

Г.О.Сімахіна, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ БІОДОСТУПНОСТІ ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ НУТРИЄНТІВ

На основі літературних та експериментальних досліджень встановлено залежність біодоступності вітамінів та мінеральних елементів в організмі людини від форми використаних нутрієнтів, що вимагає науково обґрунтованих підходів при збагаченні ними харчових середовищ. Зокрема, збагачення середовищ аскорбіновою кислотою вимагає її введення у вигляді монопрепарату або у поєднанні з іншими біологічно активними речовинами синергічної дії; ефект накопичення мінеральних елементів в органічній формі у рослинних матеріалах зростає в декілька разів щодо неорганічної.

Ключові слова: *біодоступність, засвоюваність, синергізм, біотрансформація, мінералізація, металоорганічні комплекси.*

Сучасна наука про харчування розглядає їжу як джерело основних біологічно активних сполук. Такий підхід виправданий як з фізіологічної, так і з історичної точок зору. З'ясування ролі есенціальних харчових речовин як істинних джерел життя та основ метаболічних процесів стало найважливішим досягненням медичної науки, харчової технології та біології в цілому [1].

Істотні успіхи аналітичної хімії дали змогу охарактеризувати їжу як надзвичайно складний хімічний комплекс, що містить тисячі основних і сотні тисяч мінорних компонентів, здатних справляти виражені і різноманітні фізіологічні впливи на організм людини. І цілком обґрунтованою була пропозиція академіка АМН СРСР О.О. Покровського включати хімічні аспекти розгляду їжі в науку про хімію природних сполук, засновником якої став академік М.І. Шемякін [2].

Навіть поверхневий аналіз їжі як джерела природних сполук не залишає сумніву у незвичайній широті розмаїття та біологічного значення вивчення її хімічного складу. Очевидно також, що біологічне значення сполук, які входять до складу харчових продуктів – традиційних та нових – є різним. З цієї точки зору характеристику харчових сполук та їхню роль у життєдіяльності людського організму доцільно починати з вітамінів та мінеральних речовин [3], оскільки на сьогодні відомо, що всі життєво важливі процеси в організмі відбуваються саме за їхньої участі.

Більш того, отримання оздоровчих збагачених харчових продуктів ґрунтується здебільшого на введенні до традиційних харчових середовищ натуральних вітамінів, мінеральних сполук, вітамінно-мінеральних комплексів у вигляді готових преміксів або рослинних функціональних збагачувачів.

Тому **мета** даної роботи полягає у з'ясуванні технологічних особливостей вибору форм вітамінів та мінеральних елементів для збагачення традиційних харчових середовищ з точки зору максимально їх засвоєння організмом людини.

Сучасна наука про харчування передбачає поглиблене дослідження харчових та біологічних функцій нутрієнтів, з'ясування взаємозв'язків між ними, розкриття їх взаємного впливу на процеси перетворення та засвоєння організмом людини, встановлення можливого синергізму або антагонізму при спільній присутності як у складі харчових продуктів, так і на рівні

шлунково-кишкового тракту, що істотно впливає на рівень біодоступності нутрієнтів.

Останнім часом у науковій літературі накопичилась досить ґрунтовна інформація щодо ефективного використання вітамінно-мінеральних композицій у лікуванні та профілактиці хвороб [4, 5]. Численні клініко-експериментальні дослідження виявили характер фізіологічної взаємодії між різними вітамінами та мінеральними елементами, в результаті чого було встановлено, що одні із них діють синергічно, а інші виявляють антагоністичний характер, одні досить повно засвоюються організмом людини, інші – незначною мірою [6, 7].

Все це свідчить про актуальність вивчення впливу компонентів полівітамінних та вітамінно-мінеральних комплексів на фармакокінетику складових в організмі людини. Ці дослідження є важливими і з тієї точки зору, що при використанні рослинних поліфункціональних композицій для збагачення харчових середовищ ми розглядаємо їх як концентрати різноманітних біологічно активних речовин, передусім, вітамінів та мінеральних сполук.

Актуальність зазначених досліджень визначається також відомим фактом несприятливого впливу надлишку вільних радикалів на виникнення і розвиток численних захворювань. Профілактикою процесу вільнорадикального окислення є підтримання стабільності в організмі оксидантно-антиоксидантної рівноваги. Вітамінно-мінеральні комплекси, призначені або для безпосереднього вжитку, або для збагачення харчових середовищ, якраз і вирішують це завдання.

