суміші до 80 % ці кислоти в жирових сумішах майже відсутні. Вміст стеаринової та олеїнової кислоти в рослинних оліях значно перевищує їх вміст в чистому молочному жирі. Тому зі збільшенням відсотку цих олій в суміші вміст стеаринової та олеїнової кислот підвищується до 27,67…36,77 та 41,27…56,08 % відповідно.

Висновки:

1. Значні зміни відбуваються з числом Рейхерта-Мейссля, йодним числом, показником заломлення і числом рефракції. Вже при 40 % заміни молочного жиру рослинними оліями ці показники виходять за нижчі граничні межі молочного жиру. Тому ці показники можна використовувати для визначення фальсифікації вершкового масла.
2. Для визначення натуральності вершкового масла або спредів, доцільно провести аналіз продуктів за такими показниками: число Рейхерта-Мейссля, йодне число, показник заломлення (число рефракції), розрахувати вміст міристинової, пальмітинової, стеаринової, олеїнової, суми насичених і ненасичених кислот, кислот групи C_{18}, групи C_{14} – $C_{18,}$ лінолевої та ліноленової кислот і на основі аналізу результатів досліджень зробити висновок про натуральність продукту або про замінники, які використані при виробництві спредів.

Література

1. Вышемирский, Ф. А. Если спреды – то только улучшенного качества [Текст]/ Ф. А. Вышемирский, А. В. Дунаев, Е. Ю. Караваева // Сыроделие и маслоделие. – 2008. - №2 – С. 50 – 51.
2. Стеценко, А. В. О растительно-жировых середах [Текст]/ А. В. Стеценко, Т. Г. Тагиева, Л. И. Тарасова, А. Лисицын // Масложировая промышленность – 2006. – №1 – С. 29 – 31.
3. Павлова, И. В. Получение и применение заменителей молочного жира [Текст]/ И. В. Павлова, Н. В. Долганова // Научно-исследовательский институт жиров РАСХН, Санкт-Петербург: Молочная промышленность. – 2006. - №2 - С. 54 – 55.
4. Тищенко, Л. М. Дослідження складу та властивостей молочного жиру і вдосконалення технології вершкового масла: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.16. - Київ. – 2009.
5. Брайен, Р. О. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение [Текст]/ СПб.: Профессия, 2007.- 752 с. – ISBN 978-5-93913-123-0.
6. Горбатова, К.К. Химия и физика молока: Учебник для вузов [Текст]. – СПб.:ГИОРД, 2003. – 288 с. - ISBN 966-7634-60-4.
7. Гуляев-Зайцев, С. С. Сезонні та регіональні зміни хімічного складу молочного жиру [Текст]/ С. С. Гуляев-Зайцев, Л. Н. Тищенко // Вісник аграрної науки. – 2002. – С. 67-69.
8. Лепилкина, О. В. Методы анализа жировой фазы продуктов, содержащих растительные жиры [Текст] // Сыроделие и маслоделие. – 2009. - №1 – С. 52-53.

УДК [637.147.2:66.047]:001.891

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ХАРЧОВОГО КАЗЕЇНУ

Чабанова О.Б., канд. техн. наук, доц.,
Недобійчук Т.В., канд. техн. наук, доц, Скрипніченко Д.О., магістр
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Дослідження включало: отримання казеїну за різними технологічними схемами, які різняться видом коагулянту і впливають на вихід казеїну та його якісні показники; сушіння отриманих зразків у лабораторній вакуум-сушарці, у сушарці нерухомого шару та в сушарці завислого шару; вплив режимів сушіння на тривалість процесу.

Ключові слова: *харчовий казеїн, технологія, способи сушіння*

Research included: casein manufacture behind different technological schemes which differ a kind the substance leading to formation of a clot and which influence an exit of casein and its quality indicators, drying of the received samples in a laboratory vacuum-dryer, in a dryer of a motionless layer and in a dryer of the weighed layer, influence of modes of drying on duration of process.

Keywords: *food casein, technology, ways of drying.*

Проблема повного й раціонального використання молока існує в усьому світі незалежно від системи економічних взаємин і обсягів виробництва. Ця проблема має помітну екологічну складову. Сутність її полягає в існуючій традиційній технології виробництва молочних продуктів.

