

Г.О.Сімахіна, д-р техн. наук

G. Simakhina

**ФУНКЦІОНАЛЬНА РОЛЬ КАРОТИНОЇДІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ
ВИКОРИСТАННЯ У ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ
FUNCTIONAL ROLE OF CAROTINOIDS AND THE SPECIFICITY OF
THEIR USAGE IN FOOD TECHNOLOGIES**

З'ясовано основні біологічні функції каротиноїдів у живому організмі. Встановлено, що пріоритетною є їхня антиоксидантна, радіозахисна, антисклеротична, антиканцерогенна активність. Показано важливість досягнення високого ступеня засвоюваності каротиноїдів у складі харчових продуктів. Наведено основні технологічні прийоми збагачення каротиноїдами традиційних харчових середовищ.

Ключові слова: каротиноїди, біологічна роль, вітамін-антиоксиданти, біоконверсія, технологія збагачення.

The article elucidates the main biological functions of carotinoids in live organism. There was shown that their antioxidant, radio protecting, antisclerotic, and anticancerogenous activity is in priority. There was also shown that the achievement of high grade of carotinoids' consumption from foodstuff is drastically important. The article represents the main technological methods to enrich the traditional foodstuff with carotinoids.

Keywords: carotinoids, biological role, antioxidant vitamins, bioconversion, enrichment technology.

Сьогодні в науковій літературі все частіше зустрічається вираз “антиоксидантні вітаміни”. Його поява пов’язана з тим, що у деяких давно відомих і детально охарактеризованих вітамінів недавно виявили нові хімічні властивості, що дозволили по-новому пояснити їхню біологічну активність. У невеликих кількостях у складі збалансованого харчового раціону вони виконують незамінну роль. Однак при передозуванні, такі вітаміни призводять до гіпервітамінозу і порушення роботи життєво важливих функціональних систем організму людини.

Зрозуміло, що в даному випадку йдеться про жиророзчинні вітаміни (водорозчинні не накопичуються і організмі). Розглянемо роль одного із представників цієї групи – **каротиноїдів**.

Це природні пігменти, що синтезуються рослинами і мікроорганізмами.

Основна функція каротиноїдів і рослинній клітині, і в організмі людини полягає у захисті її структур від ушкоджуючої дії вільних радикалів.

Найбільш відомим і широко розповсюдженим каротином є β -каротин – попередник вітаміну А. Виявлені антиоксидантні властивості каротиноїдів свідчать про їхню участь у багатьох внутрішньоклітинних реакціях. І в основі усіх взаємодій лежить висока неспецифічна реакційна здатність каротиноїдів до сполук з неспареними електронами вільних радикалів.

Відомо, що продукти вільнорадикальних реакцій викликають порушення роботи біологічних мембран, передусім внаслідок резерву процесів перекисного окислення мембранних ліпідів (ПОЛ). Це призводить до розвитку в живому організмі цілого ряду патологічних станів.

Встановлена антиоксидантна активність β -каротину та інших каротиноїдів дозволяє пояснити їхню роль у гальмуванні процесів ПОЛ і характеризує такі їх функції як запобігання онкологічним і віковим ушкодженням клітин організмів, запобігання радіаційним ушкодженням, серцево-судинним захворюванням тощо.

Антиоксидантні властивості і біологічна активність каротиноїдів всебічно вивчено. Розглянемо деякі із них.

Регуляторні ефекти каротиноїдів значною мірою зумовлені їх здатністю вбудовуватись в мембранні фосфоліпідно-білкові структури. Значна частина каротиноїдів, які потрапляють в організм з їжею, накопичуються в клітинах печінки, менша кількість надходить в інші органи. Виявлено також конкурентну взаємодію різних каротиноїдів: наприклад, накопичення β -каротину в клітинах організму зменшується, якщо в раціон харчування додатково вводити інші каротиноїди (лікопін, кантаксантин) зеаксантин, лютеїн, крацетин, фукоксантин, астаксантин тощо).

