

Л.Ю. Авдєєва

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ РЕЖИМІВ ОДЕРЖАННЯ НАНОСТРУКТУР



Досліджена можливість управління механізмом утворення фосфоліпідних наноструктур в умовах дисипативного стану гетерогенної системи за рахунок дискретно-імпульсного введення енергії в роторно-пульсаційних апаратах. Встановлені оптимальні тепломасообмінні режими обробки складних гетерогенних середовищ, що представляють собою водний розчин фосфоліпідів.

Ключові слова: технологія, тепломасообмінні режими, наноструктури, роторно-пульсаційні апарати, диспергування.

На сьогодні питання спрямованого одержання і використання речовин і матеріалів нанорозміру викликають все більший інтерес у всьому світі. Наноматеріали відкривають широкі перспективи створення сучасних технологій з принципово новими корисними характеристиками. Унікальні властивості наноматеріалів дозволяють використовувати їх в енергетиці, інформаційних технологіях, матеріалознавстві, біології, медицині і т.д. Значний інтерес для вивчення і перспективи використання представляють наноструктури, що утворюють фосфоліпідні. Фосфоліпідні відносяться до амфіфільних сполук, тобто до речовин, які містять гідрофільну і гідрофобну частини і мають властивість до самоорганізації у воді або органічних розчинниках з подальшим утворенням замкнених структур. Залежно від способу одержання ліпідні везикули (ліпосоми) розрізняються за складом, розмірами (від 20 нм до 50 мкм), формою, кількістю ліпідних шарів та властивостями. Властивість ліпідних везикул до включення і утримування в серед-

ині речовин різноманітної природи використовується в медицині, фармацевтичній і косметичній промисловостях, перспективні вони і в харчовій промисловості та сільському господарстві [1, 2].

Існуючі на даний час методи одержання ліпосомних наноструктур — це складні багатоетапні процеси. Відомі способи одержання ліпосом за допомогою дегідратації—регідратації окремих фракцій фосфоліпідів або їх комплексів органічними розчинниками (хлороформ, дихлорметан, метанол або етанол чи їх суміші в різних співвідношеннях) та водою. Утворені багаточарові проліпосоми піддають обробці ультразвуком та центрифугуванню або екструзією і подальшому висушуванню для одержання ліпосом. Інші способи включають детергентну обробку, випаровування з оберненням фаз, введення ефіру, а також ліофілізацію і методи заморожування—відтаювання [3, 4, 5]. Ці способи малопродуктивні та досить енергоємні [6].

Для використання фосфоліпідних наноструктур у харчовій промисловості і сільському господарстві необхідні нові технології та висо-

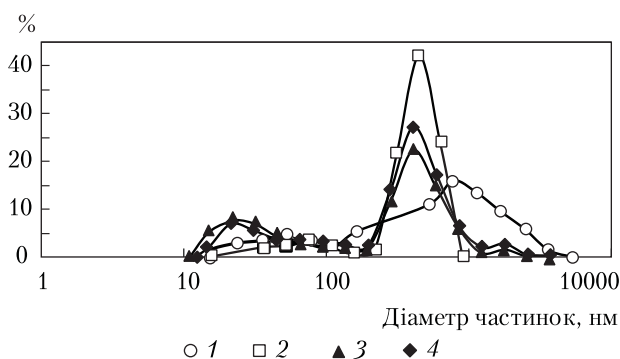


Рис. 1. Залежність діаметра фосфоліпідних наночастинок від кількості циклів обробки матеріалу при температурі 20 °С: 1 – 1 цикл; 2 – 3 цикли; 3 – 5 циклів; 4 – 7 циклів

копродуктивне енергоощадне обладнання, наприклад роторно-пульсаційні апарати. Відомі проточні роторно-пульсаційні апарати циліндричного типу дають можливість отримувати високу якість диспергування і технологічну ефективність при одночасному зниженні енерговитрат і матеріаломісткості. За їх допомогою можна поєднувати процеси диспергування, змішування, емульгування і гомогенізації, а тому виникає можливість значно зменшувати тривалість процесів та кількість технологічних циклів обробки матеріалу [7, 8].