При сепаруванні молока, виробництві вершкового масла одержують побічний продукт - знежирене молоко. При виробництві 1 т вершкового масла одержують до 20 т знежиреного молока. Основними продуктами, які виробляються із знежиреного молока, є казеїн та сухе знежирене молоко.

Казеїнати натрію та калію, що виробляються з казеїну, завдяки складу й властивостям використовується на молочних, м'ясних і кондитерських підприємствах як білкові наповнювачі, що поліпшують якість готового продукту.

У зв'язку з ростом конкуренції за сировину між молоковиробниками різко знизилося виробництво казеїну в Україні. Кількість казеїну на споживчому ринку залишається досить високою. У Європі, незважаючи на те, що виробництво казеїну сьогодні скорочується, накопичені великі запаси товару. Попит на казеїн низький завдяки високим цінам на товар і здебільшого низьку якість, яка не відповідає вимогам.

У зв'язку з тим, що на ринку переважає казеїн, що не відповідає вимогам НД за якісними показниками, існує гостра необхідність одержання якісного харчового казеїну. Якість казеїну залежить від правильного ведення технологічного процесу. Поліпшити якість харчового казеїну можливо практично на всіх стадіях його отримання (сепарування, коагуляція, відділення сироватки й промивання зерна, пресування, дроблiння (гранулювання) й сушіння).

Тому, пошук нових технологічних прийомів з метою інтенсифікації процесів виробництва харчового казеїну підвищеної якості, а також виключення забруднення стоків при виробництві казеїну - одне з актуальних завдань молочної промисловості.

Одним з основних і важливих факторів, що впливають на якість казеїну є процес сушіння.

Обґрунтування вибору способу й режиму сушіння такого термолабільного продукту, як казеїн з урахуванням одержання готового продукту бажаної якості може бути проведене лише при аналізі його фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей.

Однак у всіх випадках при виборі способу сушіння треба керуватися наступними принципами:

– зниження вартості сушіння, тобто зменшення витрат енергії, витрат на обслуговування й ремонт, повну безпеку процесу, високу продуктивність сушильної установки;

– забезпечення технологічності процесів, облік факторів щодо організації руху матеріалу, який висушується й теплоносія в системі, одержання продукту із заданими властивостями, що визначають умови подальшого застосування й зберігання [1, 2].

Мінімізація витрат на сушіння означає зменшення енерговитрат і ефективне використання енергії. Це пов'язане з досягненням мінімально можливої вологості матеріалу до сушіння із застосуванням максимально можливої температури сушильного агента й максимальних температурних перепадів у сушильних апаратах.

Перша умова може бути досягнута за рахунок максимального видалення вологи механічним шляхом при пресуванні казеїну, що характеризується істотно меншими в порівнянні із сушінням енерговитратами.

Друга умова може бути досягнута при високоінтенсифікованому сушінні казеїну в сушильних установках завислого шару.

Заслуговує на увагу сушіння у вакуум-сушарці.

Інтенсифікації процесу сушіння молочно-білкових продуктів, у тому числі казеїну, приділяється велика увага. Недоліки способів сушіння казеїну, які використовують у виробництві, перераховані в [2]. Найбільш ефективним способом сушіння казеїну є сушіння в розвинутій стадії завислого шару, що відповідає всім основним вимогам, які ставляться до сушильних установок.

При сушінні в завислому шарі частинки матеріалу перебувають у стані безперервного руху й перемішування, досягається турбулізація граничного шару випаровуваної вологи, максимальна поверхня випаровування, рівномірність тепло- і масообміну, можливість застосування підвищених температур сушильного агента. У результаті цього значно скорочується тривалість сушіння. Крім того, сумарний вплив підвищених температур сушильного агента й тривалості процесу сушіння дозволяє одержати продукти високої якості.

Таким чином, оптимальним методом сушіння для такого молочно-білкового продукту, як казеїн, до якості якого ставляться високі вимоги, найкращим є спосіб сушіння в завислому шарі. У літературних джерелах ми не знайшли інформації щодо сушіння казеїну у вакуумній сушарці. Мало інформації щодо сушіння казеїну у нерухомому шарі.

