пути биосинтеза из него никотиновой кислоты. Это превращение, наряду с поступлением ниацина с пищей, является важным источником витамина РР в организме человека.

Другая группа ПАЛФ-зависимых ферментов: цистатионинсинтаза и цистатионаза играют важную роль в обмене серосодержащих аминокислот, участвуя в биосинтезе цистеина. Из них первый фермент – цистатионинсинтаза катализирует конденсацию гомоцистеина и серина с образованием цистатио-

нина, тогда как второй фермент – цистатионаза осуществляет расщепление цистатионина на гомосерин и цистеин.

В механизме всех многочисленных ферментативных реакций, катализируемых пиридоксальными ферментами, важнейшая роль принадлежит альдегидной группе пиридоксальфосфата. Согласно теории пиридоксального катализа Браунштейна–Снелла эта альдегидная группа в ходе катализируемой реакции образует Шиффово основание с аминокислотой, подвергающейся превращению аминокислоты, в результате чего происходит ослабление всех связей углеродного атома этой аминокислоты, что облегчает осуществление реакций отщепления или замещения при этом атоме, характер и направление которых определяется структурой белка апофермента.

Ниацин. Ниацин (витамин РР, от англ. pellagrapreventing – предупреждающий пеллагру).

Биологическая роль никотиновой кислоты и никотинамида определяется их участием в построении никотинамидных коферментов: никотинамидадениндинуклеотида (НАД) и никотинамидадениндинуклеотидфосфата (НАДФ). НАД и НАДФ являются коферментами многочисленных (более 100) дегидрогеназ, функционирующих на начальных этапах биологического окисления самых разнообразных соединений: углеводов, аминокислот, жирных кислот и т. д. Среди них ферменты гликолиза (глицеральдегидфосфатдегидрогеназа, лактатдегидрогеназа), пентозо-фосфатного пути окисления углеводов (глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа, 6-фосфоглюконат-дегидрогеназа) цикла трикарбоновых кислот (малат- и изоцитратдегидрогеназы) и др.

В катализируемых этими ферментами окислительно-восстановительных реакциях НАД и НАДФ играют роль промежуточных акцепторов и переносчиков электронов и протонов. Механизм переноса сводится к обратимому восстановлению пиридинового кольца в молекуле никотинамидных коферментов за счет электронов и протона, отщепляемых от молекулы окисляемого субстрата. В результате этого НАД и НАДФ переходят в восстановленное состояние НАДН и НАДФН. Когда НАДН или НАДФН выступают в качестве доноров электронов и протона, эти превращения протекают в обратном направлении.

Функциональное различие между двумя коферментными формами никотинамида со-

стоит в том, что НАДН, как правило, служит поставщиком электронов в цепь биологического окисления, сопряженного с фосфорилированием, т. е. процессами аккумуляции энергии в форме АТФ. В отличие от этого, НАДФН служит донором водорода на восстановительных этапах многочисленных биосинтетических процессов: при биосинтезе жирных кислот и стероидов из ацетил-КоА, восстановительном аминировании кетокислот с образованием аминокислот (в частности, глутаминовой кислоты из кетоглутаровой), при восстановлении рибозы до дезоксирибозы, входящей в состав ДНК, образовании восстановленных форм фолиевой кислоты (ди- и тетрагидрофолата), восстановлении глутатиона и метгемоглобина и т. д.

НАДФН является также донором водорода в многообразных реакциях гидроксирования и детоксикации чужеродных веществ, в том числе промышленных ядов, гидроксировании стероидов, других соединений.

Никотинамидным коферментам принадлежит важная роль в продукции протона при секреции соляной кислоты в желудке.

Наряду с коферментными функциями, выполняемыми в составе дегидро-геназ, НАД является аллостерическим эффектором активности ряда ключевых ферментов энергетического обмена, донором остатка адениловой кислоты при репарации разрывов фосфодиэфирных связей в цепях ДНК, осуществляемой ДНК-лигазой, субстратом в синтезе поли-(АДФ)-рибозы, участвующей в поли-(АДФ)-рибозилировании ядерных белков и регуляции синтеза и репликации ДНК. Кроме этого, никотинамид и его производное, N-метилникотинамид, принимают участие в метилировании транспортных РНК и белков.