Нашу увагу привернули дослідження російських учених із вивчення всмоктування аскорбінової кислоти та селену – ефективних антиоксидантів – при використанні як у складі вітамінно-мінерального комплексу «Селмевіт», так і монопрепарату аскорбінової кислоти. Аскорбінову кислоту використовували в дозі 105 мг/добу, а селен у вигляді селеніту натрію – 75 мкг/добу [8].

Аналіз отриманих даних показав, що максимальна концентрація селену в крові виявляється через 2 год. після прийому і стосовно вихідної концентрації вона зростає лише на 30%. Потім відбувається істотне зниження цього показника і через 5 год. він практично повертається до вихідного значення.

Низький ступінь засвоєння селену ми пояснюємо тим, що до складу вітамінно-мінерального комплексу «Селмевіт» він входить у вигляді неорганічної сполуки – селеніту натрію. Унікальні дослідження, виконані В.І. Георгієвським зі співробітниками (1979) на тваринах, показали, що набагато краще засвоюється організмом селен в органічній формі – ступінь накопичення його у тканинах печінки зростає майже в 10 разів. І на сьогодні домінуючою є думка, що лише органічна форма мінеральних елементів забезпечує максимальний ступінь їх засвоюваності організмом людини.

Тому теоретичний і практичний інтерес представляє вивчення можливості ефективного планування мінерального складу сільськогосподарської сировини і отриманих з неї продуктів із заздалегідь визначеним якісним і кількісним співвідношенням мінеральних елементів, а також їх біотрансформації із неорганічної в органічну, легкозасвоювану форму.

Одним із технологічно доцільних та економічно вигідних шляхів вирішення цього завдання є мінералізація зернових культур зі штучних живильних середовищ з можливим якісним і кількісним корегуванням їх мінерального складу. Таку роботу виконано в Проблемній науково-дослідній лабораторії НУХТ.

В якості матеріалів дослідження обрано малотоксичні, високоефективні мінеральні елементи, необхідні як для росту і розвитку рослин, так і для функціонування організму людини: натрій, калій, магній, кальцій, цинк, марганець, кобальт, мідь, молібден, селен. Накопичення мінеральних елементів вивчали на злакових та бобових культурах.

Дослідні зразки обробляли у штучних живильних середовищах розчинів неорганічних солей різних концентрацій досліджуваних металів. Через певний проміжок часу визначали концентрацію метаболізованих іонів металів. Ефект накопичення у зернобобових культурах мінеральних елементів визначали за їх різницею у вихідному живильному середовищі та після мінералізації з використанням атомно-абсорбційного методу.

Відомо, що різні види рослин характеризуються різним співвідношенням біохімічних компонентів клітинної оболонки, насамперед пектинових речовин і геміцелюлози, які визначають катіонообмінну здатність рослинних матеріалів та ступінь поглинання іонів металів із живильних середовищ.

На підставі цього у двох досліджуваних культурах – зерні пшениці та зерні кукурудзи послідовно вилучали функціональні групи і визначали здатність матеріалів до поглинання іонів марганцю зі штучних живильних середовищ із різними концентраціями металу.

Отримані результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Ефект поглинання іонів марганцю клітинними оболонками культур

| Варіант дослідження | Зерно пшениці | | | | Зерно кукурудзи | | | |
|-------------------------|---|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | Концентрація іонів марганцю, мг·екв·г ⁻¹ | | | | | | | |
| | 5 | | 500 | | 5 | | 500 | |
| | мг·екв·г ⁻¹ | ефект поглинання, % | мг·екв·г ⁻¹ | ефект поглинання, % | мг·екв·г ⁻¹ | ефект поглинання, % | мг·екв·г ⁻¹ | ефект поглинання, % |
| Контроль (цільне зерно) | 0,533 | 100 | 6,90 | 100 | 0,340 | 100 | 2,400 | 100 |
| Варіант 1 | 0,224 | 42 | 3,79 | 55 | 0,126 | 37 | 1,04 | 43 |
| Варіант 2 | 0,133 | 25 | 2,36 | 34 | 0,071 | 21 | 0,53 | 22 |
| Варіант 3 | 0,05 | 9 | 1,104 | 16 | 0,023 | 7 | 0,24 | 10 |

Примітка: варіант 1 – зерно з видаленими пектиновими речовинами; варіант 2 – зерно з видаленими пектиновими речовинами і геміцелюлозою; варіант 3 – зерно з видаленими пектиновими речовинами, геміцелюлозою та карбоксильними групами.