Тому основною метою даної роботи є дослідження впливу способів сушіння харчового казеїну з метою отримання продукту підвищеної якості.

Робота виконувалася в лабораторних умовах кафедри технології молока та сушіння харчових продуктів Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ).

Для одержання харчового казеїну знежирене молоко перетворюється в згусток з додаванням: кислоти; бактеріальної закваски; сироватки, сквашеної бактеріальною закваскою; молокозсідальних ферментів для коагуляції молока.

При отриманні білкових концентратів, а саме казеїну, із знежиреного молока в готовий продукт переходять головним чином казеїнові фракції білків молока. Склад і молекулярні характеристики білкових компонентів молока наведені в табл.1 [3] .

Таблиця 1 - Склад і молекулярні характеристики білкових компонентів молока

Компоненти	Вміст		Молекулярна маса, кДа	Ізоелектрична точка
	в % від загальних білків	в г/л		
Казеїн:	78-85	…		
α_{s1}-казеїн	43-54	12-15	23,0	4,4-4,8
α_{s2}-казеїн	43-54	3-4	25,0	-
β-казеїн	25-35	9-11	24,0	4,8-5,1
χ-казеїн	8-15	2-4	19,0	5,4-5,8
Білки сироватки:	15-25	6-8		
β-лактоглобулін	7-12	3,6	18,3	5,1
α-лактальбумін	2-5	1,7	14,2	4,2-4,5
імуноглобуліни	1,5-2,5	0,6	150-1000	5,5-8,3
альбумін сироватки крові	0,7-1,3	0,4	69,0	4,7-4,9

Харчовий казеїн отримували за чотирма технологічними схемами, які різняться видом коагулянту і впливають на вихід казеїну та його якісні показники.

I. Схема отримання харчового казеїну (зразок 1)

1. Сепарування незбираного молока (температура сепарування 40-45 ^{0}С);
2. Отримання знежиреного молока з масовою часткою жиру не більше 0,05%. При жирності знежиреного молока вище 0,05 % одержання експортного казеїну практично неможливо: жирність його в цьому випадку перевищує допустимі норми й ціна на казеїн знижується;
3. Пастеризація знежиреного молока (температура 72±2 ^{0}С протягом 15-20 сек) та охолодження до температури 30-35 ^{0}С;
4. Внесення кислої сироватки з титрованою кислотністю 160 ^{0}Т у знежирене молоко температурою 30-35 ^{0}С. Сироватку сквашували закваскою FD DVS CH-N 22 фірми Хрістіан Хансен (це мезофільна культура з кількома змішаними штамами, яка складається з Lactococcus lactis підвид cremoris, Lactococcus lactis підвид lactis и Leuconostoc mesenteroides підвид cremoris и Lactococcus lactis підвид diacetylactis);
5. Вимішування пластівців казеїну протягом 10-15 хв
6. Видалення 60% сироватки
7. Внесення кислої сироватки до кислотності 62-70 ^{0}Т, перемішування до готовності казеїну (pH 4,5-4,8 од.)
8. Видалення сироватки
9. Промивання пластівців казеїну пастеризованою та охолодженою водою 3 рази по 10 хвилин
10. Пресування зерна до вологовмісту 150-170 %
11. Гранулювання казеїну
12. Сушіння (у завислому шарі, у нерухомому шарі, у вакуум-сушарці)

II. Схема отримання харчового казеїну (зразок 2)

1. Сепарування незбираного молока (температура сепарування 40-45 ^{0}С);
2. Отримання знежиреного молока з масовою часткою жиру не більше 0,05%;
3. Пастеризація знежиреного молока (температура 72±2 ^{0}С протягом 15-20 сек) та охолодження до температури 30-35 ^{0}С;
4. Внесення закваски FD DVS CH-N 22 у знежирене молоко температурою 30-35 ^{0}С;
5. Сквашування знежиреного молока протягом 8-12 годин;

