

Т.М. Бурушкіна, В.В. Ратушняк, В.І. Количев, В.М. Преподобний, Ю.О. Плотніков

Державна установа «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Київ

ОТРИМАННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОДИСПЕРГОВАНИХ ПРОДУКТІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ



Створено умови маловідхідного перетворення цілісної зернобобової сировини (насіння сої, люпину, амаранту, вівса, пшениці, гречки) у високодисперсні емульсійно-суспензійні рідкі і пастоподібні системи, яким притаманна здатність до агрегативної сталості протягом 5–15 діб без використання стабілізаторів і емульгаторів. Системи мають практично повний набір їстівних, біологічно активних речовин і мінеральних компонентів вихідних рослин.

Ключові слова: агрегативно сталі емульсійно-суспензійні системи, цілісна рослинна сировина, диспергатор-гомогенізатор.

Починаючи від середини ХХ століття у провідних країнах світу спостерігається тенденція до розширення асортименту харчових продуктів з рослинного білка та поступової заміни білка тваринного походження рослинними білками (сої, сочевиці, люпину, гороху, амаранту, вівса) [1–3]. Найбагатшим за складом і найпоширенішим за посівами джерелом харчового білка є соєве насіння. У західних країнах використовують переважно протеїнові концентрати, шроти та борошно, в основу виготовлення яких (здебільшого за технологіями США і на відміну від технологій Сходу) покладена диференціація на складові через вологотеплову обробку, обробку органічними розчинниками, обробку подрібненого знежиреного насіння пероксидними, лужними, сольовими розчинами, ультрафільтрація та перевисадження білків. Це обумовлює багатостадійність і енергоємність технологій та видалення більшої частини біологічно активних речовин сої. Компенсуються наслідки додаванням вітамі-

нів, жирів, вуглеводів, емульгаторів, ароматизаторів та ін. до білкових ізолятів або концентратів [2, 4].

Раніше в СРСР і в Україні запровадження сої в харчовій промисловості базувалося на переробці насіння з повним вмістом олії [1, 5]. Однак технології були занадто багатостадійними, енергетично великовитратними, із значними відходами сировини (до 20 %), з великими об'ємами забрудненої води. У 80–90-х рр. минулого століття схеми переробки сої на харчові і кормові продукти зазнали позитивних змін і були задовільними на той час, хоча частина недоліків минулих технічних рішень залишилася (довготривалість ряду стадій, велика кількість твердого осаду, висока температура обробок та ін.) [6, 7], що обумовлює актуальність пошуків новітніх рішень.

Початкова стадія переробки в усіх випадках — це зменшення розмірів оброблюваного матеріалу через плющення та подрібнення. Процеси і засоби поліморфного перетворення твердої речовини (в т.ч. і рослинного походження) у порошки або гомогенні суспензійні системи — важливий об'єкт неослабної на су-

часному етапі уваги вчених — представників напрямку фізичної хімії твердих тіл. В залежності від призначення і виду рослинної сировини використовують два прийоми подрібнення твердої речовини: «сухе» подрібнення — для перероблення насіння зернових культур, шротів і «вологе» — для перероблення насіння з вмістом жирів більше 5 %. У зв'язку з втратами первісної цінності компонентів рослин переробка зернових культур не менш вразлива, ніж переробка високобілкових. Виготовлення порошків (борошна) із зернових культур включає видалення насінневих і плодових оболонок, алейронового шару та зародків, а після цього сортовий помел залишку для отримання дисперсій з різними розмірами часточок (різних сортів) методом багаторазового поетапного процесу *подрібнення/розсів*. Тонкому помелу (до часток з розміром 400–600 мкм) піддається практично тільки ендосперм [8]. Те ж стосується виготовлення порошків із знежиреного насіння сої, люпину, амаранту [2, 4]. За критерієм маловідхідності (2,5–3,5 %) і ступенем дисперсності (розмір часток $75 \div 105$ мкм) найбільш вдалими (але дорогими) способами виготовлення тонких порошків є технології фірми BÜHLER (Швейцарія) [2]: 1) з повножирного насіння сої, лущеного при температурі 120–135 °С і зневодненого до вологості 3–5 % подрібненням у 6-ролерному млині та 2) з насіння зернових без оболонок подрібненням у 8-вальцьовому верстаті.

При «вологих» способах подрібнення окрім механіки диспергування велике значення має інтенсивність перемішування двохфазної системи (*твердої подрібнюваної і рідкої дисперсійної*) та співвідношення фаз. Принципово способи отримання суспензій не відрізняються від ряду способів отримання емульсій (окрім конденсаційного) — різниця лише в об'єктах диспергування і енергетичних витратах. Вважається, що при поєднанні безперервного зсуву і вібрації фактором руйнування колоїднодисперсних структур (якими є біологічні об'єкти) стає примусова осциляція, а за раху-

нок безперервного зсуву повинно відбуватися перенесення фрагментів зруйнованої речовини і формування нової, більш одноріднодисперсної структури. Поки що такі умови формування висококонцентрованих суспензій втілені лише для систем із високодисперсних часточок SiO₂ (аеросил-300-Degussa AG). Серед існуючих апаратів придатними можуть бути такі, в яких діючими факторами є зсувно-турбулентні процеси, коли подрібнення відбувається в кільцевому зазорі між статором і ротором під дією сил, що виникають на поверхні лопаті.

