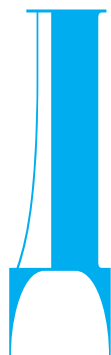


MAGNESIUM CITRATE, OBTAINED ON THE BASIS OF AQUANANOTECHNOLOGY: CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS

Gulich M.P., Kharchenko O.O., Yemchenko N.L., Yermolenko V.P., Moiseienko I.Ye.

ЦИТРАТИ МАГНІЮ, ОТРИМАНІ ЗА АКВАНАНОТЕХНОЛОГІЄЮ: ХІМІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКИ



**ГУЛІЧ М.П.,
ХАРЧЕНКО О.О.,
ЄМЧЕНКО Н.Л.,
ЄРМОЛЕНКО В.П.,
МОІСЕЄНКО І.Є.**

ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України", м. Київ

УДК 613.2 : 661.8 .745 : 544.77

Ключові слова:
аквананотехнологія,
біогенні метали,
карбоксилати, цитрат
магнію, хімічна
чистота, біодоступність.

Для подолання дефіциту макро- і мікроелементів у раціоні людини пропонується застосування дієтичних добавок (ДД) та збагачення цими мінеральними речовинами харчових продуктів масового споживання: молока, хліба, напоїв тощо [1]. Останній з цих рівноцінних варіантів адресований широкому загалу населення і тому дає надію на більш швидке вирішення проблеми. Проте при цьому постає низка питань, що потребують грамотного вирішення. Це вибір рівнів збагачення, вибір фізико-хімічних форм збагачувальних компонентів, а також дотримання вимоги біотичності харчування (їжа як елемент навколишнього середовища не повинна забруднювати внутрішнє середовище нашого організму ксенобіотиками і, насамперед, речовинами хімічного походження [2]).

Цитрати біометалів безпечні. Більше того, вони проявляють антиоксидантну і радіопротекторну дію, позитивно впливають на серцево-судинну та імунну системи організму, тому ці сполуки найбільш повно відповідають вимогам, які пред'являються до інгредієнтів у складі продуктів харчування [3]. Мінеральні речовини у вигляді цитратів дозволені до використання у

харчових продуктах, у тому числі продуктах дитячого харчування.

Але цитрати металів, отримані класичними методами, не завжди відповідають вимогам чистоти, які ставляться до харчових інгредієнтів, а технології їх отримання трудомісткі і дорогі.

Наразі для збагачення харчових продуктів мікро- і макроелементами використовують їхні неорганічні сполуки, які характеризуються низькою біодоступністю і засвоюються організмом у незначній кількості.

За останніми даними, такий надзвичайно важливий для життєдіяльності організму людини мікроелемент, як магній всмоктується у кишківнику людини лише у вигляді хелатних (комплексних) сполук. Відомо, що органічні кислоти, які утворюють з біогенними металами добре розчинні комплексні сполуки, значно збільшують біодоступність їх. А солі магнію з лимонною кислотою — цитрати з усіх хелатних сполук — засвоюються найкраще [4, 5].

У попередній роботі [6] нами було показано, що дешевше цитрати біометалів (у тому числі й цитрат магнію) у промислових масштабах можуть бути отримані за допомогою аквананотехнології [7]. При

ЦИТРАТЫ МАГНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО АКВАНАНОТЕХНОЛОГИИ: ХИМИЧЕСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Гулич М.П., Харченко О.О., Емченко Н.Л., Ермоленко В.П., Моисеенко И.Е.

Целью работы было изучение состава, свойств, токсикологических и биологических характеристик наноцитрата магния, а также оценка перспективности и целесообразности его использования для обогащения пищевых продуктов магнием.

Объекты исследования: цитраты магния, полученные по нанотехнологии, и неорганическое соединение — сульфат магния.