Фолацин. Фолацин (от лат. folium – лист и англ. acid – кислота) – группа родственных соединений, обладающих биологической активностью фолиевой кислоты.

Ее основной коферментной формой является восстановленное производное – тетрагидрофолиевая кислота (ТГФК).

Участвуя в различных ферментативных реакциях, связанных с отщеплением одноуглеродных остатков, ТГФК осуществляет их химический перенос, выступая в одних реакциях в качестве акцептора, в других – донора этих химических группировок. Благодаря указанной функции, коферментные формы фолиевой кислоты играют важную роль в обме-

не ряда аминокислот (серина, глицина, гистидина), ресинтезе метионина, биосинтезе пуриновых и пиримидиновых оснований – предшественников ДНК и РНК.

Исключительно важной функцией коферментных форм фолиевой кислоты является их участие в биосинтезе пуриновых оснований: аденина и гуанина. При этом 10-формил- N_4 -фолиевая кислота служит источником 2-го углеродного атома пуринового кольца, а 5,10- $CH=N_4$ -фолиевая кислота выполняет такую же роль в отношении 8-го углеродного атома этого же кольца.

Участие коферментных форм фолиевой кислоты в биосинтезе дТМФ и пуриновых оснований, входящих в состав ДНК и РНК, определяет исключительно важную роль витамина в биосинтезе нуклеиновых кислот, процессах роста и развития, пролиферации тканей, в частности кроветворения и эмбрионального развития.

Витамин B_{12} (кобаламины) – группа родственных соединений, производных коррина, обладающих биологической (витаминной) активностью цианокобаламина.

Витамин B_{12} в организме животных и человека принимает каталитическое участие в двух ферментативных реакциях. В виде метилкобаламина является коферментом N^5 -метил-тетрагидрофолат: гомоцистеин-метилтрансферазы, катализирующей ресинтез метионина из гомоцистеина путем переноса на него метильной группы от N^5 -метилтетрагидрофолиевой кислоты. Эта реакция играет исключительно важную роль в циклических превращениях незаменимой аминокислоты метионина, который в форме S-аденозилметионина служит активным донором метильных групп во многих реакциях метилирования, в том числе при биосинтезе адреналина, фосфатидилхолина, метилировании белков и нуклеиновых кислот. Поскольку метионин, отдавая свою метильную группу, превращается при этом в гомоцистеин, то метилирование последнего с помощью метилкобаламина и N^5 -метил-тетрагидрофолат: гомоцистеин-метилтрансферазы обеспечивает реутилизацию гомоцистеина и превращение его в исходное соединение цикла – метионин, который может быть вновь использован как для биосинтеза белка, так и процессов метилирования. Одновременно эта реакция обеспечивает непрерывное поступление в цикл новых метильных групп, поставляемых N^5 -метилтет-

рагидрофолиевой кислотой из различных метаболических источников.

Другая коферментная форма витамина B_{12} – дезоксиаденозилкобаламин необходима для функционирования метилмалонил-КоА-мутазы, катализирующей изомеризацию метилмалоновой кислоты в янтарную (в виде соответствующих ацильных производных кофермента А). Эта реакция является одним из необходимых заключительных этапов при окислении жирных кислот с нечетным числом атомов углерода или разветвленной структурой боковой цепочки холестерина, углеродного скелета аминокислот валина, изолейцина, треонина и метионина, а также при окислении пропионовой кислоты, продуцируемой микрофлорой кишечника, обеспечивая превращение образующихся при этом трехуглеродных и разветвленных фрагментов в янтарную кислоту, окисляемую далее в цикле трикарбоновых кислот.

Витамин B_5 . Пантотеновая кислота широко распространена в природе, с чем связано и ее название (по-гречески «вездесущая»).

