

1.2 НАУКОВІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОГО СПОСОБУ СПРЯМОВАНОГО ЗБАГАЧЕННЯ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ МАГНІЄМ

*Кочубей-Литвиненко О. В., канд. техн. наук, доцент,
директор Навчально-наукового інституту харчових технологій НУХТ*

Національний університет харчових технологій

Молочна сироватка небагата на магній – в середньому вона містить його 10...12 мг/100 г сироватки [1]. До того ж, внаслідок мембранних методів оброблення й електродіалізу, що останнім часом набули широкого застосування під час перероблення сироватки, нарівні з необхідним видаленням одновалентних іонів спостерігається зниження його вмісту [2]. Оскільки магній відносять до життєво необхідних мікроелементів [3], він є необхідною складовою частиною всіх клітин і тканин, беручи участь разом з іонами інших елементів у збереженні іонної рівноваги рідких середовищ організму; входить до складу ферментів, пов'язаних з обміном фосфору і вуглеводів; активує фосфатазу плазми й кісток, бере участь у процесі

нервово-м'язової збудливості. За зниження концентрації магнію в крові спостерігаються симптоми збудження нервової системи, аж до судом. Дефіцит магнію характерний для вагітних, людей з високою фізичною активністю, дітей та людей, що перебувають у стресових ситуаціях [4]. Фізіологічна потреба для дорослих – 400 мг/добу, для дітей – від 55 до 400 мг/добу.

Окрім біологічної, важливою є технологічна роль магнію, який можна розглядати як чинник інтенсифікації процесів бродіння і ферментації [5–8], до того ж, сполуки магнію (MgO , $Mg(HCO_3)_2$, $MgCO_3$) відносять до харчових добавок, що попереджають злежування та грудкоутворення [9].

Зазначене вказує на актуальність збагачення молочної сироватки та продуктів її перероблення цим біоелементом.

Поповнення дефіциту мінеральних речовин у харчових продуктах і покращення функціонально-технологічних властивостей продовольчої сировини, як правило, відбуваються за рахунок внесення солей неорганічних кислот. Однак більшість відомих препаратів погано розчиняються у воді, мають неприємний гіркий смак, що може негативно вплинути на органолептичні властивості харчових продуктів і є неприпустимим відповідно до вимог збагачення харчових продуктів [3, 10]. До того ж, магній у неорганічних сполуках має низьку біологічну доступність, а, як відомо, до основних ознак біоелементів відносять саме їх високу засвоюваність та відповідну форму знаходження в організмі [3]. Тому актуальним є пошук нових способів та форм збагачення продовольчої сировини мінеральними речовинами.

Дослідження в галузі нанотехнологій доводять, що фактором впливу на підвищення біологічної активності мінеральних елементів є розмір частинок [11]. Сучасні наукові досягнення відкривають широкі перспективи для виробництва та використання нових форм нанопрепаратів біогенних металів, зокрема у вигляді гідратованих чи цитратованих наночастинок металів, отриманих внаслідок електрофізичних способів оброблення, а саме: ерозійно-вибухової нанотехнології та електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів [12–13].

Протягом останніх десяти років препарати біогенних металів, створені із залученням нанотехнологій, починають використовувати в медицині, ветеринарії, рослинництві, при виробництві косметичної та харчової продукції [14–17]. Водночас використання нанотехнологій і наноматеріалів у харчовій промисловості потребує вирішення низки медико-біологічних проблем [18].

Застосування водних колоїдних розчинів металів у технології молочних продуктів, особливо молочних концентратів, нераціональне з огляду на додаткове додавання води. Перспективним у цьому напрямі є вивчення доцільності збагачення молочної сироватки магнієм під час електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металу безпосередньо в її середовищі. Оброблення молочної сироватки в такий спосіб забезпечить її збагачення цінними елементами, що здатні утворювати метало-лігандові комплекси з компонентами молочної сироватки, а це сприятиме підвищенню їх біологічної доступності та, власне, дасть можливість класифікувати їх як біоеlementи [3–4].