Материалы и методы. Для определения составляющих наноцитратов использовали комплексонометрическое титрование с различными металлохромными индикаторами. Определение микрограммовых количеств магния проводили методом атомной абсорбции; количество лимонной кислоты — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Для определения степени

химической чистоты использовали метод спектрального анализа.

Результаты. Приведены данные сравнительного анализа химической чистоты цитрата магния и его неорганических соединений. Проведена оценка токсичности наноцитратов и сравнение биодоступности магния в составе наноцитратов и сульфата магния. Показано, что при условии нормальной стехиометрии комплексов либо избытка лимонной кислоты цитраты, полученные по нанотехнологии, идентичны обычным цитратам. Установлено, что они нетоксичны, лучше усваиваются, чем их неорганические аналоги, кроме того, химически более чистые, чем классические цитраты магния. Сделан вывод о перспективности и целесообразности использования цитрата магния, полученного по нанотехнологии, для обогащения пищевых продуктов магнием с целью преодоления его дефицита.

Ключевые слова: аквананотехнология, биогенные металлы, цитрат магния, химическая чистота, биодоступность.

© Гулич М.П., Харченко О.О., Емченко Н.Л., Ермоленко В.П., Моисеенко И.Е. СТАТТЯ, 2014.

№ 4 2014 ENVIRONMENT & HEALTH 14

цьому отримуються більш хімічно чисті солі лимонної кислоти. За умови надлишку (хоча б невисокого) всі високоактивні аквананочастинки металу повністю реагують з кислотою. Таким чином, отримані наночитрати вже не повинні містити вільних аквананочастинок. Гарантією відсутності таких часточок є й те, що при підкисленні розчину з аквананочастинками металу останні "розкриваються", скидаючи свої гідратні оболонки, перетворюючись на звичайні катіони металу.

Наведений спосіб отримання цитратів металів більш дешевий, ніж хімічний і дозволяє вийти на промислові обсяги виробництва.

При цьому необхідно розуміти, що за аквананотехнологією отримується розчин цитратів. І це зовсім новий, незвичний ні для аналітиків, ні для гігієністів, ні для технологів об'єкт. Так, отримані розчини не мають постійного складу (стехіометрії): можуть містити як надлишок лимонної кислоти, так і надлишок металу. Концентрація їх варіює у досить широких межах залежно від параметрів фізичного процесу. Тобто отримані сполуки цитратами можна назвати тільки умовно.

Метою роботи було вивчення складу, властивостей, токсикологічних та біологічних характеристик наночитрату магнію та оцінка перспективності використання його для збагачення продуктів харчування.

Предметом дослідження були наночитрати магнію, отримані за аквананотехнологією та неорганічна сполука — сульфат магнію.

Методи визначення компонентів розчинів наночитратів магнію. Згідно з розробленим нами алгоритмом дослідження наночитратів [6] обрано, модифіковано та опрацьовано методи визначення компонентів розчинів наночитратів магнію. Оскільки розчини цитрату магнію, отримані за аквананотехнологією, досить концентровані (2-4 г/дм³), для визначення у них

металу нами обрано дешевий, доступний і експресний метод комплексонометричного титрування. Титрування його здійснювали динатрієвою сіллю етилендіамінтетраоцтової кислоти (комплексон, трилон Б) у присутності металохромних індикаторів. Визначення мікрограмових кількостей магнію у біоматеріалах проводили за методом атомної абсорбції на ААС "Сатурн". Для визначення лимонної кислоти як базовий метод нами прийнято метод високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ). Визначення проводили за розробленою нами методикою на рідинному хроматографі Agilent Technologies-1200 з УФ-детектором. Умови визначення: довжина хвилі (λ) — 210 нм; колонка SB-C 18; 150 мм x 4,6 мм x 5 р.к.м., $t_{\text{кол}} = 35^\circ\text{C}$, $F_{\text{low}} = 1,0$ мл/хв. Стандарт — харчова лимонна кислота. Рухомі фази: 99% — 20 м МКН₂РO₄, 1% — ацетонітрил. Вихід піку на 3,4 хв.