6. Розрізання на кубики;
7. Нагрівання до температури 60-65^{0}С при постійному вимішуванні зерна протягом 10-15 хв. Збільшувати температуру не можна, оскільки погіршується розчинність казеїну;
8. Видалення сироватки;
9. Промивання зерна казеїну пастеризованою та охолодженою водою 3 рази по 10 хвилин
10. Пресування зерна до вологовмісту 150-170%
11. Гранулювання казеїну
12. Сушіння (у завислому шарі, у нерухомому шарі)

III. Схема отримання харчового казеїну (зразок 3)

1. Сепарування незбираного молока (температура сепарування 40-45^{0}С);
2. Отримання знежиреного молока з масовою часткою жиру не більше 0,05%;
3. Пастеризація знежиреного молока (температура 72±2^{0}С протягом 15-20 сек) та охолодження до температури 30-32^{0}С;
4. Внесення хлористого кальцію та молокозсідального ферменту у знежирене молоко температурою 30-32^{0}С;
5. Зсідання знежиреного молока протягом 20 хвилин;
6. Розрізання на кубики;
7. Нагрівання до температури 58-60^{0}С при постійному вимішуванні зерна протягом 10-15 хв;
8. Видалення сироватки;
9. Промивання зерна казеїну пастеризованою та охолодженою водою 3 рази по 10 хвилин
10. Пресування зерна до вологовмісту 150-170%
11. Гранулювання казеїну
12. Сушіння (у завислому шарі, у нерухомому шарі)

IV. Схема отримання харчового казеїну (зразок 4)

1. Сепарування незбираного молока (температура сепарування 40-45^{0}С);
2. Отримання знежиреного молока з масової часткою жиру не більше 0,05%;
3. Пастеризація знежиреного молока (температура 72±2^{0}С протягом 15-20 сек) та охолодження до температури 30-35 ^{0}С;
4. Внесення лабораторної закваски «Симбітер концентрований» (4 % від об`єму знежиреного молока) (закваска складається з Bifidobacterium, Lactobacillus, Propionibacterium, Lactococcus, число штамів у пробіотику – 14, концентрація клітин 10^{12}, КОЕ/дозі). Флакон (дозу) вносили у знежирене молоко (250 см^3) температурою 30-35^{0}С, ретельно перемішували. Сквашування відбувалося протягом 4-6 годин при температурі 30-35 ^{0}С.
5. Сквашування знежиреного молока протягом 4-6 годин;
6. Розрізання на кубики;
7. Нагрівання до температури 40-48 ^{0}С при постійному вимішуванні зерна протягом 25-30 хв;
8. Видалення сироватки;
9. Промивання зерна казеїну пастеризованою та охолодженою водою 3 рази по 10 хвилин
10. Пресування зерна до вологовмісту 150-170%
11. Гранулювання казеїну
12. Сушіння (у завислому шарі, у нерухомому шарі)

Отримані згустки за наведеними вище схемами мають таку структуру (табл. 2).

Таблиця 2 - Характеристика отриманих згустків

Зразок (вид коагулянту)	Консистенція згустку
Зразок 1 (кисла сироватка)	пластівці у сироватці
Зразок 2 (закваска)	рихла та зерниста
Зразок 3 (молокозсідальний фермент)	гумоподібна, щільна
Зразок 4 (закваска „Симбітер”)	рихла та зерниста

Отримана консистенція згустків обґрунтовується наступним чином.

В 1, 2 та 4 зразках відбувається кислотна коагуляція. В 1 зразку має місце істинна коагуляція в результаті швидкого зниження pH знежиреного молока з 6,6...6,8 до 4,7...4,6. Утворився осад казеїну. Механізм істинної коагуляції полягає в зниженні негативного заряду, обумовленого карбоксильними група-

ми моноамінодикарбонових кислот (аспарагінової й глютамінової) і залишками фосфорної кислоти іонами водню сироватки (утворюється молочна кислота). Молочна кислота, як більш сильна, відщеплює кальцій від фосфату кальцію, що зв'язує субміцели казеїну в міцели, у результаті чого міцели розпадаються до субміцел, тобто осад тонкодиспергований.

При виділенні казеїну 2 і 4 способом механізм утворення згустку той же. Тільки відбувається не утворення осаду (як в 1 зразку), а утворюється гель, структура якого субміцелярна.

В 4 зразку відбувається сичужна коагуляція, механізм якої полягає в наступному.