На підставі зазначеного можна зробити висновок про перспективність дослідження диспергувального ефекту, що виникає під час реалізації електроіскрового оброблення струмопровідних гранул металів у середовищі молочної сироватки.

Розглянемо доцільність збагачення молочної сироватки магнієм внаслідок електрофізичного оброблення в розрядній камері із струмопровідним прошарком металу.

Електрофізичний спосіб оброблення молочної сироватки реалізовували на лабораторній установці, що складалася з генератора розрядних імпульсів, реакційної камери з магнієвою електродною системою та відповідним струмопровідним прошарком гранул; блока управління; вимірювальних і допоміжних приладів. Дослідження проводили за напруги 85 ± 5 В, ємності конденсатора 100 мкФ та тривалості оброблення від 30 до 180 °С.

Встановлено, що результатом електроіскрового диспергування гранул магнію було отримання частинок у нано- та мікророзмірному діапазоні (від 50...70 нм до 5 мкм). Дисперсним аналізом частинок, проведеним на аналізаторі MalvernInstruments (Великобританія), визначено, що середній розмір частинок Mg становив 118 ± 5 нм.

У лабораторії аналітичної хімії та моніторингу токсичних речовин ДУ «Інститут медицини праці НАМН України» методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (прилад Optima 210 DV) встановлено, що за умови електроіскрового оброблення вміст магнію у молочній сироватці збільшувався в середньому в 1,8...4,0 разу залежно від тривалості оброблення.

Електронно-мікроскопічні дослідження й ідентифікація елементного складу частинок магнію та їх агрегатів (рисунок 1.2, а, б) дали змогу зробити припущення про формування як оксидних, так і металевих фаз під час виникнення електроіскрових розрядів між електродами у рідині. Мікрофракція частинок Mg представлена переважно оксидною фазою

(рисунок 1.2, *a*, *б*), про що свідчить співвідношення металу та кисню у перерахунку на атомарний вміст. Зазначене співвідношення відповідає стехіометричному складу цих елементів в оксидних фазах MgO.

Елементний ваговий склад окремих частинок магнію та їх агрегатів (рисунок 1.2, *a*) вказує, що наявний кисень тільки частково відноситься до оксидної фази. Надлишок кисню, який не відповідає стехіометричному складу оксидної фази магнію, ймовірно, формує кисневмісну поверхню частинок. Це припущення підтверджується дослідженнями елементного вагового складу частинок інших металів, зокрема срібла, отриманих внаслідок електроіскрового диспергування гранул [13].

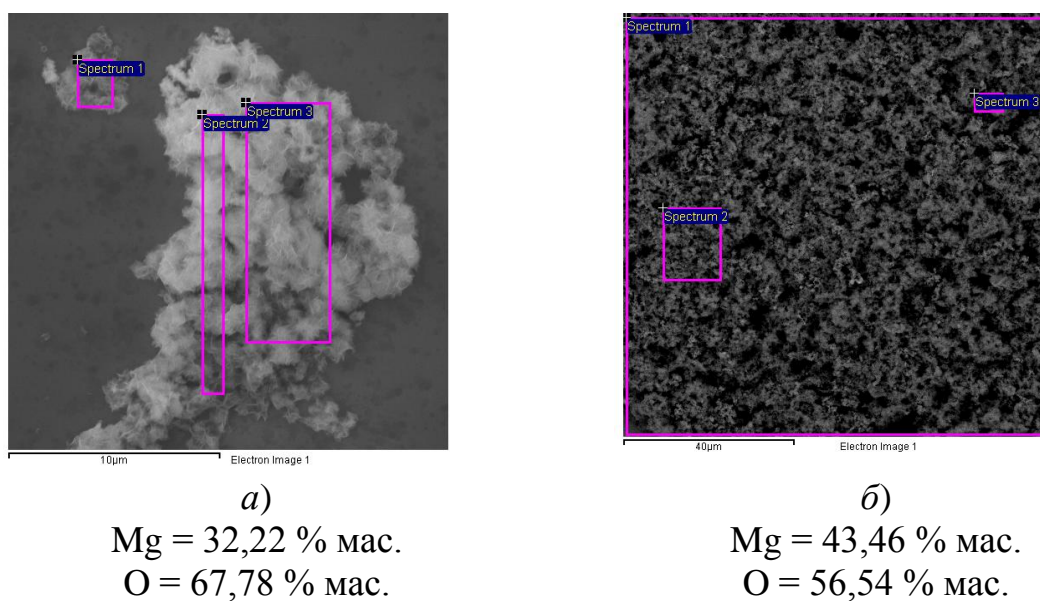


Рисунок 1.2 – Електронне зображення й елементний склад частинок магнію та їх агрегатів в надосадовій рідині (*a*) та осаді (*б*)