Коферментной формой пантотеновой кислоты является кофермент А (коэнзим А, КоА, SHCoA). Кофермент А играет фундаментальную роль в обмене веществ, функционируя в качестве промежуточного акцептора, переносчика и донора остатков карбоновых кислот (ацилов) в ферментативных процессах окисления и биосинтеза жирных кислот, стероидов, в том числе холестерина и стероидных гормонов, триглицеридов и фосфолипидов, при окислительном декарбоксилировании кетокислот, в частности пировиноградной и кетоглутаровой в цикле Кребса, биосинтезе ацetylхолина, гема, ряда других важных в биохимическом отношении соединений. Связывание остатков карбоновых кислот с коферментом А происходит по концевой SH-группе кофермента. Образующаяся ацилтиоэфирная связь (ацил-SКоА, или RCO-КоА) является высокоэнергетической, что активизирует связанный остаток кислоты и создает выгодные термодинамические предпосылки для его использования в реакциях ацилирования. Одним из важнейших соединений этого типа является ацetyl-КоА, донор остатка уксусной кислоты («активного ацетата») в ферментативных реакциях ацетилирования.

Биотин (витамин Н). Специфическая функция биотина в обмене веществ определяется тем, что он входит в состав активного

центра карбоксилаз – ферментов, осуществляющих карбоксилирование органических кислот, т. е. включение в них CO_2 с образованием новой карбоксильной группы COOH .

Биотинзависимые карбоксилазы играют важную роль в ассимиляции животными тканями углекислоты, а также в осуществлении и регуляции ряда ответственных этапов углеводного и липидного обменов.

Среди реакций карбоксилирования, происходящих с участием биотина, важнейшими являются следующие:

1. Карбоксилирование остатка уксусной кислоты в форме ацетил-КоА с образованием малонил-КоА. Эта реакция, катализируемая ацетил-КоА-карбоксилазой, является приоритетным подготовительным этапом биосинтеза жирных кислот, которые образуются в организме из ацетил-КоА путем последовательного присоединения к нему остатков малонил-КоА, при этом молекула жирной кислоты всякий раз наращивается на два углеродных атома.

2. Карбоксилирование пропионовой кислоты (в форме пропионил-КоА), в результате чего последний превращается в метилмалонил-КоА. Реакцию катализирует биотинзависимая пропионил-КоА-карбоксилаза.

3. Карбоксилирование пировиноградной кислоты с образованием щавелевоуксусной кислоты (оксалоацетата). Реакция, катализируемая пируваткарбоксилазой, имеет весьма важное метаболическое и регуляторное значение, поскольку с ее помощью осуществляется непрерывное пополнение пула щавелевоуксусной кислоты, необходимой для бесперебойной работы цикла Кребса.

Кроме того, катализируемое пируваткарбоксилазой образование щавелевоуксусной кислоты является важнейшим начальным этапом глюконеогенеза – ресинтеза глюкозы из молочной и пировиноградной кислот.

Во всех перечисленных реакциях функция биотина, входящего в состав каталитического центра соответствующих карбоксилаз, состоит в том, что он осуществляет активацию CO_2 путем ее присоединения с участием АТФ по N'-атому уреидной группы биотина и последующего переноса активной CO_2 на тот или иной акцептор.

Анализ биохимической характеристики витаминов и их метаболитов необходим для научного обоснования рецептурных формул специализированных продуктов и их функ-

циональных свойств, понимания механизма действия действующих начал эссенциальных нутриентов на профилактику и коррекцию обменных нарушений при наличии профессиональных и производственно обусловленных заболеваний.

С учетом вышеизложенного научно обоснован качественный и количественный состав рецептуры витаминизированного напитка с каротином и пектином, что позволило также определить участие его отдельных компонентов в коррекции витаминного статуса и здоровья работников металлургических предприятий.