Під дією молокозсідального ферменту χ-казеїн, що займає 50% поверхні міцели казеїну, розщеплюється між 105 і 106 амінокислотами на пара-капа-казеїн і глікомакропептид. Останній має високий заряд і володіє гідрофільністю. При його відщіпленні дзета-потенціал (заряд) на поверхні знижується майже вдвічі. У результаті зниження заряду міцели поєднуються, тому що сили притяжіння починають переважати над силами відштовхування. Утворюється гель, що складається з міцел, тобто виділений казеїн має різний ступінь дисперсності.

В 1, 2, 4 зразках - гель тонкодиспергований, частки мають розмір 10...15 нм. В 3 зразку - розмір частинок до 400 нм.

Порівняльна характеристика способів сушіння казеїну, отриманого за схемами 1...4, наведена в табл.3.

З таблиці 3 можна зробити висновок, що тривалість сушіння казеїну у завислому шарі знижується у 1,5 рази в порівнянні з сушінням у нерухомому шарі та у 8 разів в умовах вакууму і становить 30 хвилин при температурі сушіння 100^0С до кінцевого вологовмісту 10%.

Це пояснюється тим, що сушіння в завислому шарі характеризується безперервним хаотичним рухом та перемішуванням частинок у певному об'ємі по висоті, високорозвинутою поверхнею дотику матеріалу з нагрітим повітрям, оскільки при цьому способі сушіння кожна частинка рівномірно омивається потоком нагрітого повітря з усіх сторін. Це призводить до рівномірного нагрівання матеріалу, що дозволяє використовувати підвищені температури сушильного агенту (вище 100^0С) та збільшене навантаження матеріалу. Що значно скорочує тривалість сушіння, зменшує вплив теплоти на продукт, дозволяє краще зберігати властивості продукту в порівняні із сушінням у нерухомому шарі.

Таблиця 3 - Тривалість процесу сушіння казеїну у завислому та нерухомому шарі (питоме навантаження матеріалу 60 кг/м^2, швидкість сушіння 5 м/с, $w_{поч}$=170%, $w_{кін}$=4%)

Зразок (вид коагулянту)	Температура сушильного агенту, ^{0}С, при сушінні у:											
	завислому шарі						нерухомому шарі					
	70	80	90	100	110	120	70	80	90	100	110	120
Зразок 1 (кисла сироватка)	147	102	64	50	42	34	152	117	72	59	48	41
Зразок 2 (закваска)	140	90	55	44	35	28	146	98	66	52	43	34
Зразок 3 (молокозсідальний фермент)	149	111	68	53	44	36	154	120	74	62	51	45
Зразок 4 (закваска „Симбітер”)	145	96	61	47	39	32	150	114	70	57	46	39

Казеїн, отриманий за схемами 2 та 4 висушується швидше в порівнянні з казеїном, отриманим за іншими схемами як в завислому, так і в нерухомому шарі. Це пояснюється тим, що зразки 2 та 4 мають рихлу та зернисту структуру (тонко дисперсний склад – частинки мають розмір 10...12 нм).

Використання закваски «Симбітер концентрований» дозволяє скоротити тривалість сквашування знежиреного молока у порівнянні з закваскою FD DVS CH-N 22 з 8-12 годин до 4-6 годин. Також скорочується тривалість процесів пресування та сушіння казеїнового зерна через достатньо високий ступінь його зневоднення за рахунок витримування при температурі 40-48°С до 30 хвилин.

Казеїн, отриманий за схемою 3 (сичужний) має гумоподібну структуру (розмір частинок до 400 нм), тому важче віддає вологу при сушінні.

Тривалість сушіння казеїну (зразок 1, вид коагулянту – кисла сироватка) у вакуум-сушарці наведена на рис. 1.