Дані таблиці дають інформацію про роль різних функціональних груп у поглинанні іонів марганцю із живильних середовищ. Так, видалення з клітинних оболонок пектинових речовин зменшує ефект поглинання іонів металу на 45% для зерна пшениці і на 57% для зерна кукурудзи. Додаткове вилучення геміцелюлози знижує загальний ефект поглинання, відповідно на 66% і 78%, а вилучивши карбоксильні групи, ми знизили цей показник на 84% для пшениці і на 90% – для кукурудзи.

Загалом поглинання іонів металів із живильних середовищ для зернових культур відбувається більш повно, ніж для бобових. Наприклад, із одних і тих же середовищ зерно пшениці поглинає іонів марганцю $6,9 \text{ мг} \cdot \text{екв} \cdot \text{г}^{-1}$, а зерно кукурудзи – лише $2,4 \text{ мг} \cdot \text{екв} \cdot \text{г}^{-1}$.

Тому для практичних умов використання запропонованого способу доцільно збагачувати мінеральними елементами саме зернові культури.

Успіхи координаційної хімії дали змогу за останнє десятиліття створити багато нових високоефективних лікарських засобів на основі сполук мінеральних елементів та органічних лігандів, і є надзвичайно перспективними у сфері розроблення оздоровчих продуктів. В останньому випадку найдоцільніше як ліганди використовувати природні органічні сполуки – амінокислоти, пептиди, карбонові кислоти, нуклеопротейди, фосфоліпіди та інші речовини, що містять електронно-донорні атоми. Добираючи метали й ліганди за принципом синергізму їхньої дії та біологічної ролі в живому організмі, можна створити сполуки з цілеспрямованою специфічною активністю та мінімальною токсичністю, що особливо важливо при отриманні сировини для продуктів оздоровчого призначення. Саме ці особливості координаційних сполук ми використали у проведенні досліджень з досягнення максимального ефекту накопичення мінеральних елементів у зерні.

З цією метою до штучних живильних середовищ вносили селен у вигляді селеніту натрію та селенометіоніну. Це дозволило встановити

залежність між видом сполуки, в якій селен перебуває у живильному середовищі, і ступенем його накопичення у зерні пшениці.

Отримані результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Ефект накопичення селену, введеного в різних формах, у зерні пшениці

| Концентрація селену у живильному середовищі, мкг% | Концентрація селену у зерні, мкг/кг сухої маси | |
|---|--|----------------|
| | Селеніт натрію | Селенометіонін |
| 5 | 2,6 | 3,8 |
| 50 | 4,2 | 6,4 |
| 100 | 8,5 | 14,8 |
| 150 | 9,4 | 87,0 |
| 500 | 87,6 | 290,0 |

Тобто, з органічної форми селен накопичується в зерні у концентраціях, що втричі переважають цей показник для неорганічної форми. Такі результати можна прогнозувати і при засвоєнні селену тканинами живого організму.

Тому науково обґрунтованим є збагачення будь-яких харчових середовищ мінеральними елементами в органічній формі, тобто в сполуках з амінокислотами, пептидами, органічними кислотами, білками, нуклеопротеїдами, фосфоліпідами.

Загалом йдеться про металоорганічні комплекси – один із основних типів сполук у біологічних системах, у тому числі в харчових середовищах. Особливо міцні комплекси утворюються за участі реакційно-здатних груп з негативним зарядом у бічних ланцюгах сполук. Наявність таких груп, наприклад, у гістидині, цистині, цистеїні робить їх найбільш сильними комплексонами серед амінокислот.

За літературними даними, здатність металів до утворення координаційних зв'язків різна: для іонів Na і K вона незначна; для іонів Ca і Mg – істотна; для іонів Mo, Mn, Fe, Cu, Co, Zn – максимальна.

Найбільш ґрунтовно вивчено стабільність металоорганічних комплексів для двовалентних металів. Відомо, що найкраще засвоюються

організмом людини солі двовалентних металів з лактозою – лактати кальцію, магнію тощо. Тому їх і рекомендовано використовувати при отриманні харчових продуктів з оптимальним вмістом кальцію та магнію.

Статистика свідчить про значний дефіцит мінеральних елементів у харчуванні сучасної людини. Він не має сезонної залежності і спостерігається впродовж року. Недостатність таких нутрієнтів, як йод, селен, кобальт, цинк, залізо, кальцій, магній характерний для ґрунтів практично на всій території України, що створює дефіцит їх надходження з харчовими продуктами і спонукає науковців до розроблення нових ефективних методів профілактики та лікування мікроелементозів.