Нами були проведені дослідження процесів утворення фосфоліпідних наноструктур в умовах дисипативного стану гетерогенної системи за рахунок дискретно-імпульсного введення енергії в роторно-пульсаційних апаратах за умов різної циклічності обробки матеріалу. Дослідження процесу диспергування проводилися при температурі 20 °С на проточному роторно-пульсаційному апараті циліндричного типу з коаксіальним набором з 2 статорів і 1 ротора із зазорами між ними 0,2 мм. Число обертів ротора – 50 с⁻¹, продуктивність – 800 кг/год, час одного циклу обробки матеріалу – 10⁻⁴ с.

Для досліджень використовувався сухий знежирений фосфоліпідний комплекс «Лецитин соевий» «Solec F» виробництва фірми «Solae Europe», ЄС. Процентний вміст індивідуальних фосфоліпідів дослідного матеріалу наведе-

ний в таблиці.

Розмір наночастинок досліджували на лазерному фотон-кореляційному спектрометрі «ZetaSizer-3» Malvern Instrument, Великобританія, обладнаного He–Ne-лазером ЛГН-111 (P = 25 мВт, λ = 633 нм). Даний метод дозволяє визначити коефіцієнт дифузії дисперсних частинок у рідині шляхом аналізу характерного часу флуктуації інтенсивності розсіяного світла. Реєстрацію та статистичну обробку лазерного випромінювання, розсіяного від водної суспензії наночастинок (коефіцієнт заломлення води дорівнює 1,33), проводили протягом 90 с при температурі + 22 °С під кутом розсіювання 90°. Діапазон вимірювання приладу становив від 1 нм до 50 мкм.

Отримані результати вимірювань обробляли за допомогою сервісної комп'ютерної програми PCS-Size mode v1.61. Результати досліджень наведені на рис. 1.

Дослідження показали, що в результаті обробки 1 % водної дисперсії комплексу фосфоліпідів на роторно-пульсаційному апараті одержана система має двомодальне розподілення розмірів частинок у всіх дослідних зразках. Один цикл обробки складної гетерогенної системи дає можливість отримати частинки з досить значним діапазоном дисперсності – розмір складає від 16,2 нм до 3640 нм. Найбільша кількість частинок (65 %) має розмір від 164 до 2472 нм. Циклічність обробки підсилює вплив на оброблюваний матеріал за рахунок подовження часу його перебування у

Таблиця

Фосфоліпідний склад Лецитину соєвого «Solec F»

Фосфоліпід	Вміст, %
Загальний вміст фосфоліпідів, в т.ч.	97
фосфатидилхолін	34,4
фосфатидилетаноламін	21,8
фосфатидилінозитол	15,7
фосфатидилсерін	10,8
фосфатидні кислоти та ін. речовини	13,3

зоні активного впливу, тому діапазон розподілу розміру частинок поступово зменшується. Завдяки 3-цикличній обробці матеріалу вдалося значно зменшити діапазон дисперсності системи, причому найбільша кількість частинок (91 %) має розмір від 315 до 600 нм з максимумом 450 нм. Подальше збільшення циклів обробки матеріалу призводить до збільшення кількості частинок діаметром менше 100 нм і збільшення діапазону дисперсності, що пов'язано з утворенням великих конгломератів окремих фосфоліпідних частинок при температурах, нижчих за температуру початку кристалізації окремих фракцій ліпідів.

Нами була досліджена залежність середнього діаметра фосфоліпідних наноструктур в результаті трьох циклів диспергування на роторно-пульсаційному апараті при зміні температури гомогенізації від 20 до 80 °С та концентрації фосфоліпідів, яка становила 0,5; 1; 2,5; 5; 7,5 і 10 %. Результати досліджень наведені на рис. 2.