Цей принцип реалізується у колоїдних млинах з конічними зазорами малого розміру, він потребує тонкої юстировки для співпадання осі статора і ротора та конічної зовнішньої поверхні статора з конічною внутрішньою поверхнею ротора [9]. Ступінь подрібнення становить кілька мікрон. В апаратах, де подрібнення відбувається за рахунок пульсацій тиску, механічної дії роторів, гідродинамічних умов у зазорах між ротором і статором, суттєвими для руйнування стають гідродинамічні умови (помпаж), коли окружна швидкість рідини в зазорах може змінюватися від нуля до швидкості обертання ротора. Тверді частки транспортуються рідиною у зазор, де і руйнуються. Варіанти таких апаратів називаються *роторно-пульсаційними* (РПА) та *роторно-імпульсними* (РІА). До числа апаратів такого типу належать розробки Інституту технічної теплофізики НАН України, деякі з них призначені для харчової переробної промисловості як диспергатори і гомогенізатори плодових і овочевих культур.

В індустріально розвинених країнах широко проводяться розробки апаратів для перемішування і диспергування рідинних гетерогенних систем із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Відомі роботи *Ободовича О.М.* [10] стосуються диспергування насіння повножирної сої в апараті з дискретно-імпульсним введенням енергії після термовологої обробки насіння при температурі 95–98 °С для виготовлення соєвої

пасти, в якій основну частину переробленого насіння складають частинки з розміром 30÷90 мкм. Заслужують уваги також досліді з подрібнення рослинної сировини в гідродинамічному кавітаційному диспергаторі з ДІВЕ, в яких показано, що гранулометричний склад подрібненої сировини суттєво залежить від діаметра ротора і частоти обертання, а часточки з розміром 5÷50 мкм отримували тільки при діаметрі ротора 80–120 мм і частоті обертання 70 с⁻¹ [11]. З наведеного вище огляду літературних даних щодо можливостей подрібнення зернобобової сировини видно, що отримання високодисперсних емульсійно-суспензійних систем рослинного походження з використанням існуючого обладнання майже неможливе.

Наша робота — результат дослідів і розробок маловідхідних способів переробки сільськогосподарської цілісної повножирної рослинної сировини (насіння сої, люпину, амаранту, вівса, пшениці, гречки) для виготовлення харчових продуктів або добавок до них у вигляді високодисперсних систем: борошна та емульсійно-суспензійних агрегативно сталих рідких і пастоподібних утворень без використання високотемпературних обробок та без додавання емульгаторів, стабілізаторів, одорантів, барвників. За визначених умов вирішення поставленої задачі ми взяли за основу варіації фізико-хімічних параметрів усіх стадій переробки: від вологотеплової обробки на-

сіння до інактивації ліпоксидази, інгібіторів трипсину, уреаз, видалення надлишків тяжких металів і зниження рівня мікробного забруднення при виготовленні харчових і лікувально-профілактичних продуктів, які в своєму складі мають усі корисні компоненти сировини, в тому числі білки, вітаміни, мінерали, вуглеводи, жири, клітковину разом з асоційованими білками і жирами. Вид і хімічний склад об'єктів дослідження наведено в табл. 1.

Оскільки робота включала дослідження умов подрібнення зернових, зернобобових і інулінвмісних культур, ми вважали за необхідне визначити можливий і достатній набір відомих подрібнюючих і змішуючих апаратів та знайти нові технічні рішення, спроможні забезпечити бажані характеристики дисперсності. Для оцінки результатів дослідів користувалися умовною класифікацією дисперсних систем за розміром часточок (табл. 2 [12]) та широкоживаними методами ситового аналізу, мікроскопії (прибор БІО-ЛАМ-70), методом аналізу наноматеріалів та характеристизації дисперсних систем (Zetasizer-R Nano S, Mauvern Ltd., Mauvern — Великобританія).

Пропонований нами спосіб виготовлення борошна із суцільного зерна пшениці та ряду інших культур (жита, гречки, сої) включає очищення насіння від сміття, лущення, грубе і тонке подрібнення насіння і відрізняється від відомих способів тим, що лущенню (видален-

Таблиця 1

Хімічний склад зразків рослинної сировини, % сухої речовини (СР)

| Зразок | Білки, % | Жири, % | Вуглеводи, % | Зола, % |
|------------------------|----------|---------|--------------|---------|
| Соя нативна | 42,2 | 20,9 | 16,3 | 6,1 |
| Соя лущена | 41,4 | 20,8 | 16,7 | 6,0 |
| Соя мікронізована | 43,5 | 21,3 | 16,4 | 6,6 |
| Люпин нативний | 38,3 | 6,8 | 25,7 | 4,4 |
| Сочевиця нативна | 24,9 | 1,5 | 46,4 | 2,9 |
| Амарант нативний | 14,4 | 6,4 | 60,2 | 3,8 |
| Топінамбур, бульби | 2,2 | 0,2 | 16,6 | 1,0 |
| Сорго цукр. (стеблини) | 6,8 | 0,05 | 76,4 | 5,2 |

ню) підлягає тільки зовнішня насіннева оболонка, а подрібненню піддається ціле зерно з висівками, з алейроновим шаром, з зародками при вологості насіння 5–12 % [13]. Тонке подрібнення досягається за рахунок циркуляції

шару насіння в молотковому подрібнювачі закритого типу з шарнірно закріпленими молотками пластинчастої форми, в якому регулюється зазор між нерухомою рифленою частиною апарату і рухомими пластинами 2÷5 мм, обладнаному відбірковими решетами з розмірами отворів 0,5÷1,0 мм. Робочий зазор у подрібнювачі регулюється коловою швидкістю пластинчатих молотків 65÷80 м/с і шириною пластинчатих молотків 1÷5 мм у залежності від розміру часточок сировини після грубого подрібнення. Апарат призначено для виготовлення борошна з цілісного насіння пшениці з довільною вологістю. При спробі в такий же спосіб виготовити борошно з повножирної сої чи вівса виявилися ускладнення у самому процесі і опісля його проведення, а саме: налипан-

