

**Р.Э. Григорян¹, В.П. Курченко², Е.В. Чудновская²,
Н.А. Головнева³, Д.А. Салманова¹, И.В. Ржепаковский¹,
Л.Р. Алиева¹, А.Д. Лодыгин¹, И.А. Евдокимов¹**

¹Северо-Кавказский Федеральный Университет
Ставрополь, Россия

²Белорусский государственный университет

³Институт микробиологии НАН Беларуси
Минск, Беларусь

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОКАПСУЛ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРОВ С *LACTIPLANTIBACILLUS ACIDOPHILUS* В ОБОЛОЧКУ АЛЬГИНАТА КАЛЬЦИЯ

Аннотация. Предложена технология получения микрокапсул с *L. acidophilus* с использованием экспериментальной установки ИИ 0.35-1.5. Путем изменения скорости привода диспергатора получены микрокапсулы различного размера *L. acidophilus*. С уменьшением размера микрокапсул количество жизнеспособных клеток уменьшается.

**R.E. Grigorian¹, V.P. Kurchenko², E.V. Chudnovskaya²,
N.A. Golovnyova³, D.A. Salmanova¹, I.V. Rzhepakovsky¹,
L.R. Alieva¹, A.D. Lodygin¹, I.A. Evdokimov¹**

¹North-Caucasian Federal University
Stavropol, Russia

²Belarusian State University

³Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Belarus

OBTAINING MICROCAPSULES OF VARIOUS SIZES WITH *LACTIPLANTIBACILLUS ACIDOPHILUS* IN A CALCIUM ALGINATE SHELL

Abstract. A technology for obtaining microcapsules with *L. acidophilus* using the experimental setup II 0.35-1.5 is proposed. By changing the speed of the disperser drive, microcapsules of different sizes of *L. acidophilus* are obtained. With a decrease in the size of the microcapsules, the number of viable cells decreases.

В последние десятилетия проведено большое количество научных исследований, посвященных повышению качества и функциональной ценности пищевых продуктов, поскольку функциональные продукты могут обеспечить повышение качества жизни и здоровья людей по сравнению с обычными продуктами

питания [1]. Среди функциональных продуктов питания особое место занимают кисломолочные напитки, изготовленные путем ферментации молока ацидофильной палочкой (*Lactobacillus acidophilus*) [1, 2]. Штаммы *L. acidophilus* способны синтезировать низкомолекулярные метаболиты: лактоцин, ацидоцин, короткоцепочечные жирные кислоты и другие вещества. От содержания и количественного соотношения разных карбонильных соединений, в том числе летучих карбоновых кислот (уксусной, масляной, пропионовой и др.) и кетонов (ацетоина, диацетила и др.), во многом зависит специфический вкус и аромат кисло-сливочного кисломолочных и других продуктов [2]. Благодаря им кисломолочные напитки, содержащие *L. acidophilus* нашли широкое применение в качестве лечебно-профилактических средств. При хранении *L. acidophilus* происходит процесс снижения количества жизнеспособных микроорганизмов ниже терапевтической дозы. Для сохранения жизнеспособности и адресной доставки в достаточных количествах лактобактерии можно капсулировать в оболочку, которая защитит их от экстремальных воздействий [1, 3]. При инкапсуляции полимер образует капсулу, оболочка которой изолирует лактобактерии и защищает их от неблагоприятных воздействий [3]. Альгинат натрия является наиболее часто используемым материалом, пригодным практически для всех методов инкапсуляции [1]. Мономеры гулуруновой кислоты альгината натрия связываются с ионами кальция, в результате образуется водонерастворимая трехмерная сеть альгинатных нитей, которые удерживаются вместе за счет ионных взаимодействий [3].

Одним из широко используемых методов инкапсуляции является экструзия. Этот метод заключается в приготовлении раствора альгината натрия, добавлении в него микроорганизмов и формировании капель путем выдавливания суспензии через экструдер для свободного падения. Полученные гидратированные сферы обрабатываются хлоридом кальция, что приводит к образованию водонерастворимых стенок капсул из альгината кальция, внутренняя фаза которых содержит лактобактерии [1, 3]. Размеры образовавшихся микрокапсул зависят от скорости привода диспергатора, подающего гидратированные сферы для обработки хлористым кальцием.

Важной задачей для сохранения жизнеспособности *L. acidophilus* является разработка технологий получения микрокапсул различного размера. В зависимости от размера микрокапсул внутренняя фаза может содержать разное количество жизнеспособных лактобактерий. Кроме этого, их водонерастворимая оболочка может содержать различное количество альгината и связанных с ним ионов кальция. Их

соотношение будет определять физико-химические свойства капсул: устойчивость к термическому разложению и перевариванию в желудочно-кишечном тракте, а также сохранению жизнеспособности *L. acidophilus* в процессе длительного хранения.

В связи с этим, разработана технология инкапсулирования бактерий *L. acidophilus* в альгинат натрия методом экструзии для получения капсул различных размеров. Исследованы их физико-химические свойства и жизнеспособность лактобактерий.

Инкапсулирование *L. acidophilus* методом экструзии проводили на установке ИИ 0.35-1.5 (ООО «МЗТА», г. Муром). Для капсулирования готовили смесь культуральной жидкости *L. acidophilus* с 2 % раствором альгината натрия в соотношении 1:9. Для получения микрокапсул различных размеров при постоянной частоте насоса 24,5 Гц подачи смеси изменяли скорость привода диспергатора, которая составляла 9,0; 12,0; 20,0 об/мин. Капсулы получали обработкой микросфер 4 % раствором хлористого кальция. Полученные микрокапсулы сублимировали. С использованием световой микроскопии и динамического светорассеивания измеряли размеры гидратированных и сублимированных микрокапсул. Количество жизнеспособных клеток бактерий в 1 г капсул (число колониеобразующих единиц – КОЕ) определяли по ГОСТ 10444.11-2013 «Методы определения молочнокислых микроорганизмов» методом предельных разведений при высеве на модифицированную среду МРС. Определяли технологические параметры получения микрокапсул.