Не менш важливим є питання підбору для збагачення харчових середовищ адекватних форм вітамінів для забезпечення максимального їх засвоєння живим організмом.

Як відомо, відкриття вітамінів і розвиток відповідної галузі знань йшло шляхом диференціювання різних каталітичних чинників харчування, тобто ізольованого вивчення кожної з таких сполук, високоспецифічних як за своїм хімічним складом, так і за характером біологічної дії.

Аналітичний метод у вітамінології був неминучим, необхідним і досить плідним етапом вивчення індивідуальних властивостей та біохімічних функцій вітамінів. Однак цілком очевидно, що у живій клітині, життєдіяльність якої регулюється численними чинниками, кожен вітамін не може здійснювати свої функції автономно. Функції, обмін, фізіологічна активність органів і тканин безпосередньо залежать від умов зовнішнього і внутрішнього середовища, від забезпеченості організму всією сумою необхідних вітамінів та інших біологічно активних речовин.

Тому уже в середині минулого століття постало питання вивчення умов оптимального, збалансованого впливу вітамінів на процеси життєдіяльності організму людини. Створення раціональних основ використання цих нутрієнтів є актуальним і для харчової промисловості, особливо при розробленні нових харчових продуктів з оптимальним вмістом тих чи тих

вітамінів. Виробництво збагачених вітамінами продуктів вимагає наукових підходів до проблеми глибокого біохімічного та фізіологічного аналізу всіх тих наслідків, до яких приводить використання різних вітамінів у певних пропорціях, певних композиціях (як між собою, так і з мінеральними сполуками), які в складі нових продуктів надходять в організм людини та включаються до метаболічних процесів у ньому.

Слід зазначити, що сам термін «вітамін» в даний час певною мірою втратив свою первинну визначеність, оскільки до числа вітамінів тепер умовно відносять цілий ряд харчових та ендогенних сполук (холін, інозит, ліпоева та оротова кислоти, біофлавоноїди та деякі інші), які споріднені з вітамінами саме ознакою високої біологічної активності у порівняно малих дозах.

Вітамінологія 50-70-х рр. минулого століття накопичила величезний обсяг фактичного матеріалу стосовно взаємодій різних вітамінів, вивчення їхніх функцій і механізмів дії в організмі тварин та людини. На особливу увагу заслуговують роботи В.Б. Спіричева, В.М. Позняковського, В.В. Єфремова; монографія Т. Теруань «Les interrelations vitaminiques» (1969); публікації в журналі «Современные вопросы совместимости витаминов». Відтоді в даній галузі зроблено багато важливих відкриттів, однак і досі значна кількість питань залишаються невивченими, а більшість сучасних досліджень в основному підтверджують наукові результати, отримані у зазначений період.

У цитованій уже роботі російських авторів [8] наведено цікаві результати клінічних досліджень динаміки зміни концентрації аскорбінової кислоти в плазмі крові добровольців при вживанні вітаміну С як у складі вітамінно-мінерального комплексу, так і як монопрепарат. Аналіз отриманих результатів показав, що вміст аскорбінової кислоти (АК) у крові добровольців зростає швидше при прийомі АК у чистому вигляді, ніж у складі вітамінно-мінерального комплексу, і досягає максимального значення через 2 год. Потім концентрація АК починає знижуватись внаслідок

виведення її з організму природним шляхом, однак і через 5 год. її вміст у крові залишається вищим, ніж у вихідному стані – на 137% більше при вживанні АК у чистому вигляді, і на 44% – при вживанні у складі комплексу.

З цих даних можна зробити висновок, що при збагаченні харчових середовищ вітамінами доцільнішим є використання аскорбінової кислоти в чистому вигляді. Більш низький ступінь засвоєння АК при використанні комплексних збагачувачів можна пояснити певними фізико-хімічними її взаємодіями з іншими вітамінами та мінеральними елементами, що входять до складу комплексів. Погіршення всмоктування вітаміну С з багатокомпонентних збагачувачів викликаються конкурентними взаємодіями за канали всмоктування в шлунково-кишковому тракті, які функціонують за участі ферментних систем [5]. І чим більше таких конкуруючих нутрієнтів, тим важче всмоктується кожен із них. Відомо, наприклад, що метали змінної валентності сприяють окисленню вітаміну С і знижують ступінь його засвоєння живим організмом. Саме такі метали і входять до складу вітамінно-мінерального комплексу «Селмевіт»: залізо (2,5 мг), мідь (0,4 мг), цинк (2 мг). Антагоністами аскорбінової кислоти у складі комплексу є також вітамін В₂ (1 мг) та вітамін В₁₂ (3 мкг).