Таблиця 2

Умовна класифікація ступеню подрібнення за розміром часточок дисперсних систем

| Ступінь подрібнення | Розмір часточок, мкм |
|---------------------|----------------------|
| Велике | 10000÷1000 |
| Середнє | 1000÷100 |
| Дрібне | 100÷10 |
| Тонке | 10÷0,1 |
| Колоїдний стан | 0,1÷0,001 |

Таблиця 3

Фракційний склад порошку з насіння сої при перетині отвору деки млина 0,75 мм

| Сировина, спосіб обробки | Вміст фракції порошку на ситі, мас % | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|---------|--------|----------|---------|----------|------|
| | 1,02 мм | 0,75 мм | 0,5 мм | 0,385 мм | 0,25 мм | 0,075 мм | Зал. |
| Соя цілісна необрушена | 0,3 | 0,3 | 6,3 | 21,3 | 43,0 | 28,5 | 0,6 |
| Соя лущена | 2,7 | 1,6 | 11,1 | 23,7 | 23,0 | 37,5 | 0,4 |
| Соя лущена мікронізована | 0,1 | 1,2 | 10,5 | 13,2 | 34,7 | 40,1 | 0,2 |

Таблиця 4

Фракційний склад порошку з насіння амаранту в залежності від перетину отворів деки млина

| Перетин отворів деки млина, мм | Вміст фракції порошку на ситі, мас. % | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------|--------|---------|----------|------|
| | 1,02 мм | 0,75 мм | 0,5 мм | 0,25 мм | 0,075 мм | Зал. |
| 1,00 | — | 0,67 | 6,22 | 14,16 | 63,49 | 0,75 |
| 0,75 | — | 0,31 | 1,47 | 23,74 | 72,74 | 1,74 |
| 0,5 | — | 0,25 | 25,94 | 44,22 | 27,67 | 1,81 |

Таблиця 5

Фракційний склад порошку з насіння люпину в залежності від перетину отворів деки млина

| Перетин отворів деки млина, мм | Вміст фракції порошку на ситі, мас. % | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------|--------|---------|----------|------|
| | 1,02 мм | 0,75 мм | 0,5 мм | 0,25 мм | 0,075 мм | Зал. |
| 1,00 | 2,9 | 0,97 | 8,22 | 15,15 | 72,14 | 0,62 |
| 0,75 | 2,0 | 0,52 | 2,47 | 20,53 | 73,25 | 1,27 |
| 0,5 | 1,6 | 0,30 | 23,94 | 34,25 | 38,23 | 1,68 |

ня шару подрібненого матеріалу (сої) або великий розбіг за розміром часточок подрібненого насіння (овес). У результаті дослідження впливу умов підготовки до подрібнення і виготовлення порошоків із насіння сої цілісної (необрушеної), сої лущеної, сої мікронізованої, сої частково знежиреної, повножирного насіння люпину і амаранту були визначені прийнятні параметри зволоження (2; 5; 11 %), короткочасної обробки ГЧ-випромінюванням при температурі не вище 120 °С. Позитивний вплив обраних умов підготовки насіння до подрібнення відображено в табл. 3, дані якої стосуються фракційного складу часточок подрібненого лущеного і мікронізованого насіння сої і показують суттєве зростання ступеню дисперсності порошоків.

Те ж саме спостерігали і при подрібненні насіння культур, що характеризуються меншою в'язкістю насіння через менший, ніж у насінні сої, вміст жирів, – амаранту і люпину (табл. 4, 5).

Таким чином, показано, що при використанні розробленого нами подрібнювача і за певних визначених умов попередньої обробки насіння культур з більшим вмістом жирів, ніж у насінні пшениці, можна отримати порошки, які відповідають за розмірами частинок другому сорту борошна пшениці. Порошки мають задовільні органолептичні властивості. На їх основі розроблено спосіб виготовлення молокоподібних напоїв [14], за комплексом показників вони не поступаються «соевому молоку»

з порошоків за патентами BУHLER [2]. Однак навіть при оптимальних умовах підготовки насіння і параметрах роботи подрібнювача утворення з високодисперсних порошоків емульсійно-суспензійних рослинних композицій, стійких до розшарування хоча б 1–2 год, маловірогідне без додавання емульгаторів або без послідуєчого подрібнення і гомогенізації у присутності дисперсійного середовища.

Отримання високодисперсних гетерогенних за фазовим і хімічним складом рослинних продуктів вважали можливим за таких умов:

1) використання пристроїв, здатних забезпечити процеси подрібнення (диспергування) до певних заданих характеристик;

2) використання неагресивних фізико-хімічних і механічних факторів дії на вихідну сировину, які можуть обумовити утворення стійких до агрегації систем із цілісного насіння, в складі яких будуть присутні всі основні компоненти їстівної частини рослини.

Оскільки склад, структура насіння і умови поглинання води можуть у різній мірі впливати на зменшення стійкості до механічної дії, на ступінь диспергування цілісної рослинної сировини, то досліджували процеси поглинання води насінням сої, люпину, амаранту у водних середовищах при $pH = 1,2 \div 12,5$ та температурі $15 \div 90$ °С у слабких розчинах кислоти, лугу, хлориду натрію, моно- та дисахаридів. Дані табл. 6 і 7 ілюструють вплив хімічного складу середовища і тривалості набрякання на при-

Таблиця 6

Зміна маси зразка насіння сої цілісної (%) при контакті з дистильованою водою в залежності від часу і температури контакту

| Тривалість, год | Температура, °С | | | | | |
|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 16 | 26 | 35 | 55 | 75 | 90 |
| 0,5 | 123 | 123,2 | 125,3 | 138,9 | 147,0 | 161,6 |
| 1,0 | 140 | 137,7 | 149,2 | 161,2 | 167,7 | 203,4 |
| 1,5 | 149 | 150,2 | 162,4 | 182,8 | 194,1 | 214,9 |
| 2,0 | 160 | 163,3 | 175,2 | 196,4 | 217,9 | 218 |
| 3,0 | 168 | 189,9 | 196,5 | 221,0 | 228,5 | 219,8 |
| 22,0 | 225 | 231,3 | 233,0 | 233,3 | 220,8 | 230,1 |

ріст маси насіння сої і дозволяють оптимізувати умови набрякання.