Для встановлення ступеня чистоти отриманих наночитратів магнію їх висушували за температури 105°C і аналізували на вміст домішок методом емісійного спектрального аналізу на спектрографі "ИСП-28". Сушу речовину поміщали у кратер графітового електроду діаметром 3,8 мм і глибиною 5 мм і спалювали в активізованій дузі перемінного струму. Час експозиції — до вигорання проби. Розшифрування спектрів проводили на спектропроекторі ДСП-1 за допомогою атласу спектральних ліній. Кадмій і свинець визначали у розчинах ци-

тратів, отриманих з допомогою аквананотехнології, методом інверсійної вольтамперометрії на аналізаторі АВА-1 за стандартною схемою [8]. Результати перераховували на суху наважку (г/100 г наважки).

Результати дослідження. На прикладі наночитрату цинку нами було розроблено методологію дослідження таких об'єктів [6], яка передбачала пошук їхніх аналогів серед відомих сполук, пошук і опрацювання відповідних методів дослідження, зокрема визначення складників розчинів наночитратів, встановлення за їхньою допомогою складу і хімізму наночитратів, вивчення їхньої біодоступності та хімічної чистоти.

Як вже згадувалося, розчини цитратів магнію, отримані за аквананотехнологією, досить концентровані, тому для визначення у них металу ми обрали метод комплексонометричного титрування. Оскільки точність цього методу в основному залежить від правильного вибору металохромного індикатора, було проведено порівняльне титрометричне визначення досліджуваних зразків розчинів цитратів магнію з різними металохромними індикаторами у слабкислому і лужному середовищах. Умови та особливості комплексонометричного визначення магнію у наночитратах та результати визначення концентрації магнію представлено у таблицях 1 та 2.

Як видно з представлених даних, найбільш точним є титрування з індикатором "кислотний хром темно-синій". У подаль-



ПРОБЛЕМИ ГІГІЄНИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Таблиця 1

Умови та особливості комплексонометричного визначення магнію у наночитратах

| Індикатор | Склад індикатора | Умови титрування | Перехід забарвлення у точці еквівалентності |
|--|---|---|---|
| Еріохром чорний Т | Суша суміш ЕХЧ з NaCl 1:100, розтерта у ступці | РН 9-10 (амонійний буфер), нагрів до 50°C | Бордово-червоний — чистий синій |
| Еріохром чорний Т + метиловий червоний | Суша суміш ЕХЧ 0,7 г + метиловий червоний 0,3 г з 200 г NaCl, розтерта у ступці | РН 9-10 (амонійний буфер), нагрів до 50°C | Червоний — чистий зелений |
| Кислотний хром темно-синій | 0,1 % водний розчин | РН 9-10 (амонійний буфер), без нагрівання | Бордовий — синьо-фіолетовий |

ших розрахунках фігуруватиме саме концентрація наноцитратів, визначена цим способом.

За аналог наноцитрату магнію прийняли комплекс магнію з лимонною кислотою, який у слабкокислому середовищі характеризується співвідношенням компонентів, рівним 1:1, має вигляд одноосновної кислоти і відповідає формулі $[MgCit]^-$. Як свідчать дані літератури, цей комплекс відносно нестійкий. pK його = 3,2. Це, з одного боку, добре, оскільки в організмі (його клітині) магній легко вивільняється і вступає у подальші метаболічні перетворення, зв'язуючись з іншими лігандами, що забезпечує його регулятивну функцію для багатьох систем організму. З іншого боку, для більшої закомплексованості магнію у вигляді цитрату, що гарантує успішність його транспорту у клітину, потрібен надлишок лимонної кислоти.

Для встановлення стехіометрії комплексів цитратів магнію в отриманих розчинах необхідно було визначити у них вміст лимонної кислоти.