Рецептурный состав витаминизированного напитка с каротином и пектином, мг/100 г смеси, витамины: С – 333,3; B_1 – 6,7; B_2 – 6,7; B_6 – 6,7; B_{12} – 0,011; B_3 – 72,2; B_5 – 33,3; B_9 – 2,2; биотин – 0,78; А – 5,6; Е – 38,9; D – 0,044; бета-каротин – 11,1; пектин – 22,2.

Установленные регламентируемые показатели пищевой ценности разработанного продукта (табл. 1).

Разработанный продукт апробирован в лечебно-профилактическом питании рабочих основных профессий Новокузнецкого алюминиевого завода. Исследования проведены совместно с кафедрой гигиены, эпидемиологии и здорового образа жизни Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей (зав. кафедрой – д-р мед. наук, профессор В.З. Колтун).

Изучали обеспеченность организма витаминами, содержание ПОЛ и активность ферментов антиоксидантной защиты.

Прием напитка в количестве двух раз в день по 200 см³ обеспечивает дополнительное поступление, мг: витамина С – 34,0; А – 0,54; D – 200 МЕ; Е – 5,0; B_1 – 0,7; B_2 – 0,85; B_6 – 1,0; B_{12} – 150 мкг; никотинамида – 8,6; пантотеновой кислоты – 3,5; фолиевой кислоты – 0,2; биотина – 1,1, что гарантирует основной уровень суточной потребности рабочих с учетом наличия производственных вредностей. Показано, что включение в рацион витаминизированного напитка в течение одного месяца в указанных количествах приводит к достоверному повышению экскреции витаминов С и B_2 с мочой, в то время как в группе рабочих, не получавших напиток, положительных изменений не отмечено.

Выявлены отрицательные связи, характеризующие линейную зависимость между содержанием малонового диальдегида в слюне

Таблица 1
Table 1Пищевая ценность витаминизированного напитка с каротином и пектином
Nutritional value of fortified drink containing carotene and pectin

| Нутриенты Nutrients | Содержание, мг в 1 стакане восстановленного напитка (200 мл) Concentration, mg per 1 glass of reconstituted drink (200 mL) | Норма физиологической потребности*, мг (МР 2.3.1.2432-08) Normal physiological need*, mg (MR 2.3.1.2432-08) | % от нормы % of normal need |
|---|--|---|--|
| Аскорбиновая к-та (С) Ascorbic acid (C) | 30,0 | 90 | 33 |
| Тиамин (В ₁) Thiamine (B ₁) | 0,6 | 1,5 | 40 |
| Рибофлавин (В ₂) Riboflavin (B ₂) | 0,6 | 1,8 | 33 |
| Пиридоксин (В ₆) Pyridoxine (B ₆) | 0,6 | 2,0 | 30 |
| Цианкобаламин (В ₁₂) Cyanocobalamin (B ₁₂) | 0,001 | 0,003 | 33 |
| Ниацин, РР (В ₃) Niacin, PP (B ₃) | 6,5 | 20 | 32 |
| Пантотеновая к-та (В ₅) Pantothenic acid (B ₅) | 3,0 | 5,0 | 60 |
| Фолиевая к-та, фолацин (В ₉) Folic acid, folacin (B ₉) | 0,2 | 0,4 | 50 |
| Биотин (Витамин Н) Biotin (vitamin H) | 0,07 | 0,05 | 140 |
| А | 0,5 | 0,9 рет. экв. R.E. | 55 |
| Е | 3,5 | 15 ток. экв. T.E. | 23 |
| Д | 0,004 | 0,01 | 40 |
| Бета-каротин Beta-carotene | 1,0 | 5,0 | 20 |
| Природный пектин (яблочный) Natural pectin (apple) | 2,0 г | 20 г | 10 (от суммы пищевых волокон) (of total nutrient fibers) |

* – взрослые мужчины и женщины, 18–59 лет (4 группа населения по уровню физической активности, к которой относят рабочих металлургической промышленности).

* – adult men and women, aged 18–59 (4th motor activity group of population comprising metal industry workers).