Разом з тим, каротиноїди збільшують свій антирадикальний потенціал при спільній взаємодії з іншими жиророзчинними антиоксидантами – α -токоферолом, коензимом Q_{10} тощо.

Серед основних ефектів біологічної дії каротиноїдів слід назвати, в першу чергу, їхню **радіозахисну дію**. Більшість каротиноїдів мають здатність нейтралізувати ліпідні супероксидантні радикали і переривати вільнорадикальні процеси, що виникають в результаті взаємодії радіонуклідних випромінювань з клітинами органів і тканин. Встановлено, що радіозахисні властивості лікопіну (міститься в помідорах) у 1,5...2 рази вищі, ніж β -каротину.

Не менш важливим біологічним ефектом каротиноїдів є їхня здатність запобігати появі в організмі **шкідливого холестерину**, котрий є основним чинником ризику **атеросклерозу** – одного із найбільш грізних хвороб цивілізації. Відомо, що розвиток атеросклерозу супроводжується збільшенням вмісту холестерину в крові і накопиченням його в стінках судин. На сьогодні незаперечним є факт, що протікання цих процесів знаходиться у прямій залежності від інтенсивності реакцій вільнорадикального окислення ліпідів. І саме продукти ПОЛ в першу чергу виявляються в мембранних структурах клітин стінок судин. Тому є очевидним, що коли вводити в організм людини жиророзчинні антиоксиданти, які мають здатність ефективно вбудовуватись в мембрани клітин (а саме таку здатність виявлено у каротиноїдів, як сказано вище), вони гальмують розвиток ПОЛ, а значить і

формування атеросклерозу. На сьогодні показано, що такі каротиноїди як **кантаксантин** або **лікопін**, введені тваринам, виявляються у сироватці крові уже через 4 год, а при однократному вживанні людиною томатного соку як джерела лікопіну максимум його концентрації в крові спостерігається через 24 год, тобто досить швидко.

Важливо відзначити, що ефективність дії антиоксидантів визначається близькістю їх розташування до місця появи радикалів. Оскільки жиророзчинні антиоксиданти безпосередньо вбудовуються в структуру мембран, то вони здатні більш ефективно гальмувати процеси ПОЛ, ніж, наприклад, водорозчинні антиоксиданти.

Серед біологічних каротиноїдів надзвичайно важливою є їхня **антиканцерогенна** активність, оскільки на планеті смертність від онкологічних хвороб стоїть на другому місці (після серцево-судинних) і досягає 15 % від загальної смертності.

Так ось, величезна кількість статистичних досліджень свідчить про зниження ризику появи злоякісних новоутворень у людей, котрі постійно використовують у раціоні харчування каротиноїди. Особливо важливим є те, що каротиноїди справляють активний превентивний вплив на прогресивній та більш пізній стадіях канцерогенезу, знижуючи життєздатність та активність ракових клітин.

Окрім **прямої дії** на ракові клітини каротиноїди знижують ступінь розвитку онкологічних хвороб і **опосередковано** шляхом підвищення імунного захисту організму сприяючи синтезу лімфоцитів, які відповідають за імунітет.

Таким чином, каротиноїди виявляють різнонаправлену біологічну активність. Їх гідрофобна природа визначає антиоксидантну активність і здатність нейтралізувати вільнорадикальні процеси у фосфоліпідах, ліпопротеїдних та білкових системах. Каротиноїди виявляють антиканцерогенні, радіопротекторні, гіполіпідемічні, антисклеротичні

властивості. Вони здатні підвищувати імунітет організму, захищаючи його від несприятливих чинників довкілля.

Біологічні функції каротиноїдів продовжують вивчатись і кожні нові результати, отримані зарубіжними і вітчизняними вченими, розширюють нашу уяву про антиоксидантні вітаміни, дають змогу більш повно зрозуміти ту роль, котру вони відіграють у метаболізмі клітин людського організму, і створювати на цій основі нові продукти з оптимальним вмістом вітамінів-антиоксидантів.

Біодоступність каротиноїдів.