Встановлено, що лимонна кислота і цитрати виходять на хроматограмі одним піком, не розділяючись. Сульфати металів на хроматограмах не проявляються. Тобто визначається

тів 5,6% задовольняє умовам, що ставляться до кількісного аналізу).

Результати визначення масового співвідношення компонентів розчинів цитрату магнію, отриманого за аквананотехнологією, представлено у таблиці 4.

Розраховане масове співвідношення між $[Mg] : [Cit^-]$ у цитраті магнію, синтезованому хімічним шляхом, складає 1 : 8 (М.в. $Cit^- = 192$; М.в. $Mg = 24$). З наведеного видно, що у зразках Mg_1 і Mg_4 співвідношення $[Mg] : [Cit^-]$ відповідає розрахунковому. У зразок Mg_3 було додано надлишок лимонної кислоти. Проте у зразку Mg_2 лимонної кислоти не вистачає для повної закомплексованості металу. Якесь частинка магнію при цьому може залишатись у вигляді аквананочастинок, що небажано. Порівнюючи стехіометрію цитратів з їхнім рН, можна рекомендувати виробникам не перевищувати у процесі отримання наноцитратів рН 4,8.

Загалом складові наноцитрату магнію у хімічних реакціях поводити себе так само, як і складові цитрату магнію, отриманого хімічним синтезом, а сама досліджувана сполука за умови співвідношення $[Mg] : [Cit^-]$, рівного 1 : 8 і більше, є звичайним цитратом.

Результати дослідження хімічної чистоти наноцитратів магнію наведено у таблиці 5.

З представлених даних можна зробити висновок, що за металами, які визначаються спектральним методом, чистота сухих солей цитрату магнію, отриманих за аквананотехнологією, як правило, становить 99,9%, що відповідає маркам "ОСЧ" — особливо чистий. Наведені дані свідчать, що у висушених зразках наноцитратів сторонні домішки присутні в основному у тисячних частках відсотка. Загальний вміст їх для наноцитрату магнію перебуває у межах 0,03-0,13%.

Чистота наноцитратів магнію набагато вища за чистоту купного цитрату магнію фірми Chemapol, вміст основної речовини в якому становить 71,0%, кваліфікація "pure" — чистий (найнижча). У 1990-х роках фірма Мерк випускала цитрат магнію кваліфікації "extra pure, food grade" — особливо чистий і харчовий, але вміст основної речовини у ньому не вказано. У каталогах Aldrich цитрат магнію вже не зустрічається.

Загалом вміст домішок у зразках сухих наноцитратів магнію корелює з даними сертифікатів якості на їхні складники: металічний магній (марки МГ-90, сертифікат № 32-24 від 30.09.2008) та харчову лимонну кислоту виробництва Китаю, не перевищуючи їх. Можна припустити з високою вірогідністю, що забрудненість наноцитратів формується саме лимонною кислотою, оскільки для зразків наноцитратів з більшим вмістом лимонної кислоти зафіксовано відносно менший вміст основної речовини і більший — домішок.

Проведена ідентифікація та дослідження хімічних властивостей наноцитратів магнію дозволили зробити висновок про їх ідентичність звичайним його цитратам. Причому найперспективнішими щодо підвищення біодоступності магнію є розчини цитратів з невисоким надлишком лимонної кислоти, що сприяє кращій закомплексованості металу, а також і їх всмоктуванню у шлунково-кишковому

Визначення магнію у зразках його наноцитратів

| Індикатор | Знайдено магнію, $(M \pm m)$, г/дм ³ | S, г/дм ³ | σ , г/дм ³ | Похибка, % | Примітки |
|----------------------------|--|----------------------|------------------------------|------------|----------------------------------|
| ЕХЧ | 4,13 ± 0,21 | 0,242 | 0,092 | 2,20 | Перехід забарвлення затягнутий |
| ЕХЧ + метиловий червоний | 4,2 ± 0,12 | 0,136 | 0,051 | 1,21 | Перехід забарвлення затягнутий |
| Кислотний хром темно-синій | 4,44 ± 0,06 | 0,070 | 0,026 | 0,59 | Перехід забарвлення більш чіткий |