($r = 0,65$; $P < 0,05$), активностью каталазы и супероксиддисмутазы ($r = 0,52$; $P < 0,05$), что свидетельствует об активизации ферментов антиоксидантной защиты.

Наряду с витаминной обеспеченностью изучали содержание продуктов перекисного окисления липидов и активность самих ферментов антиоксидантной защиты. Эти показатели в основной и контрольной группе до

проведения профилактических мероприятий не различались (табл. 2).

После проведения витаминизации активность ферментов в основной группе повысилась, что обеспечивает антиокислительный потенциал и улучшение функционального состояния организма (табл. 3).

Защитное действие антиоксидантов обеспечивается следующими механизмами:

**Таблица 2
Table 2**

**Содержание продуктов перекисного окисления липидов
и активность ферментов антиоксидантной защиты до проведения витаминизации**
**Concentration of lipid peroxidation products and activity
of antioxidant protection enzymes before vitaminization**

| Группа Group | X ± m | | |
|--------------------------|---|---|--|
| | ТБК-активный продукт (МДА), нмоль /см ³ Thiobarbituric acid reactive products (MDA), nmol/cm ³ | Каталаза, МЕ /мг Catalase, IU/mg | Супероксиддисмутаза (СОД), МЕ /см ³ Superoxide dismutase (SOD), IU/cm ³ |
| Основная Experimental | 19,3 ± 0,42 | 68,6 ± 5,1 | 25,4 ± 1,7 |
| Контрольная Control | 18,7 ± 0,19 | 66,5 ± 6,3 | 26,7 ± 1,4 |

**Таблица 3
Table 3**

**Содержание продуктов перекисного окисления липидов
и активность ферментов антиоксидантной защиты после проведения витаминизации**
**Concentration of lipid peroxidation products and activity
of antioxidant protection enzymes after vitaminization**

| Группа Group | X±m | | |
|--------------------------|---|---|--|
| | ТБК-активный продукт (МДА), нмоль /см ³ Thiobarbituric acid reactive products (MDA), nmol/cm ³ | Каталаза, МЕ /мг Catalase, IU/mg | Супероксиддисмутаза (СОД), МЕ /см ³ Superoxide dismutase (SOD), IU/cm ³ |
| Основная Experimental | 13,1 ± 0,29 | 89,8 ± 7,7 | 32,8 ± 1,7 |
| Контрольная Control | 17,9 ± 0,31 | 68,7 ± 6,0 | 25,4 ± 2,5 |

Примечание. Различие статистически достоверно (P < 0,05).
Note. Difference is significant (P < 0.05).

– прямым взаимодействием оксидантов с антиоксидантами (витамин С);

– улавливанием свободных радикалов и сиглентного кислорода витаминами Е, В₁, В₆ (ловушки свободных радикалов);

– защитным действием «структурных» антиоксидантов, предотвращающих контакт активных форм кислорода с компонентами клетки (витамин Е);

– замещением и репарацией поврежденных ферментов (витамин Е).

Заключение. На основании результатов исследований сделано заключение, что витамины, бета-каротин и пектин, включенные в состав напитка, обладают действенным способом защиты организма рабочих от воздействия неблагоприятных условий производства и могут служить фактором сохранения здоровья, профилактики профессиональных и производственно обусловленных заболеваний.

Литература

1. Герасименко, Н.Ф. Здоровое питание и его роль в обеспечении качества жизни / Н.Ф. Герасименко, В.М. Позняковский, Н.Г. Челнакова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – № 4 (12). – С. 52–57.

2. Иванова, Т.Н. Товароведение и экспертиза пищевых концентратов и пищевых добавок: учеб. для вузов / Т.Н. Иванова, В.Ф. Добровольский, В.М. Позняковский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 265 с.

3. Истомин, А.В. Гигиенические аспекты лечебно-профилактического питания на производствах с вредными условиями труда: аналитический обзор / А.В. Истомин, Т.Л. Пилат. – М.: ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана, 2005. – 31 с.