Дані експериментальних досліджень свідчать про значний вплив температурних режимів процесу гомогенізації водної дисперсії фосфоліпідів на розміри отриманих частинок. Так, при температурі 20 °С розмір диспергованих частинок був найбільшим у всіх дослідних зразках, що зумовлено особливістю поведінки жирової фази матеріалу при температурах, нижчих температури фазового переходу. При тому із збільшенням концентрації фосфоліпідів в 15 раз (від 0,5 до 7,5 %) середній діаметр змінювався від 660 до 950 нм, а подальше збільшення концентрації до 10 % призводило до суттєвого збільшення частинок майже в 3 рази — до 1700 нм.

Підвищення температури гомогенізації до 40 °С і більше призводить до покращення якості диспергування, середній діаметр отриманих частинок зменшується при всіх обраних концентраціях матеріалу. Найменший середній діаметр частинок був отриманий при 2,5 і 5 % концентраціях фосфоліпідів — 580 і 514 нм відповідно.

Найбільш ефективно процес гомогенізації відбувається при температурах 60 і 80 °С, коли

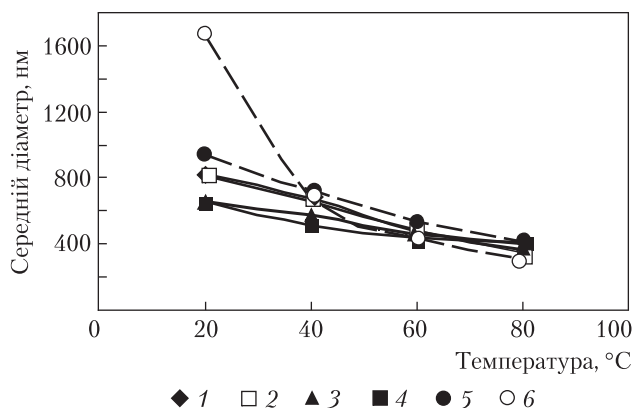


Рис. 2. Залежність середнього діаметра фосфоліпідних наночастинок від температури обробки матеріалу та концентрації фосфоліпідів: 1 — 0,5 %; 2 — 1 %; 3 — 2,5 %; 4 — 5 %; 5 — 7,5 %; 6 — 10 %

середній діаметр диспергованих частинок становить відповідно 450—550 і 310—410 нм. Недоліком використання високих температур матеріалу при гомогенізації є певна технологічна складність їх підтримки, значні витрати енергії. Крім того, значна частина біологічно-активних речовин, для транспортування яких можуть бути використані фосфоліпідні наноструктури, є нетермостабільними, що робить небажаним використання високих температур, тому найбільш раціональним є диспергування матеріалу при температурі 40 °С.

Таким чином, для раціонального проведення процесу з метою отримання фосфоліпідних наночастинок певного розміру і властивостей були обрані такі тепломасообмінні режими диспергування матеріалу: температура — 40 °С, концентрація фосфоліпідів — 5 % та 3 цикли обробки матеріалу. Результати досліджень дали можливість запропонувати промисловий спосіб їх отримання [6, 9].

Одержані нами дані та результати досліджень були використані при виконанні інвестиційного проекту установ НАН України «Впровадження технології виробництва ліпосомних соєвих напоїв з використанням методу дискретно-імпульсного введення енергії для лікувально-профілактичного харчування».

Інститут технічної теплофізики НАН України вперше в Україні запропонував метод використання властивостей фосфоліпідних наносистем при створенні нового виду лікувально-профілактичного харчування. Була розроблена технологія виробництва соєвого напою «Ліпосомний» та створена нормативна документація [10]. Напій має підвищену біологічну та харчову цінність, збалансований амінокислотний склад рослинних протеїнів, частково гідролізованих до пептидів та вільних амінокислот, що легко засвоюються, а також поліпшений вітамінний та мінеральний склад. Особливістю цього напою є те, що біологічно активні речовини, вітаміни та мінерали знаходяться в ліпосомній формі, розміри та природний матеріал яких дають можливість цим речовинам проникати безпосередньо до клітини без руйнування в шлунково-кишковому тракті, що підвищує ефект лікування.

За рекомендаціями МОЗ України новий функціональний харчовий продукт «Напій соєвий «Ліпосомний» був призначений для раціонального та дієтичного харчування дорослих та дітей віком від 3-х років з метою збагачення раціону харчування білками, мінеральними речовинами та вітамінами за умов нетерпимості до тваринних білків, а також для профілактики запальних захворювань шлунково-кишкового тракту.