Таблиця 2

Результати валідації методу високоефективної рідинної хроматографії з визначення лимонної кислоти

| Концентрація стандарту, мг/см ³ | | S, мг/см ³ | S ₂ , % | Збіжність, $r=2.8 \cdot S$ мг/см ³ | Похибка, % |
|--|--------------|-----------------------|--------------------|---|------------|
| Введено | Знайдено | | | | |
| 23,60 | 23,60 ± 1.61 | 1,324 | 5,61 | 3,70 | 6,8 |

Таблиця 3

сумарно вільна і зв'язана лимонна кислота.

Проведено валідацію хроматографічного методу на стандартному зразку лимонної кислоти за площею її піка. Результати її представлено у таблиці 3.

Як видно з таблиці, метод точний і достатньо прецизійний (відтворюваність результа-

Результати визначення масового співвідношення компонентів у наноцитратах магнію

| Зразок | Концентрація магнію, г/дм ³ | Концентрація цитрат-іону, г/дм ³ | Масове співвідношення $[Mg] : [Cit^-]$ | pH |
|-----------------|--|---|--|------|
| Mg ₁ | 4,44 ± 0,32 | 37,93 ± 0,05 | 1 : 8,5 | 4,50 |
| Mg ₂ | 3,11 ± 0,60 | 21,12 ± 0,20 | 1 : 6,8 | 5,05 |
| Mg ₃ | 4,34 ± 0,43 | 64,22 ± 0,02 | 1 : 15,32 | 3,87 |
| Mg ₄ | 2,47 ± 0,10 | 19,22 ± 0,10 | 1 : 7,98 | 4,83 |

Таблиця 4

MAGNESIUM CITRATE, OBTAINED ON THE BASIS OF AQUANANOTECHNOLOGY: CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS

Gulich M.P., Kharchenko O.O., Yemchenko N.L., Yermolenko V.P., Moiseienko I.Ye.

The objective of the work was to study the composition, properties, and chemical purity of magnesium nanocitrate; to obtain the toxicological and biological characteristics.

Research objects. Solutions of magnesium citrate, produced by aqua nanotechnology, and inorganic compound - sulphate of magnesium. **Materials and methods:** a method for chelatometric titration with the acidic chromium dark blue as an indicator was taken for the determination of magnesium. Citrate-ion was determined by the HELC method. Determination of magnesium in biomaterial was performed by the atomic-absorption method. Assessment of chemical purity of these citrates performed of spectral analysis.

Results. Chemism of citrate, produced by nanotechnology, complied with the same of typical magnesium citrate. Spectral analysis of the compounds, extracted from the solutions, for the determination of the content of Si, Al, Cu, Fe, Ca, Cr, Ti, Mn, and Ni in them and also a voltamperometric

determination of Pb and Cd in them showed that total content of these nanocitrates of admixtures varied from 0.03 up to 0.13%, that allowed to qualify them as "ultra pure". Comparative study of magnesium nanocitrate and its sulphate had been performed on the white mice at the intragastric administration of these substances, containing magnesium in a dose corresponding their daily need, during 14 days showed that its level was authentically higher (by 10-40%) practically in all samples of organs and tissues (especially of bone tissue) of the experimental animals than in the samples obtained from the mice which were administrated $MgSO_4$ solution. That testified about higher assimilability of this metal from its nanocitrate. Thus we have determined that magnesium nanocitrate close to the typical citrates by stoichiometry doesn't differ from them by chemism and reaction ability. They are not toxic, chemical cleaner in comparison with the commercial magnesium citrate, differ of larger biological availability and therefore can be used for the enrichment of the foodstuffs with magnesium. **Keywords:** aquanotechnology, biogenic metals, magnesium citrate, chemical purity, bioavailability.