4. Маюрникова, Л.А. Экспертиза специа-

лизированных пищевых продуктов. Качество и безопасность: учеб. пособие / Л.А. Маюрникова, В.М. Позняковский, Б.П. Суханов [и др.]; под общ. ред. В.М. Позняковского. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 424 с.

5. Пилат, Т.Л. Питание рабочих при вредных и особо вредных условиях труда / Т.Л. Пилат, А.В. Истомин, А.К. Батулин // История и современное состояние. – М.: ООО ЛЕОВИТ Нутрио, 2006. – Т. 1. – 240 с.

6. Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания / под ред. В.А. Тутельяна, А.П. Нечаева. – М.: ДеЛи плюс, 2014. – 520 с.

7. Позняковский, В.М. Пищевые ингредиенты и биологически активные добавки: учеб. / В.М. Позняковский, О.В. Чугунова, М.Ю. Тамова. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 143 с.

8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.10.10 г. № 559-р «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года».

9. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.04.12 г. № 559-р «Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2020 года».

10. Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами – надежный путь оптимизации их потребления / В.Б. Спиричев, В.В. Трихина, В.М. Позняковский // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/2. – С. 9–15.

11. Спиричев, В.Б. Микронутриенты – важнейший алиментарный фактор в охране здоровья. Гигиенические аспекты применения витаминов в производственных коллективах (аналитический обзор) / В.Б. Спиричев. – М.: Вече, 2007. – 63 с.

12. Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В.Б. Спиричев, Л.Н. Шатнюк, В.М. Позняковский; под общ. ред. В.Б. Спиричева. – 2-е изд. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. – 548 с.

13. Трихина, В.В. Методологические и практические аспекты разработки и производства специализированных напитков: моногр. / В.В. Трихина, Л.А. Маюрникова. – Кемерово: КемТИПП, 2011. – 205 с.

14. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания»: утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 15.06.2012 г. № 34. – 20 с.

15. Указ Президента РФ от 01.12.2016 г., № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

16. Черешнев, В.А. Проблема продовольственной безопасности: национальные и международные аспекты / В.А. Черешнев, В.М. Позняковский // Индустрия питания. – 2016. – № 1 (1). – С. 6–14.

17. Экспертиза специализированных пищевых продуктов. Качество и безопасность: учеб. пособие / Л.А. Маюрникова, В.М. Позняковский, Б.П. Суханов и др.; под общ. ред. В.М. Позняковского. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 424 с.

18. Nutritional factor in ensuring health and reliability increase of professional activities of industrial workers / V.V. Trihina, V.B. Spirichev, V.Z. Koltun, A.N. Avstrieveskih // Food and Raw Materials. – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 77–87.

19. World Health Statistics 2012. – World Health Organization.

Спиричев Владимир Борисович, заслуженный деятель науки РФ, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, г. Москва, vbspirichev@mail.ru.

Трихина Вероника Валерьевна, кандидат технических наук, докторант кафедры технологии и организации общественного питания, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), г. Кемерово, pvm1947@mail.ru.

Поступила в редакцию 10 января 2017 г.

BIOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF ESSENTIAL NUTRIENTS AS A SCIENTIFIC BASIS OF DETERMINATION OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF SPECIALIZED PRODUCTS AND MECHANISMS OF THEIR ACTION ON METABOLIC PROCESSES

V.B. Spirichev¹, vbspirichev@mail.ru,
V.V. Trikhina², pvm1947@mail.ru

¹Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation,

²Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University), Kemerovo, Russian Federation