В практичних умовах при збагаченні традиційних середовищ БАР важливим є показник ступеню засвоюваності цієї БАР живим організмом, тобто її **біодоступність** або **біозасвоюваність**. Відомо, наприклад, що залізо із рослинних культур засвоюється організмом людини всього на 2...3 %, а із тваринної сировини, особливо із субпродуктів, на 50...80 %.

І цей **показник є дуже важливим**, оскільки користь приносить лише та частка БАР, яка засвоїлась живим організмом. Недавно американські вчені встановили, що людина може засвоїти в один прийом не більше 500 мг вітаміну С, Тому рекомендації деяких лікарів вживати при застудних хворобах по 2 г аскорбінової кислоти не мають наукового обґрунтування, оскільки організм людини засвоює не більше 500 мг цієї БАР. Тому таку рекомендовану дозу доцільно розділити на 4 прийоми. Цей же приклад свідчить про те, що аскорбінова кислота, прийнята навіть у великих кількостях, не викликає токсичних уражень організму людини і тому при збагаченні нею харчових середовищ не має потреби ретельно визначати кількість аскорбінової кислоти у складі рецептури продукту.

В медицині **біодоступність** або **біозасвоюваність** БАР виражається як відношення кількості засвоєної організмом людини сполуки до загальної прийнятої дози.

$$K_6 = \frac{C_3}{C_6}$$

Біодоступність БАР у складі лікарських препаратів визначають за концентрацією активних інгредієнтів у плазмі крові через певний час після їх прийому і **незаперечним є факт, що фармакологічний ефект БАР ліків є функцією їх концентрації в організмі.**

Така ж закономірність спостерігається і стосовно БАР харчових продуктів, хоча, у харчовій промисловості немає можливості простежити, яка частка введених БАР засвоюється живим організмом, однак ми цілком вірогідно можемо використовувати дані стосовно засвоюваності тієї чи іншої БАР і на цих даних розробляти технологію нових харчових продуктів з оптимальним вмістом БАР.

Повертаючись о проблеми каротиноїдів хочу нагадати, що ми переконались у високій різнобічній біологічній ефективності цієї групи сполук, що обґрунтовує актуальність виробництва харчових продуктів, збагачених каротиноїдами.

І як і для інших БАР дуже важливим є питання біозасвоюваності каротиноїдів. Цьому питанню присвячено багато досліджень і на сьогодні отримано ряд істотних результатів.

Відомо, наприклад, що засвоєння каротиноїдів відбувається в декілька етапів: мікронезація та емульгування в шлунково-кишковому тракті; всмоктування в тонкому кишечнику; часткова біоконверсія β-каротину у ретинол (вітамін А); транспорт β-каротину через лімфатичну систему в печінку, а потім у кров і розподіл по тканинах і органах.

Переконливо доведено, що біодоступність β-каротину з фруктів, овочів, соків невисока порівняно із чистим препаратом β-каротину. Наприклад, біодоступність β-каротину з моркви складає 10...20 %, з буряка – 0,1 % від біодоступності чистого β-каротину. Це пояснюється тим, що каротиноїди в рослинах знаходяться у комплексі з білками, що ускладнює їх вивільнення.

Яким чином технологічні прийоми можуть підвищити ступінь засвоюваності каротиноїдів?

Їх декілька. Для руйнування клітинних стінок рослин і зв'язків каротиноїдів з білками необхідне попереднє оброблення рослинної сировини – подрібнення, пропарювання або бланшування при помірних температурах, щоб уникнути ізомеризації каротиноїдів і втрати ними біологічної активності. При використанні препаратів або біодобавок на основі чистого β -каротину у вигляді олійних розчинів або суспензій з **розміром часток 2...3 мкм** можна також досягти високого ступеню засвоєння каротиноїдів. Каротини як ліпофільні сполуки ефективно засвоюються у вигляді емульсії.