тракті і переносу у клітину.

Для дослідження поведінки комплексу цитрату магнію, отриманого за аквананотехнологією, у живому організмі було обрано зразок магнію, який за співвідношенням компонентів був найбільш близьким звичайному цитрату

Етапом біологічного дослідження була оцінка токсичності і ступеня накопичення магнію в організмі дослідних тварин при надходженні його з органічної сполуки — наноцитрату магнію — і неорганічної його сполуки — сульфату.

Токсикологічні дослідження проводили на білих безпородних щурах і білих мишах (по 6 щурів і 7 мишей у групах). Визначали параметри гострої токсичності наноцитрату магнію (розчин концентрації 7 г/дм³) при пероральному надходженні до організму щурів. Контрольна група отримувала загальновіварний раціон. Гостру токсичність визначали шляхом одноразового внутрішньошлункового введення "нативного" розчину у максимально можливого для введення об'ємі, що складає 5 см³. При цьому доза речовини становила 140 мг/кг. Щури отримали по 35 мг магнію наноцитрату, що у 100 разів перевищує їхню добову потребу у цьому елементі, яка для щура масою 250 г становить 1,4 мг (відповідно до добової потреби людини).

За тваринами спостерігали 14 діб, фіксували загальний стан, особливості поведінки, рухову активність, координацію рухів.

У дещо іншому варіанті експеримент було проведено на білих мишах з масою тіла 30 г. Гостру токсичність визначали шляхом щоденного і протягом 12 днів внутрішньошлункового введення "нативних" розчинів по 0,5 см³. Кожна тварина отримувала по 3,5 мг магнію із його наноцитрату, що перевищує їхню добову потребу у цьому елементі у 20 разів (доза — 16 мг/кг).

Протягом періоду спостереження у жодній групі ознак отруєння не виявлено, зовнішній стан і поведінка дослідних тварин нічим не відрізнялися від контрольних. На жаль, досліди-

ти вплив на організм щурів більш високих доз наноцитрату магнію не було можливості з технічних причин. Так, за аквананотехнологією неможливо отримати розчини цитратів більш високої концентрації, з іншого боку, неможливо ввести щурам більший об'єм рідини.

Порівняльне дослідження біодоступності наноцитратів магнію і сульфату магнію проводили на 3-х групах білих мишей, по 7 тварин у кожній. Перші дві групи тварин отримували внутрішньошлунково магній у складі наноцитрату і сульфату у дозі, що відповідала добовій потребі лю-

Таблиця 5
Вміст домішок та основної речовини у зразках наноцитратів магнію

| Домішка | Вміст домішок у зразках, % | | | |
|--------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Mg ₁ | Mg ₂ | Mg ₃ | Mg ₄ |
| Si | ≈0,001 | ≈0,001 | ≈0,01 | 0,001 |
| Al | ≈0,005 | ≈0,005 | ≈0,005 | <0,005 |
| Cu | <0,001 | ≈0,00 | ?0,005 | ≈0,001 |
| Fe | ≈0,001 | 1 ≈0,001 | ≈0,005 | 0,001 |
| Ca | ≈0,005 | 0,001 | <0,01 | 0,005 |
| Cr | <0,0001 | <0,0001 | ≈0,0001 | <0,0001 |
| Ti | 0,005 | <0,005 | ≈0,01 | 0,0005 |
| Mn | 0,005 | <0,005 | ≈0,005 | ≈0,005 |
| Ni | ≈0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | - |
| As | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Cd | 0,0002 | 0,0003 | 0,0007 | 0,0003 |
| Pb | 0,005 | 0,004 | 0,02 | 0,004 |
| Σ мет | 0,00285 | 0,0326 | 0,071 | 0,023 |
| Σ немет.* | 0,055 | 0,055 | 0,055 | 0,055 |
| Σ загальна | 0,0835± 0,0029 | 0,0361± 0,0034 | 0,1260± 0,0050 | 0,0285± 0,0053 |
| Основна речовина,% | 99,92±0,01 | 99,91±0,01 | 99,87±0,02 | 99,92±0,02 |