Aim. To analyze biochemical functions and vitamins and their metabolites in order to provide scientific justification and determination of functionality of a new specialized product – fortified drink supplemented with beta-carotene and pectin for optimization of medical and preventive nutrition for iron and steel plant workers. The rationale of the study is associated with the necessity to optimize the diet of workers exposed to occupational health hazard in order to prevent occupational diseases, improve working capacity, and maintain health. **Materials and Methods.** We used theoretical analysis as well as data mining for analytical review of literature and our own studies. The work involved instrumental methods for assessment of quality, effectiveness, and functionality of the specialized products; the obtained data were statistically processed. **Results and Discussion.** The paper covers analytical review of materials dedicated to the role of essential nutrients – vitamins and their metabolites – in metabolic processes. The results of theoretical analysis became a basis of development of a formula of a new preventive drink considering biochemical characteristic of its agents and its effect on the body of a worker exposed to occupational health hazard. The regulated nutritional value indicators and consumption rates of the specialized products were determined. We obtained clinical evidence of effectiveness of the drink introduced into a diet of aluminum plant workers; clinical trials implied studies of lipid peroxidation products and activity of antioxidant protection enzymes. Dietary factor was proved to have a positive effect on the antioxidant potential and functional status of the body. The mechanisms of this effect were discussed. **Conclusion.** Supplementing the workers' diet with the fortified drink containing beta-carotene and pectin effectively protects the body from the action of xenobiotics and contributes to health promotion and prevention of occupational diseases.

Keywords: vitamins and their metabolites, biochemical characteristic, specialized drink, functionality, effectiveness, occupational diseases, prevention.

References

1. Gerasimenko N.F., Poznyakovskiy V.M., Chelnakova N.G. [Healthy Eating and Its Role in Ensuring the Quality of Life]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* [Technologies of Food and Processing Industry of AIC – Healthy Food], 2016, no. 4 (12), pp. 52–57. (in Russ.)
2. Ivanova T.N., Dobrovolskiy V.F., Poznyakovskiy V.M. *Tovarovedenie i ekspertiza pishchevykh kontsentratov i pishchevykh dobavok: uchebnyk dlya vuzov* [Commodity and Examination of Food Concentrates and Food Additives. The Textbook for High Schools]. 2nd ed. Moscow, INFRA-M Publ., 2014. 265 p.
3. Istomin A.V., Pilat T.L. *Gigienicheskie aspekty lechebno-profilakticheskogo pitaniya na proizvodstvakh s vrednymi usloviyami truda: analiticheskiy obzor* [Hygienic Aspects of Medical-Preventive Nutrition at Enterprises with Harmful Working Conditions. Analytical Review]. Moscow, Federal Research Center of Hygiene Named After F.F. Erisman Publ., 2005. 31 p.
4. Mayurnikova L.A., Poznyakovskiy V.M., Sukhanov B.P. *Ekspertiza spetsializirovannykh pishchevykh produktov. Kachestvo i bezopasnost': uchebnoe posobie* [Examination of Specialized Food Products. Quality and Safety. Textbook]. St.Petersburg, GIORD Publ., 2012. 424 p.
5. Pilat T.L., Istomin A.V., Baturin A.K. *Pitanie rabochikh pri vrednykh i osobo vrednykh usloviyakh truda. Istoriya i sovremennoe sostoyanie* [The Power of Workers in Harmful and Especially

Harmful Working Conditions. The History and Current Status]. Moscow, OOO LEOVIT Nutrio Publ., 2006. 240 p.

6. Tutel'yana V.A., Nechaeva A.P. *Pishchevye ingredienty v sozdanii sovremennykh produktov pitaniya* [Food Ingredients to Create a Modern Food Under the Editorship]. Moscow, Delhi Plus Publ., 2014. 520 p.

7. Poznyakovskiy V.M., Chugunova O.V., Tamova M.Yu. *Pishchevye ingredienty i biologicheski aktivnye dobavki: uchebnik* [Food Ingredients, and Dietary Supplements. Textbook]. Moscow, INFRA-M Publ., 2017. 143 p.

8. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25.10.10 g. № 559-r "Osnovy gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya na period do 2020 goda"* [RF Government Decree "Principles of State Policy of the Russian Federation in the Field of Healthy Nutrition of the Population for the Period Till 2020" of 25.10.10 № 559-R].

9. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17.04.12 g. № 559-r "Strategiya razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda"* [RF Government Decree "Strategy of Development of Food and Processing Industry of the Russian Federation Until 2020" of 17.04.12 № 559-R].

10. Spirichev V.B., Trikhina V.V., Poznyakovskiy V.M. [Food Fortification with Micronutrients – a Reliable way to Optimize Their Consumption]. *Polzunovskiy vestnik* [Vestnik polzunovskii], 2012, no. 2 (2), pp. 9–15. (in Russ.)

11. Spirichev V.B. *Mikronutrienty – vazhneyshiy alimentarnyy faktor v okhrane zdorov'ya. Gigienicheskie aspekty primeneniya vitaminov v proizvodstvennykh kollektivakh (analiticheskiy obzor)* [Micronutrients – Essential Nutritional Factor in Health. Hygienic Aspects of the use of Vitamins in the Workforce (Analytical Review)]. Moscow, Veche Publ., 2007. 63 p.

12. Spirichev V.B., Shatnyuk L.N., Poznyakovskiy V.M. *Obogashchenie pishchevykh produktov vitaminami i mineral'nymi veshchestvami. Nauka i tekhnologiya* [Food Fortification with Vitamins and Minerals. Science and Technology]. 2nd ed. Novosibirsk, Siberian University Publ., 2005. 548 p.

13. Trikhina V.V., Mayurnikova L.A. *Metodologicheskie i prakticheskie aspekty razrabotki i proizvodstva spetsializirovannykh napitkov: monografiya* [Methodological and Practical Aspects of the Development and Manufacture of Specialty Drinks. Monograph]. Kemerovo, Kemtipp Publ., 2011. 205 p.

14. *Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza TP TS 027/2012 "O bezopasnosti otdel'nykh vidov spetsializirovannoy pishchevoy produktsii, v tom chisle dieticheskogo lechebnogo i dieticheskogo profilakticheskogo pitaniya": utv. resheniem Soveta Evraziyskoy ekonomicheskoy komissii ot 15.06.2012 g. № 34* [Technical Regulations of the Customs Union TP TC 027/2012 "On Safety of Certain Types of Specialized Food Products, Including Dietary Medical and Dietary Preventive Nutrition". The Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission 15.06.2012 № 34. 20 p.

15. *Ukaz Prezidenta RF ot 01.12.2016 g. № 642 "O strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii"* RF Federal Law "On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation" of 01.12.2016 № 642.

16. Chereshnev V.A., Poznyakovskiy V.M. [The Problem of Food Security. National and International Perspectives]. *Industriya pitaniya* [Food Industry], 2016, no. 1 (1), pp. 6–14. (in Russ.)

17. Mayurnikova L.A., Poznyakovskiy V.M., Sukhanov B.P. *Ekspertiza spetsializirovannykh pishchevykh produktov. Kachestvo i bezopasnost': uchebnoe posobie* [Examination of Specialized Food Products. Quality and Safety. Textbook]. St. Petersburg, GIORD Publ., 2012. 424 p.

18. Trikhina V.V., Spirichev V.B., Koltun V.Z., Avstrieviskih A.N. Nutritional Factor in Ensuring Health and Reliability Increase of Professional Activities of Industrial Workers. *Food and Raw Materials*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 77–87.

19. Word Health Statistics 2012. Word Health Organization.

Received 10 January 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Спиричев, В.Б. Биохимическая характеристика эссенциальных нутриентов как научная основа для определения функциональных свойств специализированных продуктов и механизмов их действия на обменные процессы / В.Б. Спиричев, В.В. Трихина // Человек. Спорт. Медицина. – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 5–19. DOI: 10.14529/hsm170201

FOR CITATION

Spirichev V.B., Trikhina V.V. Biochemical Characteristic of Essential Nutrients as a Scientific Basis of Determination of Functional Properties of Specialized Products and Mechanisms of Their Action on Metabolic Processes. *Human. Sport. Medicine*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 5–19. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm170201