Слід відмітити практичне значення утворення оксиду магнію для технології сухих молочних продуктів, оскільки, як зазначалося, цей оксид відіграє роль антизлежувальної харчової добавки [9].

Експериментально доведено, що суха молочна сироватка (СМС), вироблена із сировини, обробленої комбінуванням нанофільтрації з електроіскровим обробленням, характеризувалася низьким ступенем злежування (до 2,2 %), визначеним за методикою [19] (рисунок 1.3), тоді як ступінь злежування сухої підсирної сироватки, виробленої за традиційною технологією, становив 24,6 %.

Ознаки самоущільнення частинок і злежування було виявлено й у дослідних зразках, виготовлених із залученням технології знесолення (електродіаліз, нанофільтрація). Так, за розміру пор сита 250 мкм ступінь злежування сухої сироватки, знесолоної електродіалізом, дорівнював

17,4 %, а нанофільтрацією – 16,1 %, що характеризує їх як продукти, схильні до утворення в продукті грудочок (рисунок 1.3).

Цікавим є факт, що за стійкістю до грудкоутворення новий продукт мав переваги навіть над сухою демінералізованою сироваткою, в яку згідно з рекомендаціями [9] з метою покращення стійкості до злежування було добавлено харчову антизлежувальну добавку (АЗД) – оксид кремнію SiO_2 (E-551 Silicon dioxide amorphous) у кількості 1,0 % (рисунок 1.3).