дини у перерахунку на масу мишей (30 г). Контрольній групі мишей замість розчинів солей магнію вводили еквівалентну кількість води. Експеримент проводили 14 днів. Після забивання тварин визначали кількість магнію в їхніх органах та тканинах: печінці, нирках, мозку, серці, м'язах і кістках. Для цього біооб'єкти піддавали сухій мінералізації з наступним розчиненням мінералізату у 0,4 N HCl визначали атомно-абсорбційним методом.

Для висновку щодо достовірності відмінностей в органах та кістках різних груп дослідних тварин визначали коефіцієнти кореляції між двома виборками. Результати дослідження представлені на рисунку.

Як видно з представлених даних, вміст магнію практично в усіх зразках органів і кістках мишей, які отримували його наноцитрат, був достовірно вищим (загалом на 10-30%) від таких саме зразків, отриманих від мишей, яким вводили сульфат магнію. Особливо велика різниця у накопиченні магнію у кістках мишей. Це свідчить про вищу засвоюваність цитратного магнію, тобто його біодоступність. Загалом отримані результати за вмістом магнію у біологічному матеріалі (найбільший вміст його зафіксовано у кістках) корелюють з даними літератури [4].

Висновки

За допомогою розроблених нами методичних підходів до дослідження розчинів цитратів біогенних металів, отриманих за аквананотехнологією, встановлено, що наноцитрати магнію близькі за стехіометрією цитрату магнію, отриманому методом хімічного синтезу, не відрізняються від нього хімізмом і реакційною здатністю. Вони є розчинами звичайного цитрату магнію і можуть бути використані у

харчовій промисловості.

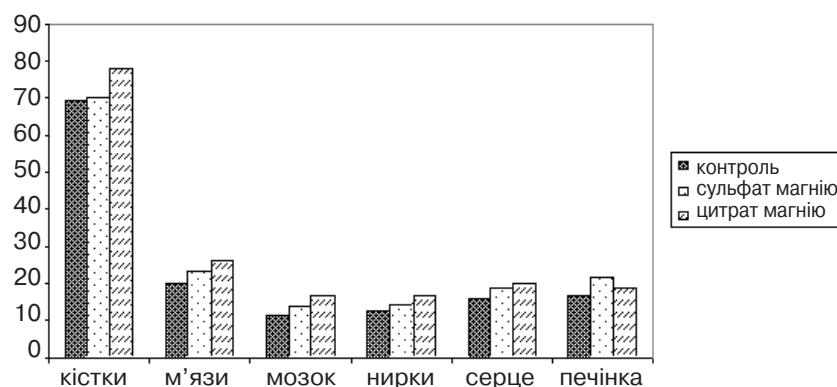
Показано, що цитрати магнію, отримані за аквананотехнологією, містять менше неорганічних домішок, хімічно більш чисті, ніж реактиви у продажу. Експеримент на тваринах (щурах і мишах) свідчив про нетоксичність наноцитрату магнію у 100-кратній агровації (максимально можливої за даних умов). Разом з цим в експерименті на білих мишах було доведено, що біодоступність магнію у складі його наноцитрату була вищою, ніж біодоступність його неорганічної форми — сульфату магнію. Усе це свідчить про доцільність і перспективність використання цитрату магнію, отриманого за аквананотехнологією, для збагачення цим макроелементом харчових продуктів щоденного споживання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Спиричев В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В.Б. Спиричев, Л.Н. Шатнюк, В.М. Позняковский. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2004. — 547 с.
2. Бацукова Н.Л. Современные проблемы питания человека / Н.Л. Бацукова, В.П. Филонov, А.Р. Аветисова // Здоровье и окружающая среда. — 2008. — Вып. 12. — С. 8-14.
3. Чекман І.С. Магнійвмісні препарати: фармакологічні властивості, застосування / І.С. Чекман. — Запоріжжя — Київ, 2007. — 123 с.
4. Ребров В.Г. Магний / В.Г. Ребров, О.А. Громова // Витамины и микроэлементы. — М., 2003. — С. 403-435.
5. Алешин С.В. Вещества жизни: кальций, магний и витамин D. — М., 2004. — 159 с.
6. Цитрат цинку, отриманий за аквананотехнологією: хімічна та біологічна характеристика (оцінка хімічної чистоти та біологічної доступності) / М.П. Гуліч,