Загалом, важливим чинником для засвоєння каротиноїдів організмом є наявність жирового середовища. Встановлено, що кількість каротину, який засвоюється з сирої моркви при раціоні харчування, позбавленого жирів, не перевищує 1 %, а з вареної моркви засвоюється майже 19 % каротину; при додаванні олії ступінь засвоєння каротинів зростає до 30...40 %.

Таким чином, жири, стимулюючи жовчовиділення та утворення ліпідних міцел, підвищують біодоступність β -каротину, тому корисність водорозчинних форм каротиноїдів проблематична. Загалом, спеціальні дослідження показали, що біодоступність β -каротину на тлі високо жирового раціону (понад 60 г жиру на день) вдвічі більша, ніж при низько жировому харчуванні.

Разом з тим встановлено, що на біодоступність каротиноїдів негативний вплив справляють також сполуки, здатні зв'язувати жовчні кислоти або руйнувати структуру міцел. Це, передусім, алкогольні напої, пектини, рослинні волокна. Є дані, що добавка до раціону харчування 7 % рослинних волокон призводить до зниження біодоступності β -каротину на 20...30 %.

Здатність пектинових речовин знижувати біодоступність β -каротину безпосередньо залежить від ступеню їх етерифікації. Високометоксильовані пектини (цитрусовий або яблучний), що містять 8 % меток сильних груп,

більш ніж на 50 % зменшують засвоєння β -каротину. Водночас низькометоксильовані пектини (2 % метоксильних груп) на ступінь біодоступності β -каротину не впливають.

Таким чином, при збагаченні харчових продуктів вітамінами – антиоксидантами **недоцільно вводити в одне й те ж харчове середовище β -каротин, рослинні волокна і високометоксильовані пектини.**

Засвоєння β -каротину порушується і при різноманітних захворюваннях жовчного міхура та шлунково-кишкового тракту. Тому для також споживачів концентрація β -каротину у продуктах має бути дещо вищою рекомендованої добової потреби.

Каротиноїди всмоктуються у тонкому кишечнику шляхом пасивної абсорбції при контакті ліпідних міцел з клітинною кишковою епітелією. Встановлено, що ефект всмоктування порушується при дефіциті у раціоні харчування цинку, фолієвої кислоти та білку.

Цей факт обґрунтовує необхідність **вносити β -каротин разом із цинком та фолієвою кислотою у збагачувані харчові середовища, і таку збагачуючу композицію вводити, насамперед, у високобілкові продукти.**

Для розроблення технології збагачення харчових середовищ β -каротином важливим є також той факт, що β -каротин, який знаходиться у двох формах (цис-ізомер та транс-ізомер), при термічному обробленні переходить із високоактивної трансформи і низько активну цис-форму, внаслідок чого різко знижується біологічна активність β -каротину та його біодоступність.

Уже зазначали, що каротиноїди виконують в організмі людини цілий ряд життєво важливих функцій. Тривалий час вважали, що основне їх призначення в перетворенні на вітамін А, котрий бере участь у боротьбі з інфекціями, серцево-судинними, онкологічними та шкірними хворобами. Вітамін А необхідний для здорової репродуктивної функції, гормональної

стабільності у жінок, підтриманні балансу цукру в крові і незамінний при зміцненні імунної системи організму людини.

Останніми дослідженнями показано, що каротиноїди відзначаються й іншими специфічними властивостями, не пов'язаними з А-вітамінною активністю.

В живих організмах вони діють як фото протектори та антиоксиданти; на молекулярному і клітинному рівнях запобігають шкідливим біотрансформаціям, індукованим окислювачам, гепотоксичними сполуками, рентгенівським та радіоактивним випромінюванням. Каротиноїди підтримують стабільність генома і резистентність організму людини до мутагенезу та канцерогенезу.

Вони підвищують імунокомпетентність та контактну взаємодію клітин, сприяють економним витратам інших антиоксидантних вітамінів та ферментів, виявляють антистресорні властивості.