Отже, було визначено максимальний приріст маси і об'єму насіння усіх об'єктів дослідження, оцінено якісний і кількісний склад перерозподілу маси між рідкою і твердою фазами в процесі набрякання і встановлено, що перенесення маси білків у рідку фазу не перевищує 0,01 %, сахаридів – 2 %. Найбільші зміни спостерігалися в мінеральному складі насіння: вміст неорганічної складової насіння зменшується на 10–50 % у ряду від легких (S, P, K) до важких (Cr, Mn, Co, Cu, Sr, Cd) елементів. Виявлена можливість і визначені умови (підкислений розчин, дія НВЧ-випроміню-

вання) необоротної інактивації ліпоксидази, уреаз, інгібіторів трипсину та поліфенілоксидази (стосується топінамбуру), що упереджує погіршення складу і органолептичних властивостей суспензій з бобових рослин і розчинів цукристих речовин із топінамбуру.

З використанням вітчизняних подрібнювачів-гомогенізаторів (ультразвукового диспергатора, роторно-пульсаційних апаратів трьох модифікацій, в тому числі роторно-імпульсного апарату (PIA) Інституту харчової хімії і технології (ІХБГ) НАН України, який було розроблено для середньомасштабного за продуктивністю технологічного процесу диспергування, гомогенізації та одержання водних суспензій сої [14]) досліджено вплив умов попередньої обробки (механічної, термічної, обводнення, рН середовища і тривалості) зразків насіння сої, люпину, амаранту та гречки на фракційний склад частинок в отриманих суспензіях. Встановлено, що утворення агрегативно стійких протягом не менш 20 хв систем потребує п'яти–шестикратної циркуляції водно-насінневої суміші для подрібнення в таких апаратах набряклого в оптимальних умовах насіння при модулях $1/4 \div 1/10$. Оскільки фракційний склад за розміром частинок в суспензіях, отри-

Таблиця 7

Приріст маси насіння сої (%) у водних середовищах з різним рН в залежності від тривалості обробки

| Тривалість, год | рН | | | |
|-----------------|-----|-----|------|------|
| | 2,5 | 8,0 | 11,4 | 12,5 |
| 0,25 | 26 | 16 | 37 | 23 |
| 0,5 | 40 | 32 | 52,3 | 42 |
| 1,0 | 53 | 50 | 69 | 61 |
| 2,0 | 72 | 72 | 96 | 90 |

Таблиця 8

Розподіл сухої речовини (СР) в рідкій і твердій фазі, фракційний склад за розміром часточок твердої фази після подрібнення зразків набряклого насіння сої, люпину, амаранту і гречки в роторно-імпульсаційному апараті (n = 4)

| Показник, од. виміру | Соя лущена | Люпин лущений | Амарант | Гречка без оболонки |
|---|--------------|---------------|--------------|---------------------|
| СР в суспензії, % | 10,58 ± 0,20 | 9,62 ± 0,32 | 18,33 ± 0,25 | 10,40 ± 0,18 |
| СР в осаді, % | 8,43 ± 0,34 | 7,49 ± 0,41 | 16,00 ± 0,31 | 9,19 ± 0,30 |
| СР в рідкій фазі, % | 2,15 ± 0,19 | 2,12 ± 0,23 | 2,28 ± 0,34 | 1,21 ± 0,21 |
| Кількість суспензії, мл | 880 ± 2 | 890 ± 2 | 878 ± 2 | 882 ± 2 |
| Розподіл СР за фракційним складом твердої фази, % | | | | |
| 2500–500 мкм | 15,03 ± 1,26 | 12,82 ± 1,09 | 14,64 ± 0,97 | 4,66 ± 0,41 |
| 500–250 мкм | 30,96 ± 2,60 | 21,95 ± 1,27 | 21,95 ± 3,16 | 17,43 ± 1,51 |
| 250–150 мкм | 26,43 ± 2,21 | 33,56 ± 2,74 | 32,78 ± 2,60 | 39,67 ± 3,83 |
| 150–50 мкм | 21,21 ± 1,79 | 24,78 ± 3,42 | 23,18 ± 2,41 | 27,09 ± 2,49 |
| Менше 50 мкм | 5,93 ± 0,50 | 6,71 ± 0,79 | 6,16 ± 0,39 | 9,79 ± 0,54 |

маних в різних апаратах, відрізнявся на 5–10 %, то в табл. 8 наведені характеристики суспензій з насіння за п'ять циклів обробки в РІА, з яких випливає, що у суспензіях переважають частинки з розміром 150–500 мкм, а термін до розшарування складає від 10–20 хв (суспензії з насіння гречки) до 1,5–2 год (соя, люпин).

Широкий діапазон фракційного складу і габаритів твердих часточок та неоднорідність суспензій ілюструються мікрофотографією краплі суспензії з насіння сої (рис. 1). Проби для мікрофотографій виготовлено нанесенням краплі суспензії на предметне скло, зйомка на просвіт проводилася через кожні 5 хв до видимого висихання рідини, збільшення об'єктів спостереження складало 32–400 разів.