Рисунок

Результати визначення біодоступності магнію при його надходженні з наноцитратів та сульфатів



Н.Я. Ємченко, Л.А. Томашевська та ін. // Довкілля і здоров'я. — 2011. — № 2. — С. 45-49.

7. Патент України № 37412. Спосіб отримання екологічно чистих наночастинок електропровідних матеріалів "Електроімпульсна абляція". — МПК ВОj 2/02. Опубл. 25.11. 2008. Бюл. № 22.

8. Методика выполнения измерений содержания кадмия, свинца, меди в водных растворах инверсионными электрохимическими методами : МБВ № 081-12/05-98. — Санкт-Петербург, 1998.

REFERENCES

1. Spirichev V.B., Shatniuk L.N., Pozniakovskii V.M. Obogashchenie pishchevykh produktov vitaminami i mineralnymi veshchestvami. Nauka i tekhnologiya [Food Fortification with Vitamins and Minerals. Science and Technology]. Novosibirsk : Sibirskoie universitetskoie izdatel'stvo; 2004 : 547 p. (in Russian).
2. Batsukova N.L., Filonov V.P., Avetisova A.R. Zdorovie i okruzhaiushchaia sreda. 2008; 12 : 8-14 (in Russian)
3. Chekman I.S. Magniivmisni preparaty: farmakolohichni vlastyosti, zastosuvannia [Magnesium Containing Drugs: Pharmacological Properties, Applications]. Zaporizhzhia — Kyiv; 2007 : 123 p. (in Ukrainian)
4. Rebrov V.G., Gromova O.A. Magnii [Magnesium]. In : Vitaminy i mikroelementy [Vitamins and Trace Elements]. Moscow; 2003 : 403-435 (in Russian)
5. Aleshin S.V. Veshchestva zhizni: kaltsii, magnii i vitamin D [Substances for Life: Calcium, Magnesium and Vitamin D]. Moscow; 2004 : 159 p. (in Russian)
6. Hulich M.P., Yemchenko N.Ya., Tomashevskaya L.A., Kaplunenko V.G., Yermolenko V.P., Kosinov M.V. et al. Dovkillia i zdorovia. 2011; 2 : 45-49 (in Ukrainian).
7. Kaplunenko V.G., Kosinov M.V. Sposib otrymannia ekolohichno chystykh nanochastynok elektroprovodnykh materialiv "Elektroimpulsna abliatsiia" [Method of Producing Environmentally Friendly Nanoparticles of Electroconductive Materials "Electroimpulse ablation"] : Pat. № 37412 UA; MPK ВОj 2/02.; Publ. 25.11. 2008; Bul. № 22 (in Ukrainian).

8. Metodika vypolneniia izmerenii sodержaniia kadmiia, svintsa, medi v vodnykh rastvorakh inversionnymi elektrokhimicheskimi metodami : МБВ № 081-12/05-98 [Methods of Measurement of Cadmium, Lead, Copper in Aqueous Solutions by Inversion Electrochemical Methods]. Sankt-Peterburg; 1998. (in Russian)

Надійшла до редакції 18.03.2014