Біоконверсія, тобто перетворення, каротиноїдів на вітаміни А в організмі людини відбувається переважно шляхом розщеплення молекули, наприклад, β -каротину, по центральному П-зв'язку під впливом кисню та ферменту β -каротин-діаксигенази з утворенням ретинолу. Активність вказаного ферменту прямо залежить від вмісту білків у раціоні харчування. І при достатній їх кількості, а також при достатньому надходженні β -каротину з їжею потреби організму у вітаміні А задовольняються значною мірою.

В організмі людини понад 50 % вітаміну А утворюється з рослинних каротиноїдів та частково із каротиноїдів м'ясних продуктів.

Відомо, що при надмірному надходженні ретинолу в організм спостерігається насичення ним тканин, так званий "порогів ефект", що супроводжується явищем токсичності. Так, при добовій потребі дорослої людини в вітаміні А 5000 міжнародних одиниць (МО), дози вище 8000 МО протипоказані вагітним жінкам. Водночас, натуральні каротиноїди вважаються абсолютно безпечними для споживачів навіть у дозах, що значно перевищують фізіологічну потребу – 10000...25000 МО (5...6 мг).

Ці дані потрібно враховувати при збагаченні харчових середовищ як натуральними каротиноїдами, так і синтетичними препаратами вітаміну А, з точки зору необхідності повної безпеки отриманих продуктів для споживачів.

Разом з тим, дослідження біологічної ролі каротиноїдів та вітаміну А інтенсивно розвиваються і виявлено, що навіть після прийому надвисокої дози β -каротину (2000 мг) рівень ретинолу в крові практично не підвищується. Ці дані дали можливість ученим висунути гіпотезу про гомеостатичне блокування надмірного синтезу вітаміну А із β -каротину.

При збагаченні харчових продуктів вітамінами-антиоксидантами слід пам'ятати, що природні каротиноїди являють собою цілий комплекс біологічно активних речовин, котрі справляють максимальну ефективність на організм людини лише при взаємній присутності (подібно комплексу вітамінів групи В). тому доцільно віддавати перевагу натуральним збагачувачам на основі їх багатих природних джерел: морква, гарбуз, помідори, кольорова капуста, брокколі, шпинат тощо.

І на рівні розуміння ролі каротиноїдів у функціонуванні організму людини для збагачення харчових продуктів слід обирати такі природні матеріали, які містять значні кількості не лише β -каротину, а й інших важливих каротиноїдів – лютеїну, зеаксантину, лікопіну тощо.

Наприклад, головними каротиноїдами, які захищають очі від несприятливих чинників довкілля, запобігають виникненню серйозних хвороб очей, є лютеїн та зеаксантин. Вони особливо зосереджені на жовтій плямі – істинному центрі зору на задній стінці сітківки. А лютеїн, навіть більшою мірою, ніж β -каротин, запобігає ушкоджуючій дії вільних радикалів на ліпіди у складі клітинних мембран ока. Ці обидва каротиноїди значною мірою представлені у кольоровій капусті, шпинаті та інших листових овочах.

На основі лютеїну та антоціанів чорниці російська компанія “Евалар” випускає комплексний препарат – харчову біодобавку для запобігання виникнення і розвитку очних хвороб, уникнення ослаблення й атрофії очних

м'язів, короткозорості. Ця комбінація стала переможцем останніх років у категорії “Вітаміни для очей”.

Лікопін – пігмент – що надає забарвлення помідорам, кавунам, рожевим грейпфрутам – на сьогодні вважається найбільш потужним каротиноїдом, хоча й маловивченим. Подібно β -каротину, він захищає “шкідливий” холестерин від окислення його на стінках артерій, запобігаючи таким чином атеросклерозу. Деякі дослідники вважають, що для профілактики та лікування серцево-судинних хвороб цей каротиноїд є важливішим, ніж β -каротин. І саме з цією БАР пов'язують реальну можливість захисту чоловіків від раку простати.

В сучасних харчових технологіях широко використовують синтетичний β -каротин. Він дешевший, ніж його природний аналог, технологічний у виробництві і його синтез практично необмежений. Тому сподіваючись, що природні каротиновмісні матеріали витіснять сполуки, отримані синтетичним шляхом, нереально, особливо якщо розширювати асортимент продукції, збагаченої вітамінами-антиоксидантами, відповідно до світових тенденцій і, щоб вистояти у конкурентній боротьбі в межах Світової організації торгівлі.