Розрахунок техніко-економічних показників напою соєвого «Ліпосомного» показав високу економічну ефективність та низький термін окупності впровадження технології.

ВИСНОВКИ

1. Досліджена можливість управління механізмом утворення фосфоліпідних наноструктур в умовах дисипативного стану гетерогенної системи за рахунок дискретно-імпульсного введення енергії в роторно-пульсаційних апаратах.

2. Визначено вплив циклічності обробки на якість диспергування.

3. Встановленні оптимальні тепломасообмінні режими обробки складних гетерогенних середовищ, що представляють собою водний розчин фосфоліпідів.

Одержані результати досліджень були використані при розробці нової технології лікувально-профілактичного харчування з підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барсуков Л.И. Липосомы / Соросовский образовательный журнал, 1998. — С. 2—9.
2. Верников В.М., Арианова Е.А., Гмошинский И.В. и др. Нанотехнологии в пищевых производствах: перспективы и проблемы / Вопросы питания, 2009. — Т. 78, № 2. — С. 4—17.
3. Патент 2216315 RU МПК С2 А61 К9/127. Способ получения липосом / Грегориadis Грегори (GB); Зади Брахим (GB); Джайасекера Прамухх Налака (GB); заявл.2002.11.27; опубл.2003.11.20.
4. Gregoriadis Gregory. Liposome Technology / The School of Pharmacy University of London. — New York, London, 2007. — 422 p.
5. Methods in Molecular Biology, vol. 199: Liposome Methods and Protocols / Edited by: S. Basu and M. Basu © Humana Press Inc., Totowa, NJ. — 240 p.
6. Патент № 79703. Спосіб одержання ліпосом / Долінський А.А., Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Авдеева Л.Ю.; Заявитель Інститут технічної теплофізики; Заявка № а 2005 12691, заявл. 28.12.2005 р. Поз. висн. 10.07.2007. Опубл. Бюл.№10, 10.07.2007.
7. Долінський А.А., Іваницький Г.К. Принципи разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии // Промышленная теплотехника. — 1997. — Т. 19. — № 4—5. — С. 13—25.
8. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. — 260 с.
9. Долінський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю. и др. Способ промышленного получения липосомных наносистем с использованием эффекта дискретно-импульсного ввода энергии // Материалы Международной научно-практической конференции «Нанотехнология — технология XXI века». — М.: Изд-во МГОУ, 2006. — С. 100—103.
10. Патент № 81046. Спосіб одержання ліпосомних соєвих напоїв/ Інститут технічної теплофізики; Долінський А.А., Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Авдеева Л.Ю. та ін. Заявка № 20041210390, заявл. 28.12.2005 р. Поз. висн. 26.11.2007. Опубл. Бюл. № 19, 26.11.2007 р.

Л.Ю. Авдеева

ОПТИМИЗАЦИЯ
ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ РЕЖИМОВ
ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР

Исследована возможность управления механизмом образования фосфолипидных наноструктур в условиях диссипативного состояния гетерогенной системы за счет дискретно-импульсного введения энергии в роторно-пульсационных аппаратах. Установлены оптимальные тепломассообменные режимы обработки сложных гетерогенных сред, что представляет собой водный раствор фосфолипидов.

Ключевые слова: технология, тепломассообменные режимы, наноструктуры, роторно-пульсационные аппараты, диспергирование.

L.Yu. Avdeeva

OPTIMIZATION
OF HEAT-MASS-EXCHANGING MODES
IN FORMATION OF NANOSTRUCTURES

The possibility of control of phosphor-lipid nanostructure formation mechanism under conditions of dissipative state of heterogeneous system due to discrete-impulse energy introduction into rotor-pulsating devices is examined. As a result the optimal heat-mass-exchange processing regimes of complex heterogeneous environments representing phospholipids water solution are determined.

Key words: technology, heat-mass-exchanging modes, nanostructures, rotary-pulsation device, dispergation.

Надійшла до редакції 12.03.10