В таблице представлены результаты получения гидратированных капсул *L. acidophilus* различного размера в зависимости от скорости привода диспергатора. Измерение размеров гидратированных капсул проводили с использованием динамического светорассеивания и световом микроскопе Axio ZOOM.V16 (Carl Zeiss Microscopy, Oberkochen, Germany) с увеличением x50.

Анализ результатов, представленных в таблице, показывает, что с увеличением скорости привода диспергатора с 9,0 до 20,0 об/мин продолжительность технологического процесса микрокапсулирования дисперсной системы объемом 2 л остается постоянной. Масса полученных гидратированных микрокапсул с увеличением скорости привода диспергатора возрастает в 1,6 раза. Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение скорости подачи дисперсной смеси повышает производительность технологического процесса получения микрокапсул с *L. acidophilus* в альгинат натрия в 1,7 раза. Средний размер гидратированных капсул в зависимости от скорости

привода диспергатора уменьшается в 6 раз, а сублимированных в 5,7 раза.

Таблица - Параметры капсул, полученных при различной скорости привода диспергатора и постоянной частоте насоса подачи смеси 24,5 Гц

Параметры капсул	Скорость привода диспергатора, об/мин		
	9,0	12,0	20,0
Время получения капсул, мин	58	60	53
Вес полученных гидратированных капсул, г	211,53	275,63	338,58
Производительность получения капсул, г/мин	3,64	4,59	6,38
Средний размер гидратированных капсул, мкм	1200±620	1000±530	200±102
Вес полученных сублимированных капсул, г	8,65	12,46	17,09
Потеря массы капсул после сублимации, %	95,9	95,47	94,95
Средний размер сублимированных капсул, мкм	850±75	500±35	150±12
Количество сублимированных капсул г/шт	6 000	118 000	475 000
Содержание КОЕ/г капсул	3×10 ⁶	4×10 ⁶	0,7×10 ⁶
Содержание КОЕ/ в 1 капсуле	5×10 ²	0,3×10 ²	1,47

При постоянной частоте насоса подачи дисперсной смеси 24,5 Гц скорость привода диспергатора играет определяющую роль в получении микрокапсул различного размера. Размер частиц и их количество являются важными свойствами, которые непосредственно влияют на использование микрокапсул в пищевых продуктах [19]. Как видно из таблицы, с уменьшением размера сублимированных микрокапсул, их количество в пересчете на 1 г возрастает в 79,2 раза.

Количество жизнеспособных клеток *L. acidophilus*, входящих в микрокапсулы, является ключевым показателем, который определяет возможность их практического использования. Количество жизнеспособных клеток в полученных микрокапсулах различного размера представлено в таблице. Анализ результатов показывает, что наибольшее количество жизнеспособных клеток содержится в сублимированных микрокапсулах большего размера. Уменьшение размера микрокапсул ведёт к снижению содержания жизнеспособных клеток *L. acidophilus* в 4,3 раза. Наибольшие различия в количестве жизнеспособных клеток наблюдаются при расчёте на 1 среднюю капсулу каждого из полученных размеров. Из таблицы видно, что с уменьшением размера частиц, жизнеспособность лактобактерий

значительно снижается с 5×10^2 КОЕ до 1,47 КОЕ в расчете на одну капсулу.

Таким образом, разработана технология получения методом экструзии микрокапсул различных размеров с лактобактериями *L. acidophilus* на основе альгината натрия. Изменение скорости привода диспергатора оказывает влияние на такие параметры, как количество, средний размер гидратированных и сублимированных частиц, морфологические особенности микрокапсул и количество жизнеспособных клеток в них. Эти характеристики являются определяющими для дальнейшего применения технологии при производстве пробиотиков с продленными сроками хранения, а также при производстве пищевых продуктов функционального назначения.

Список использованных источников

1. Ali, U., Saeed, M., Ahmad, Z., Shah, F.-u.-H., Rehman, M. A., Mehmood, T., Rahman, A. (2023). Stability and survivability of alginate gum-coated lactobacillus rhamnosus GG in simulated gastrointestinal conditions and probiotic juice development. *Journal of Food Quality*, 2023.
2. Barajas-Alvarez, P., Gonzalez-Avila, M., & Espinosa-Andrews, H. (2023). Recent advances in probiotic encapsulation to improve viability under storage and gastrointestinal conditions and their impact on functional food formulation. *Food Reviews International*, 39(2), 992-1013.
3. Fu S, Thacker A, Sperger DM, Boni RL, Buckner IS, Velankar S, Munson EJ, Block LH (2011). Relevance of Rheological Properties of Sodium Alginate in Solution to Calcium Alginate Gel Properties. *AAPS Pharm. Sci. Tech*, 12(2), 453-460.

УДК 621.3.011.712

Д.А. Гринюк, П.Д. Петручук, Н.М. Олиферович, И.Г. Сухорукова
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

НАСТРОЙКА АДАПТИВНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРЕНДОВ

Аннотация. Проведено имитационное моделирование, которое показало, что локальная аппроксимация вносит небольшие искажения в процесс