Принаймні, потрібно намагатись хоча б при виробництві харчових продуктів для дітей використовувати природні каротиноїдовмісні збагачувачі. Адже штучний β -каротин поступає природному за двома основними показниками:

- він не містить жодного з інших каротиноїдів, які посилювали б його біологічну активність та засвоюваність;
- присутність синтетичного β -каротину у переважаючих концентраціях може зашкодити засвоєнню організмом людини інших природних каротиноїдів із харчових продуктів.

Таким чином, максимально ефективне використання, наприклад, β -каротину можливе лише за умови присутності інших каротиноїдів. Які з них найбільш необхідні людині показують результати ідентифікації вмісту

окремих каротиноїдів у крові (Яку шина Л.М., Малахова Е.Н., 1995). Отож, якщо суму каротиноїдів прийняти за 100 %, то вони розподіляються таким чином:

β -каротин – 20...25 %

сума лютеїну та зеаксантину – 18...23 %

лікопін – 17...25 %

α -каротин – 2...6 %

криптоксантин – 7...13 %

не ідентифіковані каротиноїди – 15...20%

Таким чином, поетапний аналіз процесу засвоєння каротиноїдів живим організмом показує, що ступінь біодоступності залежить від багатьох чинників, пов'язаних як зі складом сировини, особливо її технологічного перероблення на готові продукти, так і від стану здоров'я, особливо за наявності порушень роботи шлунково-кишкового тракту або шкідливих звичок (алкоголь, тютюнокуріння тощо).

Наявні літературні дані свідчать про вплив різноманітних чинників екзогенного та ендогенного походження на біодоступність каротиноїдів необхідно враховувати при розробленні нових харчових біодобавок і фітопрепаратів, збагачених каротиноїдами, та при визначенні рекомендацій з їх вживання.

А те, що попит на таку продукцію постійно зростатиме, визначається не лише життєво важливими властивостями каротиноїдів, в тому числі і антиканцерогенними, а й результатами перших досліджень, які показали позитивну кореляцію між рівнем β -каротину в крові і тривалістю життя індивідуума.

Це не означає, що при збагаченні харчових продуктів необхідно прагнути до введення невиправдано високих концентрацій β -каротину. Корекція харчування повинна бути обґрунтованою в межах задоволення добової фізіологічної потреби організму людини в каротиноїдах. Надмірне тривале вживання будь-якого нутрієнта, а тим самим більше біологічно

активної сполуки супроводжується порушенням фізіологічного рівноважного стану організму.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Георгиевский В.П.* Биологически активные вещества лекарственных растений / В.П. Георгиевский, Н.Ф. Комиссаренко. – Новосибирск : Наука, НО, 1990. – 336 с.
2. *Кудрицкая С.Е.* Каротиноиды плодов и ягод / С.Е. Кудрицкая. – К. : Вища шк., 1990. – 221 с.
3. *Лебедева Т.С.* Пигменты растительного мира / Т.С. Лебедева, К.М. Сытник. – К. : Наукова думка, 1996. – 58 с.
4. *Черно Н.К.* Нові поліволокнисті харчові біологічно активні добавки з β -каротином / Н.К. Черно, Г.В. Крусір, М.В. Нікішина // Наукові праці ОДАХТ. – Одеса, 1998. – №18. – С. 108-110.
5. *Якушина Л.М.* Идентификация содержания каротиноидов в крови / Л.М. Якушина, Е.Н. Малахова // Фармация. – 1995. – №2. – С. 101-103.
6. *Meyer, A.A.* Antioxidant interaction of carotinoids, catechin, cyanidin, cafferic acid, quercetin and ellagic on human LDL oxidation / A.A. Meyer, M. Heinonen, E.N. Frankel // Fruit Processing. 1998. Vol. 61. P. 71-75.