Висновки. Єдиним безпечним способом корегування раціонів харчування населення України є збагачення традиційних харчових середовищ мінеральними елементами та вітамінами в оптимальній комбінації і оптимальних співвідношеннях. У медицині такий підхід називається «правилом дотримання рівноваги» і є фундаментальним поняттям. Розуміння ролі координаційних сполук, зокрема металоорганічних комплексів, у біосистемах може служити ключем для створення нових ефективних біологічно активних добавок до їжі, широкого спектру оздоровчих продуктів і функціональних інгредієнтів. При виробництві оздоровчих продуктів з оптимальним вмістом вітамінів для підвищення ступеня засвоюваності живим організмом їх необхідно використовувати або у чистому вигляді, або у формі комплексів із доведеним ефектом синергічної дії. Використання

композицій нутрієнтів-антагоністів, які ослаблюють дію один одного і перешкоджають засвоєнню на рівні шлунково-кишкового тракту, недоцільно ні з медико-біологічної, ні з технологічної, ні з економічної точок зору.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Коденцова В.Н.* Обоснование уровня обогащения пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами / Коденцова В.Н., Вржезинская О.А., Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н. // Вопросы питания. – 2004. – Т. 79. – №1. – С. 23-33.
2. *Пищевая химия* / под ред. А.П.Нечаева. – СПб : ГИОРД, 2007. – 640 с.
3. *Safety of the food chain* [Electronic resource] // Discussion Paper on the setting of maximum and minimum amounts for vitamins and minerals in foodstuffs. June 2006 / Directorate E. – Access regime : <http://ec.europa.eu/food/food/labellingnutrition/supplements/>.
4. *Лысикова С.Л.* Эффективность антиатерогенной диеты, содержащей флавоноиды, у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями / Лысикова С.Л., Погожева А.В., Акользина С.Е. // Вопросы питания. – 2003. – №3. – С. 8-11.
5. *Витамины и микроэлементы в клинической фармакологии* / под ред. В.А.Тутельяна. – М. : Наука, 2001. – 560 с.
6. *Rao, B.S.* Fortification of Common Salt with Iron. Effect of Chemical Additives on Stability and Bioavailability / Bert Rao // Am. J. Chem. Nutr. – 2005. – №1. – P. 395-401.
7. *Шатнюк Л.Н.* Научные основы новых технологий диетических продуктов с использованием витаминов и минеральных веществ : дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук / Л.Н. Шатнюк. – М., 2000. – 314 с.
8. *Асланян Н.В.* Динамика концентрации витамина С и селена в плазме крови добровольцев / Асланян Н.В., Голубкина Н.А., Хотимченко С.А. // Вопросы питания. – 2000. – №4. – С. 9-17.

Технологические аспекты повышения биодоступности основных функциональных нутриентов

На основании литературных и экспериментальных исследований установлена зависимость биодоступности витаминов и минеральных элементов в организме человека от формы использованных нутриентов, что требует научно обоснованных подходов при обогащении ими пищевых сред. В частности, обогащение сред аскорбиновой кислотой требует ее введения в виде монопрепарата либо в сочетании с другими биологически активными веществами синергического действия; эффект накопления минеральных элементов в органической форме в растительных материалах возрастает в несколько раз по отношению к неорганической.

Ключевые слова: биодоступность, усвояемость, синергизм, биотрансформация, минерализация, металлоорганические комплексы.

G. Simakhina

Technological aspects of raising the bioavailability of the main functional ingredients

The dependence of vitamins' and mineral elements' bioavailability on the form of used ingredients was affirmed on the base of literary and experimental data. There was concluded that this process requires working out the scientifically proves approaches to use the organic substances to enrich the food environments. Particularly, enriching the environments with ascorbic acid foresees its introduction as a mono preparation or in composition with other biologically active substances that have a synergic action. The effect of accumulation of the organic form of mineral elements in plant raw materials grows in several times relatively to those non-organic.

Keywords: bioavailability, absorption, synergism, biotransformation, mineralization, metal and organic complexes.

Одержано редколегією 26.02.2013 р.