Для отримання високодисперсних композицій з рослинної сировини розроблено і виготовлено диспергатор-гомогенізатор (ДГ) [15, 16]. Диспергатор-гомогенізатор за принципом дії подібний до дискового колоїдного млина мокрого подрібнення (взаємодія рухомого і нерухомого дисків) з суттєвою різницею від уже відомих за такими ознаками:

- ✦ формування шару суспензії, що обробляється;
- ✦ переміщення шару суспензії в робочій камері;
- ✦ регулювання величини зазору між рухомим і нерухомим дисками, яке здійснюється послідовно за допомогою пристрою грубого і тонкого регулювання.

Суть розробки полягає в тому, що ширина і стан потоку регулюється не тільки за рахунок відстані між рухомою і нерухомою поверхнями, а й за рахунок спеціально розробленої форми поверхні робочих органів, що забезпечує обробку емульсій або суспензій і отримання дисперсій з розміром часточок не більш 0,5 мкм у перетині. Звісь твердих часток у воді рухається між двома поверхнями з малим зазором, одна з яких рухається з великою швидкістю відносно другої. Крім ефекту подрібнення важливим є те, що в малому зазорі (0,05–0,1 мм) при лінійній швидкості потоку в межах 30–125 м/хв формуються значні завихрення, що сприяє розподіленню частин за поверхне-

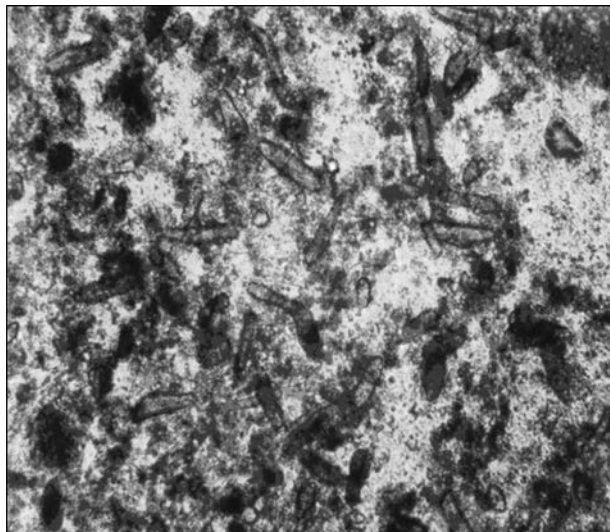


Рис. 1. Мікрофотографія проби з об'єму суспензії, отриманої в апараті РІА з набряклого при 50 °С в дистильованій воді необрушеного насіння сої (збільшення $\times 148$)

вими гідрофільними та гідрофобними властивостями, — вони самі стають стабілізаторами утвореної дисперсії.

Характеристики диспергатора-гомогенізатора:

- ✦ апарат працює без насоса, суспензія переміщується за рахунок обертання рухомої поверхні робочої камери;
- ✦ обертання ротора забезпечується двигуном потужністю 0,7 кВт з числом обертів 3000 за хвилину;
- ✦ зазор між поверхнями ротора і статора — 500 \div 3 мкм;
- ✦ продуктивність переробки суспензії в ДГ при модулі в межах 1:6 \div 1:10 в залежності від зазору між дисками в межах 15 \div 3 мкм — 138,5 \div 3,5 л/год;
- ✦ швидкість обертання рухомої поверхні робочої камери — 50/с⁻¹;
- ✦ об'єм робочої камери — 0,3 дм³;
- ✦ габарити — 175 \times 205 \times 325 мм.

Апарат диспергатор-гомогенізатор призначений для тонкого подрібнення і гомогенізації рослинної сировини після первинного грубого подрібнення набряклого насіння (напр., в роторно-пульсаційному апараті). В табл. 9 зі-

ставлені характеристики суспензій, отриманих в розробленому диспергаторі-гомогенізаторі і в роторно-пульсаційному апараті.

Результати однозначно вказують на перевагу подрібнювальної здатності розробленого апарату: більша частина маси відцентрифугованого з високодисперсної суспензії осаду представлена частинками з розміром 150÷50 мкм і менше. Незалежним методом з використанням модуля аналізу наноматеріалів та характеристики дисперсних систем показано, що

понад 90 % твердої речовини рослин після обробки в диспергаторі-гомогенізаторі складають частинки з розмірами 1000–1500, 3500–4500 нм в залежності від умов набрякання (відповідно лужний розчин чи дистильована вода) і умов обробки (величина зазору між робочими поверхнями диспергатора в діапазоні 3–15 мкм). Позитивні зміни ступеню дисперсності за фракційним складом твердої фази у високодисперсній (ДГ) і первинній (РПА) суспензіях очевидні, наслідки їх підтверджу-

Таблиця 9

Розподіл сухої речовини (СР) в твердій фазі за розміром часточок в суспензіях із насіння сої (%) в залежності від умов обробки і подрібнення

| Розмір часточок, мкм | Масова доля часточок відповідного розміру, % | | | |
|----------------------|--|------------|-------------------|------------|
| | Лужна обробка | | Дистильована вода | |
| | Диспергатор | РПА | Диспергатор | РПА |
| більше 500 | Сліди | 1,3 ± 0,2 | Сліди | 1,9 ± 0,2 |
| 500–250 | 9,45 ± 0,05 | 15,0 ± 1 | 11,65 ± 0,04 | 17,5 ± 1,4 |
| 250–150 | 14,71 ± 0,03 | 42,5 ± 1,6 | 17,03 ± 0,07 | 46,0 ± 2,1 |
| 150–50 | 17,50 ± 0,08 | 39,8 ± 2,6 | 23,10 ± 1,02 | 33,6 ± 2,4 |
| менше 50 | 58,65 ± 1,07 | 2,4 ± 0,3 | 48,3 ± 0,08 | 1,6 ± 0,3 |