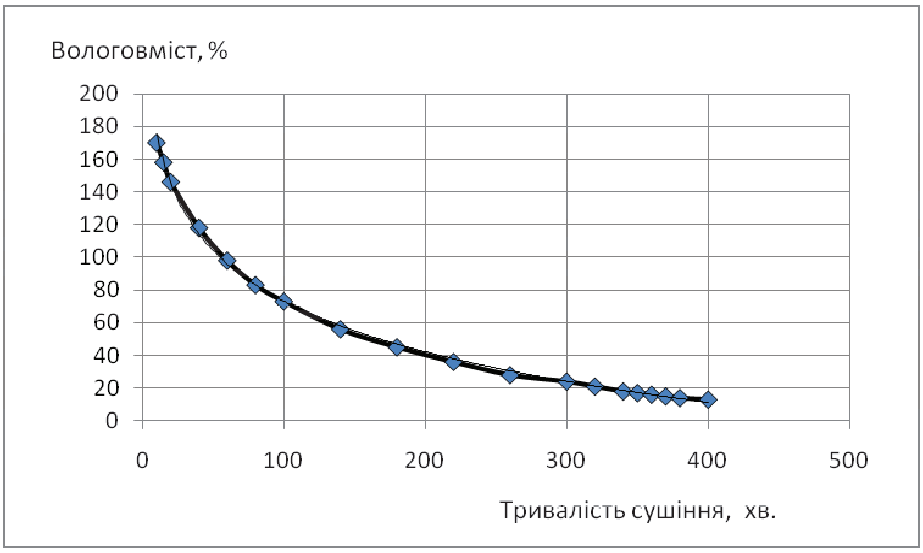

Рис. 1 - Крива сушіння казеїну у вакуум-сушарці з кондуктивним теплопідведенням (t = 75 ^{0}C, залишковий тиск 0,05 атм.)

Процес сушіння казеїну, отриманого за схемою 1, у вакуум-сушарці триває 400 хв до кінцевого вологовмісту 4%. Але якість отриманого сухого казеїну досить висока і відповідає вимогам стандарту.

В процесі сушіння у завислому шарі досліджували вплив температури сушильного агенту, питомого навантаження, початкового вологовмісту казеїну на тривалість сушіння:

– температуру сушильного агенту змінювали в діапазоні температур від 70 до 120 ^{0}C;
– вплив питомого навантаження на тривалість сушіння проводили при 40, 80, 100, 120 кг/м^2;
– вплив початкового вологовмісту казеїну проводили при 100, 170 та 250 %.

Для вивчення впливу температури сушильного агента й потенціалу на тривалість сушіння була проведена серія дослідів із зразком 1. Питоме навантаження для казеїну становило 60 кг/м^2, швидкість повітря - 5 м/с, температура сушильного агента на вході в робочу камеру: 70, 80, 90, 100, 110 і 120 °С (рис. 2).

2 – 70 °С; 3 – 80 °С; 4 – 90 °С; 5 – 100 °С; 6 – 110 °С; 7 – 120 °С; 8 – 140 °С

Рис. 2 – Вплив температури сушильного агенту на процес сушіння казеїну

Аналізуючи представлені криві сушіння можна відзначити, що з підвищенням температури тривалість процесу значно скорочується. Підвищення температури нагрітого повітря до 100 °С скорочує процес в 3 рази в порівнянні із сушінням при 70 °С ; до 120 °С – в 5,5 раз.

При високотемпературному сушінні відбувається значна інтенсифікація видалення залишкової вологи. Це пояснюється переміщенням вологи усередині частинок матеріалу переважно у вигляді пари та випаровуванням вологи в повному обсязі частинок, що призводить до виникнення градієнта тиску всередині матеріалу, що сприяє прискореному видаленню вологи.

При температурі повітря вище 120 °С спостерігається потемніння кольору. Потемніння досліджуваних матеріалів можна пояснити реакцією меланоїдиноутворення, при якій реагують амінокислоти і редукуючі цукри, що мають альдегідну групу, до яких відноситься лактоза.

Тому такі термолабільні продукти, як казеїн, сушити при температурі сушильного агента вище 120°С небажано. Оптимальними температурами, при яких відбувається інтенсифікація видалення залишкової вологи, є 100°С.

Вміст вологи в казеїні є важливим чинником, від якого залежить процес сушіння. Для підвищення ефективності процесу сушіння доцільно досліджувати можливість використання для сушіння сировини із проміжною вологістю, тобто робити попередній відбір вільної вологи із сировини (часткове зневоднювання) відомими методами. Зниження масової частки вологи в сировині дає можливість знизити енерговитрати при сушінні.