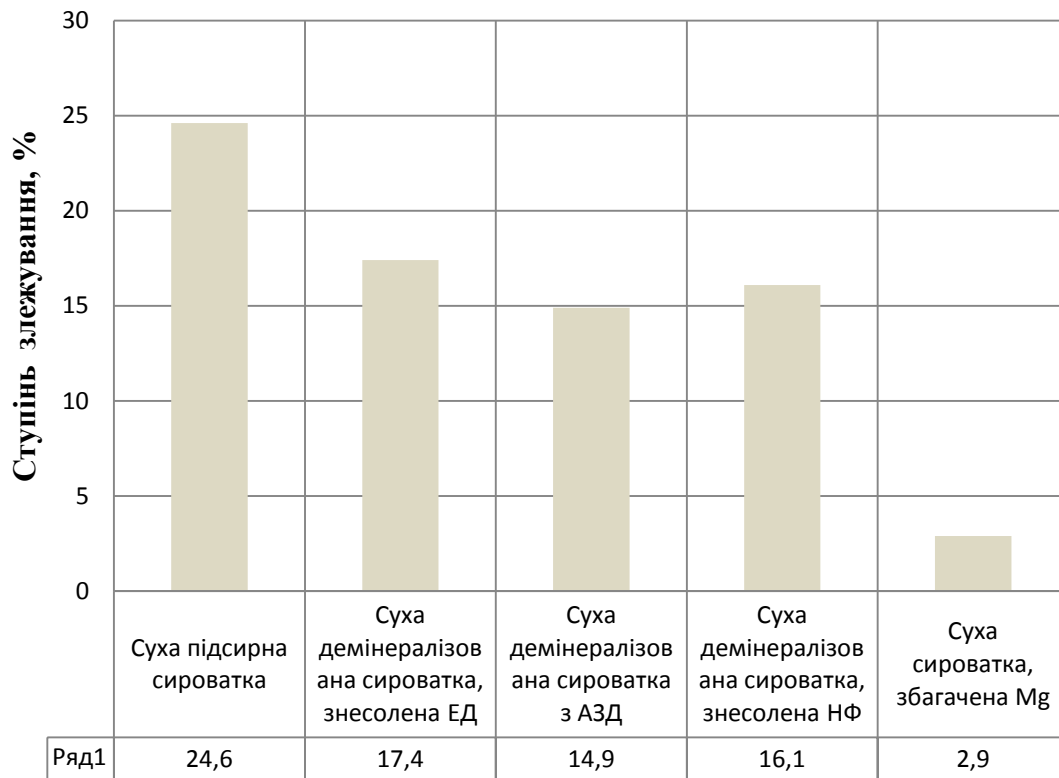


Рисунок 1.3 – Ступінь злежування дослідних зразків сухої молочної сироватки в порівняльному аспекті

Встановлено, що зразки сухої сироватки, збагаченої магнієм внаслідок електроіскрового оброблення сировини, характеризувалися низькою схильністю до грудкоутворення навіть через 18 місяців зберігання в герметичному пакуванні за температури 18 ± 2 °C і відносної вологості, не більшої 80 %. Так, ступінь злежування в дослідних зразках був меншим 5 %.

Зразки сухої сироватки, вироблені з використанням комбінування нанофільтрації з електроіскровим збагаченням мінеральними елементами, також вигідно відрізнялися від решти зразків відсутністю ознак неферментативного потемніння протягом 12 місяців зберігання за температури (18 ± 2) °C і відносної вологості, не більшої 80 %, у той час як інші види сухої сироватки поступово втрачали білість, а саме: на

16,3 ум. од. для СМС, виготовленої без залучення технології знесолення; на 16,0 ум. од. для СМС, знесоленої електродіалізом; на 11,6 ум. од. – для СМС, знесоленої нанофільтрацією.

На рисунку 1.4 зображено візуальне підтвердження відсутності ознак злежування та неферментативного потемніння у дослідному зразку сухої сироватки, виробленої комбінуванням технології знесолення з електроіскровим збагаченням магнієм, під час неконтрольованих умов зберігання у відкритій тарі порівняно із сухою демінералізованою сироваткою, виробленою з аналогічної сировини, на одному підприємстві-виробникові, за однакового технологічного циклу, за винятком електроіскрового оброблення сировини.

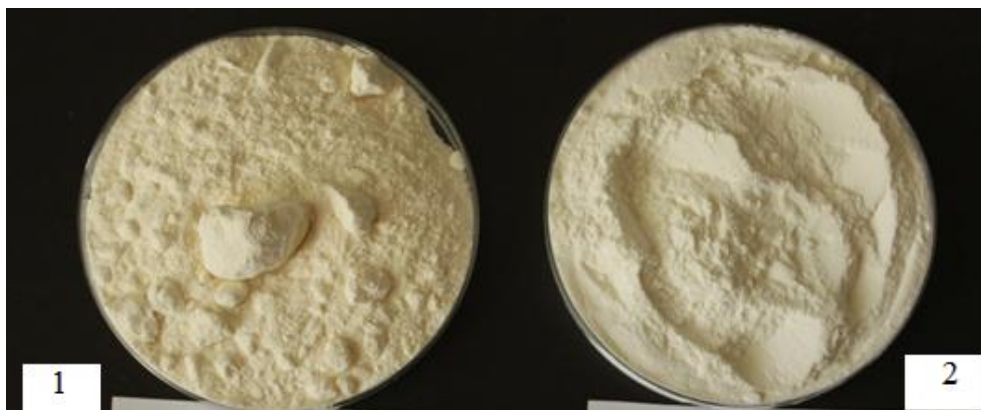


Рисунок 1.4 – Фотозображення дослідних зразків сухої сироватки через три місяці зберігання за ненормованих умов:

- 1 – Суха демінералізована сироватка
- 2 – Суха молочна сироватка, збагачена магнієм

Отже, вивчено доцільність електроіскрового оброблення молочної сироватки в реакційній камері зі струмопровідним прошарком магнію з метою її збагачення цінним мінеральним елементом.