Таблиця 10

Розподіл СР між рідкою і твердою фазами, фракційний склад за розміром часточок твердої фази (%) у високодисперсних суспензіях із зразка насіння амаранту, що набрякало в середовищі з різними рН

| Показник, од. виміру | рН середовища, од. рН | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|
| | 7 | 7 | 10 |
| | Продуктивність диспергатора, л/год. | | |
| | 79,2 | 6,8 | 84,3 |
| Температура, °С | 58 | 72 | 55 |
| СР в твердій фазі, % | 21,79 ± 0,16 | 11,34 ± 0,21 | 18,39 ± 0,37 |
| СР в рідкій фазі, % | 2,81 ± 0,22 | 7,29 ± 0,17 | 4,89 ± 0,28 |
| Частки з розміром 500–250 мкм, % | 3,60 ± 0,28 | 2,56 ± 0,19 | 4,87 ± 0,34 |
| Частки з розміром 250–150 мкм, % | 23,43 ± 0,32 | 14,23 ± 0,23 | 19,69 ± 0,47 |
| Частки з розміром 150–50 мкм, % | 70,92 ± 0,93 | 81,33 ± 1,47 | 73,64 ± 2,23 |
| До розшарування | 2 доби | 15 діб | 2 доби |
| Запах | Слабкий рослинний | | |
| Колір | Сіруватий | | |
| Смак | Без присмаку | | |

ються даними про однорідність (рис. 2) і агрегативну сталість високодисперсних суспензій, отриманих з використанням розробленого диспергатора-гомогенізатора (табл. 10).

Проявом механічних напруг при обробленні в робочій камері диспергатора-гомогенізатора шару грубо подрібненого насіння у водному середовищі є підвищення температури суспензії від початкової 16–23 °С до 50–80 °С на виході з апарату. З даних табл. 9 і 10 видно, що обробка у ДГ призводить до:

- ✦ зменшення розміру часточок суспензій;
- ✦ переходу більше 70 % сухої речовини у рідку фазу;
- ✦ нагрівання тонких дисперсій до температури 50–85 °С;
- ✦ забезпечення агрегативної стійкості високодисперсних суспензій протягом 6–15 діб при температурі 8–22 °С.

Дослідні роботи по одержанню сталих емульсійно-суспензійних композицій із рослинної сировини дозволили розробити технологічну схему і апаратурне обладнання для основних стадій процесу. Технологічний процес одержання сталих емульсійно-суспензійних композицій з рослинної сировини в блочно-модульному виконанні з повною специфікацією основного технологічного обладнання для одержання сталих емульсій та суспензій харчових продуктів на прикладі виготовлення соєвого «молока» складається з таких етапів:

- ✦ приймання та підготовка сировини;
- ✦ миття насіння сої;
- ✦ обрушування сої;
- ✦ замочування; гідротермічна обробка замоченого насіння;
- ✦ убої соєвої суспензії;
- ✦ подрібнення, диспергування та гомогенізація.

Характеристика хімічного складу і агрегативної сталості зразка виготовленого за такою технологічною схемою напіврідкого продукту з цілісного насіння сої та водного середовища при модулі 1:8 представлена в табл. 11.

Дані табл. 11 вказують на відтворюваність результатів лабораторних дослідів за основни-

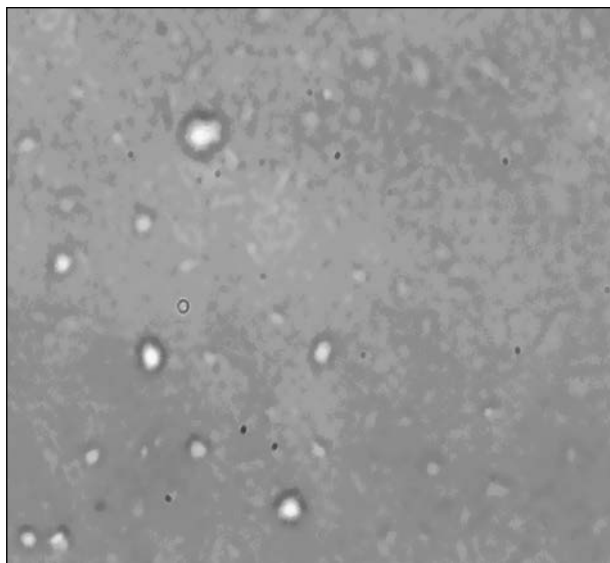


Рис. 2. Мікрофотографія проби з об'єму суспензії, отриманої в диспергаторі-гомогенізаторі із зразка набряклого в дистильованій воді насіння сої (збільшення $\times 148$)

Таблиця 11

Розподіл сухої речовини (СР) між фазами та за розміром частинок у суспензії, отриманій за технологічною схемою із суміші насіння сої і гречки (1 : 1), в залежності від тривалості обробки в диспергаторі-гомогенізаторі

| Показники, од. виміру | Тривалість обробки в ДГ | |
|---|-------------------------|--------------|
| | 5 хв | 20 хв |
| Модуль (насіння : вода) | 1 : 8 | 1 : 8 |
| Температура, °С вхід–вихід | 15→35 | 22→65 |
| СР, г/100 см ³ у водній дисперсії | 10,58 ± 0,26 | 10,46 ± 0,20 |
| СР у рідкій фазі після обробки, % | 36,8 ± 3,10 | 56,5 ± 2,18 |
| СР у твердій фазі після обробки, % | 61,68 ± 2,64 | 42,47 ± 1,16 |
| Розподіл частинок суспензії за розміром, мкм, % | | |
| 500–250 | 16,91 ± 1,13 | 3,16 ± 0,14 |
| 250–150 | 24,70 ± 1,65 | 6,04 ± 0,27 |
| 150–50 | 57,30 ± 3,90 | 89,73 ± 4,06 |