Вільну частину структурнозв'язаної вологи видаляли шляхом пресування до вологовмісту 150 - 170%. Під час пресування зерна казеїну внаслідок своєї пластичності змінюють форму злипаються одне з одним. Тому після пресування казеїн подрібнювали протиранням через дрібні отвори, одержуючи гранули розміром 5 мм, що сприяло збільшенню поверхні випаровування. Крім того, гранульований казеїн більш стійкий до високих температур, ніж негранульований, і його можна висушити значно швидше, не побоючись побуріння зерна казеїну, що спостерігалося при сушінні непресованого й негранульованого казеїну.

При однакових розмірах зерен вся маса рівномірно знезводнюється і є однорідною за вмістом вологи й за кольором.

На рис. 3 наведені криві сушіння зразків казеїну з різним початковим вологовмістом. Дослідження проведені при наступних параметрах: температура й швидкість сушильного агента – 90 °С та 5 м/с, відповідно, питоме навантаження – 60 кг/м^2 , початковий вологовміст - 250 %, 150 % і 100 %. Зниження початкового вологовмісту призводить до значного прискорення процесу сушіння казеїну до кінцевого вологовмісту 4 % і нижче.

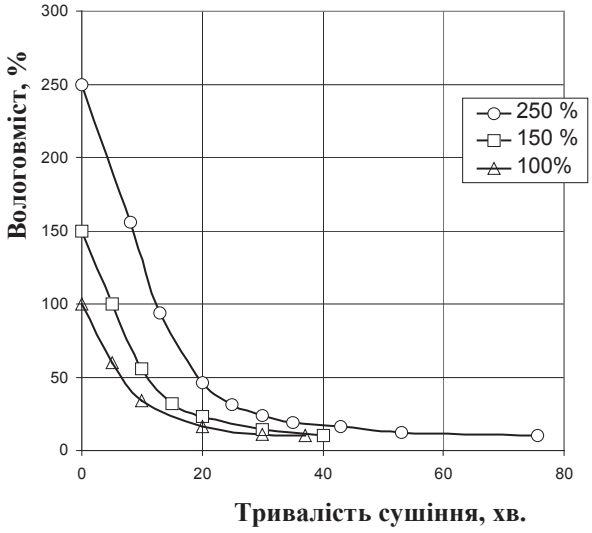

Рис. 3 - Вплив початкового вологовмісту казеїну на тривалість сушіння

Так, при початковому вологовмісті 250 % тривалість сушіння становить 76 хв, при 150 % – 40 хв, при 100 % – 36 хв. Тобто, при видаленні вільної вологи до початкового вологовмісту 150 % вологовміст зменшується в 1,7 рази, тривалість сушіння в 1,9 разів, внаслідок чого знижуються енергетичні витрати на процес зневоднення казеїну. До того ж, подача в сушильну установку казеїну з високим вмістом вологи несприятливо позначається на ході процесу сушіння і якості сухого казеїну. Казеїн прилипає до несучих поверхонь, забиває отвори основи робочої камери, ускладнюючи циркуляцію через них повітря. При температурі сушильного агента 110 °С колір сухого казеїну з початковим вологовмістом 250 % світло коричневий, тоді як з вологовмістом 150 % – жовтий. Таким чином, пресування казеїну до вологовмісту 150-170 % і гранулювання його перед сушінням є доцільним.

Видалення вільної вологи пресуванням до вологовмісту 100 % незначно впливає на прискорення процесу сушіння – тривалість сушіння скоротилася на 4 хв, отже, є нераціональним.