Встановлено, що за умови електроіскрового оброблення вміст магнію у молочної сироватці збільшується в середньому в 1,8...4,0 разу залежно від тривалості оброблення, при цьому отримані частинки металу знаходяться в нано-та мікророзмірному діапазонах (від 50...70 нм до 5 мкм).

Комплексом досліджень підтверджено позитивний вплив електрофізичного збагачення сировини магнієм перед сушінням на показники якості сухої молочної сироватки, а саме: збагачення сухого продукту магнієм, відсутність ознак самоущільнення та злежування продукту під час зберігання та відсутність ознак неферментативного потемніння.

Література

1. Храмцов А. Г. Феномен молочной сыворотки. Санкт-Петербург: Профессия, 2011. 804 с.
2. Обработка молочного сырья мембранными методами / И. А. Евдокимов и др. *Молочная промышленность*. 2012. № 2. С. 34–37.
3. Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. Москва: ИД «Оникс 21 век»: Мир, 2004. 272 с.
4. Спиричев В. Б., Шатнюк Л. Н., Позняковский В. М. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / под общ. ред. В. Б. Спиричева. 2-е изд. Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 2005. 548 с.
5. Walker G. M. The roles of magnesium in biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*. 1994. Vol. 14 (4). P. 311–354.
6. Pironcheva G. L. The effect of magnesium ions during beer fermentation. *Cytobios*. 1998. Vol. 94 (377). P. 135–139.
7. Беспоместных К. В. Изучение влияния состава питательной среды на изменение биохимических и морфологических свойств штаммов лактобацилл. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6.
8. Кантере В. М. Теоретические основы технологии микробиологических производств: учеб. пособие. Москва: Агропромиздат, 1990. 271 с.
9. Регламент европейского парламенту та ради (ЄС) № 1333/2008. URL: <http://www.icqsc.eu/userfiles/File/1333-2008-EC.pdf>
10. Кукин М. Ю. Разработка технологий цитрата аммония железа, лактата магния и комплексных пищевых добавок и их применение в пищевых продуктах: автореф. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.07 «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ» / С.-Пб нац. исслед. ун-т информ. технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург, 2013. 22 с.
11. Нанотехнологии в биологии и медицине: кол. монография / под ред. чл.-корр. РАН, проф. Е. В. Шляхто. 2009. URL: <http://prostonauka.com/nano/soderzhanie>
12. Спосіб отримання аквахелатів нанометалів «Ерозійно-вибухова нанотехнологія отримання аквахелатів металів»: пат. України на корисну модель № 29856. МПК (2006): B01J 13/00, B82B 3/00 / Косінов Н. В., Каплуненко В. Г. Опубл. 25.01.2008. Бюл. № 2.
13. Образование наноразмерной фракции металлов при электроискровой обработке гранул / К. Г. Лопатько и др. *Электронная обработка материалов*. 2013. № 49 (6). С. 80–85.
14. Ткаченко С. В. Передумови використання препаратів з твердою фазою в нанорозмірному стані у якості каталізаторів процесів харчових

виробництв. *Продовольчі ресурси. Серія: Технічні науки: зб. наук. праць.* 2015. С. 18–22.

15. Нанотехнології мікронутрієнтів: питання безпеки та біотичності наноматеріалів при виробництві харчових продуктів / А. М. Сердюк та ін. *Академія медичних наук України.* 2010. № 3. Т. 16. С. 467–471.

16. Дробот В. І. Бондаренко Ю. В., Каплуненко В. Г. Використання цитратів цинку та магнію, одержаних методом нанотехнології, у хлібопеченні. *Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості: Міжнар. наук. конф., присвяч. 130-річчю НУХТ, (м. Київ, 13–17 жовт. 2014 р.).* Київ: НУХТ, 2014. С. 60.

17. Коагуляційне очищення жомопресової води гелем алюмінію / А. І. Українець та ін. *Наукові праці НУХТ.* 2015. Т. 21. № 5. С. 237–243.

18. Трахтенберг І. М., Дмитруха Н. М. Принципи, методи і показники оцінки безпеки наночастинок металів. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки.* 2016. № 4. С. 5–17.

19. Pisecky J. Handbook of milk powder manufacture. Copenhagen: Niro A/S. 1997. 261 p.