ми параметрами дисперсій і свідчать про те, що втрати сухої вихідної сировини при отриманні високодисперсної суспензії не перевищують 0,5 %.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізована доступна дослідна і технічна інформація щодо диспергування рослинної сировини і одержання з неї сталих до розшарування систем у складі білків, жирів, вуглеводів і води. Відзначено основні недоліки відомих засобів диспергування і тенденції розвитку в цьому напрямі. Розроблена конструкція і виготовлені зразки диспергатора-гомогенізатора за принципом дії дискового колоїдного млина, що забезпечує отримання емульсійно-суспензійних дисперсій з рослинної сировини з розміром часточок не більше 0,5 мкм у перетині. Розроблено і реалізовано технічне рішення щодо диспергування цілісної рослинної сировини у водному середовищі для виготовлення рідких і пастоподібних харчових продуктів з насіння сої, люпину, амаранту, вівса пшениці, гречки, коренеплодів топінамбуру.

2. Досліджено вплив умов попередньої обробки — механічної, термічної, обводнення (*pH* середовища, температура, тривалість) — зразків насіння сої, люпину, амаранту на фракційний склад суспензій, які утворюються у водному середовищі при гідромодулях 1 : 6÷1 : 9 при обробці з використанням відомих вітчизняних подрібнювачів-гомогенізаторів — роторно-пульсаційних апаратів трьох модифікацій. Показано, що отримання в таких апаратах суспензій з розмірами твердих часток не більше 20 мкм можливе тільки при багаторазовій обробці (5—6 циклів) насіння максимально набряклої лущеної сої при модулі більше 1 : 10.

3. Досліджено вплив умов диспергування на фракційний склад твердої фази і температуру утворюваних суспензій, їх органолептичні властивості, характеристики сталості суспензій після обробки у відомих та розробленому диспергаторі. Показано, що високодисперговані суспензії з сої, люпину, амаранту не мають оз-

нак розшарування при зберіганні в охолодженому стані (5÷8) °C протягом шести діб. Вражаюче високою сталістю характеризуються суспензії з насіння люпину — більше 2-х місяців.

4. Показано, що за рахунок розривних і зсувних сил, які діють на суспензію в тонкому зорі між робочими поверхнями диспергатора-гомогенізатора, подрібнення супроводжується розігрівом суспензії, розкладом і видаленням речовин, що зумовлюють природний бобовий запах і присмак, забезпечується відмінна гомогенізація, яка протидіє розшаруванню.

5. Запропоновані і відпрацьовані технологічні схеми виготовлення високодиспергованих водних харчових продуктів з цілісного насіння рослинної сировини. Продукти мають усі корисні сполуки вихідного матеріалу, стали до розшарування не менше 5-и діб, виготовлені без додавання стабілізаторів, консервантів, одорантів, барвників тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бордаков П.П.* Соя та її харчове значення / Харків: ДВОУ—Держвидав УСРР, 1931. — 60 с.
2. *Zeki Berk* Technology of production of edible flours and protein products from soybeans. Soy beans // Food and Agriculture Organization of United Nations Rome, 1992. — 253 p.
3. *Строгонов Д.А.* Формирование рынка натуральных продуктов лечебно-профилактического назначения // Пищевая пром. — 2002. — № 2. — С. 83—86.
4. *Растительный белок* / Перев. с фр. В.Г. Долгополова; Под ред. Т.П. Микулович. — М.: Агропромиздат, 1991. — 684 с.
5. *Лещенко А.К.* Культура сої на Україні. — К.: Вид-во Української академії сільськогосподарських наук, 1962. — 289 с.
6. *Шаркова Н.О., Боровський В.Р.* Соеве молоко // Харчова і переробна промисловість, — 1993. — № 12. — С. 19—20.
7. *Пат.* України 83879 МПК 2006 A23L 1/20. Спосіб одержання соєвого молока / Боровський В.Р., Ратушняк В.В.; заявл. 16.06.2006, опубл. 26.08.2008. Бюл. № 16.
8. *Нетребский А.А.* Новая технология производства высокодисперсной обойной муки // Зернові продукти і комбікорми. — 2002. — № 4. — С. 30—32.
9. *Schmitt A.* Aufbau und Arbeitsweise einer Anlage zum Emulgieren und Feindispersieren // Maschinenmarkt. — 1983. — Bd. 89. — S. 2286—2288.