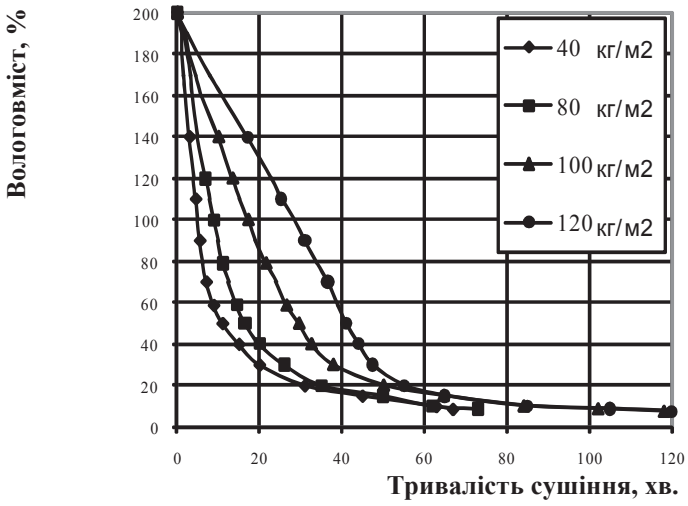

Рис. 4 – Вплив питомого навантаження казеїну на тривалість сушіння

Однією з переваг сушіння в завислому шарі в порівнянні із сушінням у нерухомому шарі є те, що питоме навантаження матеріалу може бути значним. При сушінні в киплячому шарі питоме навантаження матеріалу може досягати 100...120 кг/м^2.

Вплив первісного питомого навантаження на одиницю робочої поверхні камери вивчали при температурі сушильного агента на вході 80 °С. Швидкість повітря становила 5 м/с, тому що згідно даним професора М.А. Грішина, це мінімальна швидкість повітря, що забезпечує рівномірний турбулентний рух і перемішування частинок, тобто зважений стан шару. Питомі навантаження в окремих дослідах становили 40, 80, 100, 120 кг/м^2 (рис.4).

У розвинутій стадії завислого шару вихідне питоме навантаження матеріалу впливає на період постійної швидкості сушіння: спостерігається зменшення швидкості сушіння із збільшенням питомого навантаження. На загальну ж тривалість процесу питоме навантаження матеріалу впливає незначно. Застосування підвищених питомих навантажень інтенсифікує процес – у цьому полягає одна з переваг сушіння казеїну в завислому шарі.

За результатами роботи зроблені наступні висновки:

1. Тривалість сушіння казеїну у завислому шарі знижується у 1,5 рази в порівнянні з сушінням у нерухомому шарі та у 8 разів в умовах вакууму і становить 30 хвилин при температурі сушіння 100^{0}С до кінцевого вологовмісту 10 %.
2. Найменша тривалість сушіння спостерігається у зразках, отриманих кислотною коагуляцією (зразки 1, 2, 4) як у завислому, так і у нерухомому шарі, у порівнянні із зразком, отриманим сичужною коагуляцією (зразок 3).
3. Питомі навантаження казеїну в межах 40...120 кг/м^2 практично не впливають на тривалість сушіння. Із збільшенням питомого навантаження підвищується продуктивність сушильної установки.
4. Пресування скорочує тривалість сушіння в 1,7...2 рази, що призводить до підвищення якості сухого продукту й економії енергоресурсів.
5. На прискорення процесу сушіння значний вплив має температура сушіння нагрітого повітря. Із збільшенням температури тривалість процесу значно скорочується. Підвищення температури нагрітого повітря із 70 до 100 °С скорочує процес у 3 рази, до 120 °С - у 5,5 рази.

Науково обґрунтована можливість одержання сухого казеїну з добрими якісними показниками способом сушіння у завислому шарі, у нерухомому шарі й під вакуумом.

Визначено режими сушіння харчового казеїну з метою забезпечення високої інтенсивності процесу, мінімізації питомих енерговитрат при максимальному збереженні якісних показників. Режим сушіння харчового казеїну у завислому шарі: температура сушильного агенту 100-110 ^{0}С, швидкість сушіння – 5 м/с, питоме навантаження матеріалу – 100-120 кг/м^2, початковий вологовміст казеїну – 150-170 %.

Література

1. Гришин, М.А. Тепловая сушка творога /М.А.Гришин, Н.И.Погожих, В.А.Потапов //Прогрессивные технологии и формирование рыночных отношений в общественном питании: сб. науч. тр. ХИОП. – Харьков, 1992. – С. 57-60.
2. Недобийчук, Т.В. Разработка технологии сушки творога во взвешенном слое. Дис…канд. техн. наук: 05.18.04. - Одесса, 2003.
3. Пищевая химия /Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Под ред. А.П.Нечаева. Изд. 4-е, испр. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.