10. Ободович О.М. Розроблення науково-технічних основ процесів перемішування і диспергування рідинних гетерогенних систем та апаратурне забезпечення: автореф. дис. на здобуття ступеня доктора технічних наук: спец. 05.18.12. — Київ, 2009. — 38 с.
11. Голубев В.Н., Каландадзе В.В. Измельчение растительного сырья в гидродинамическом кавитационном диспергаторе // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2007. — № 4. — С. 51—53.
12. Ур'єв Н.Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем и материалов / В кн.: Современные проблемы физической химии. — М.: Изд. дом «Граница», 2005. — С. 166—192.
13. Пат. України 21498.МПК 2006 A23L 1/20 Спосіб одержання водних соєвих дисперсій / Боровський В.Р., Ратушняк В.В.; заявл. 09.10.2006, опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.
14. Пат. України МПК 2012 B01F 7/10 A23N 1/00 Пристрій для диспергування та гомогенізації / Алєйніков В.Г., Бурушкіна Т.М., Количев В.І., Ратушняк В.В., Преподобний В.М.; заявл. 24.07.2012, опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.
15. Пат. України 102350 МПК B01F 7/10 A23N 1/02. Диспергатор-гомогенізатор / Алєйніков В.Г., Бурушкіна Т.М., Количев В.І., Ратушняк В.В., Преподобний В.М.; заявл. 24.07.2012, опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
9. Schmitt A. Aufbau und Arbeitsweise einer Anlage zum Emulgieren und Feindispersieren. *Maschinenmarkt*. 1983, Bd. 89: 2286—2288 [in German].
10. Obodovych O.M. *Rozroblennja naukovo-tehnicnyh osnov procesiv peremishuvannja i dysperguvannja ridynnyh heterogenyhn system ta aparaturne zabezpechennja*: avtoref. dys. na zdobuttja stupenja doktora tehnicnyh nauk: spec. 05.18.12. Kyiv, 2009 [in Ukrainian].
11. Golubev V.N., Kalandadze V.V. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja*. 2007, N4: 51—53 [in Russian].
12. Ur'ev N.B. *Fiziko-himicheskaja dinamika dispersnyh sistem i materialov*. V kn.: *Sovremennye problemy fizicheskoj himii*. Moskva: Izd. Dom «Granica», 2005: 166—192 [in Russian].
13. Pat. *Ukrai'ny* 21498 MPK 2006 A23L 1/20 Sposib oderzhannja vodnyh sojevyh dyspersij. Borovskij V.R., Ratushnjak V.V. zavavl. 09.10.2006, opubl. 15.03.2007, Bjul. N 3 [in Ukrainian].
14. Pat. *Ukrai'ny* MPK 2012 B01F 7/10 A23N 1/00 Prystrij dlja dysperguvannja ta gomogenizacii. Aljejnikov V.G., Burushkina T.M., Kolychjev V.I., Ratushnjak V.V., Prepodobnyj V.M. zavavl. 24.07.2012, opubl. 12.11.2012, Bjul. N 21 [in Ukrainian].
15. Pat. *Ukrai'ny* 102350 MPK V01F 7/10 A23N 1/02. Dyspergator-gomogenizator. Aljejnikov V.G., Burushkina T.M., Kolychjev V.I., Ratushnjak V.V., Prepodobnyj V.M. zavavl. 24.07.2012, opubl. 25.06.2013, Bjul. N 12 [in Ukrainian].

REFERENCES

1. Bordakov P.P. *Soja ta ii harchove znachennja*. Harkiv: DVOU—Derzhvydav USRR, 1931 [in Ukrainian].
2. Zeki Berk. *Technology of production of edible flours and protein products from soybeans*. Soy beans. Food and Agriculture Organization of United Nations Rome, 1992.
3. Stroganov D.A. *Pishhevaia prom*. 2002, N2: 83—86 [in Russian].
4. *Rastitel'nyj belok*. Perev. s fr. V.G. Dolgopolova. Ed. T.P. Mikulovich. Moskva: Agropromizdat, 1991 [in Russian].
5. Leshhenko A.K. *Kul'tura soi' na Ukrai'ni*. Kyiv: Vyd-vo Ukrai'ns'koi' akademii' sil's'kogospodars'kyh nauk, 1962 [in Ukrainian].
6. Sharkova N.O., Borovs'kyj V.R. *Harchova i pererobna promyslovisť*. 1993, N12: 19—20 [in Ukrainian].
7. Pat. *Ukrai'ny* 83879 MPK 2006 A23L 1/20. Sposib oderzhannja sojevogo moloka. Borovs'kyj V.R., Ratushnjak V.V. zavavl. 16.06.2006, opubl. 26.08.2008. Bjul. N 16 [in Ukrainian].
8. Netrebskij A.A. *Zernovi produkti i kombikormi*. 2002, N4: 30—32 [in Russian].

Т.Н. Бурушкіна, В.В. Ратушняк,
В.І. Количев, В.М. Преподобний, Ю.А. Плотников
ГУ «Інститут харчової біотехнології
і геноміки НАН України», Київ

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ВЫСОКОДИСПЕРГИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Созданы условия малоотходного превращения целостного сырья из семян бобовых и зерновых растений (сои, люпина, амаранта, овса, пшеницы, гречихи) в высокодисперсные эмульсионно-суспензионные жидкие и пастоподобные системы, обладающие способностью к агрегативной устойчивости в течение 5—15 и более суток без использования стабилизаторов и эмульгаторов. Системы обладают практически полным набором питательных, биологически активных веществ и минеральных компонентов исходных растений.

Ключевые слова: агрегативно устойчивые эмульсионно-суспензионные системы, целостное растительное сырье, диспергатор-гомогенизатор.

*T.N. Burushkina, V.V. Ratushniak,
V.I. Kolychev, V.M. Prepodobnyi, Yu.A. Plotnikov*

State Institution «Institute of Cell Biology
and Genetic Engineering», NAS of Ukraine, Kyiv

PREPARATION AND PROPERTIES
OF HIGHLY DISPERSED FOODSTUFFS
FROM RAW VEGETABLE MATERIALS

The conditions of the low-waste conversion of whole leg-
ume and cereal seeds (soy, lupine, amaranth, oats, wheat,

buckwheat) into liquid and paste-like highly dispersed emul-
sion-suspension systems with almost complete set of nutri-
ents, biologically active substances, and minerals of the ori-
ginal plants are created. These systems are aggregatively
stable for 5–15 days or more without the use of stabilizers
and emulsifiers.

Keywords: Aggregatively stable emulsion-suspension sys-
tems, holistic raw plant material, dispersing homogenizer.

Стаття надійшла до редакції 22.10.14