УДК 665.3.061.3

Бурдо О.Г., д.т.н., професор,
Буйвол С.М., аспірант ©
Одеська національна академія харчових технологій

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ЗА ВИРОБНИЦТВІА ОЛІЇ АМАРАНТУ

Вступ. В харчовій промисловості лікарську сировину використовують у вигляді водних і водо-спиртових екстрактів. При цьому основним являється екстрагування, тобто приготування настоянок [1].

Ефективність екстрагування речовини залежить перш за все від розчинності і швидкості переходу з однієї фази в іншу. Розчинність можна змінити, підбираючи розчинник, в який переходить потрібна речовина. Швидкість переходу речовини з твердої фази можна збільшувати, підвищуючи температуру розчинника. Однак, підвищення температури веде, з одного боку, до інтенсифікації процесу дифузії, а з іншого – чинить довготривалу теплову дію, яка веде до витрат БАР внаслідок їх деструкції.

За екстрагування в нерухомому чи в шарі, що перемішується, можливе злежування частинок і блокування їх поверхні іншими частинками. Якщо частинки здатні стискатись, то зі збільшенням товщини шару, чи під дією напору рідини, проникність шару погіршується. В шарі матеріалу утворюються звивисті канали. Від їх неперервності та діаметру залежить проникнення розчинника в товщину частинок. Їх злежування погіршує умови руху розчинника через матеріал; скупчення дрібних частинок в деяких місцях збільшує гідравлічний опір, ці ділянки гірше обробляються розчинниками. З вищенаведеного, до чинників, які визначають швидкість екстрагування, необхідно віднести в першу чергу структурно-механічні властивості екстрагованого матеріалу, які залежать від способу його підготовки. Зовнішня структура матеріалу характеризується розміром і формою частинок. Для максимального вилучення олії і високої швидкості процесу зовнішня структура матеріалу повинна відповідати низці умов. Передбачаються мінімальні розміри частинок для забезпечення максимальної питомої поверхні зіткнення матеріалу з розчинником.

Крім того, легкі частинки вимиваються потоком розчинника і збільшують величину відстоювання у міцелі, погіршують умови його фільтрування. Це обмежує ступінь подрібнення матеріалу при його підготовці до екстрагування і змушує використовувати доцільний розмір його частинок, який визначається для кожного виду насіння.

Внутрішня структура частинок матеріалу, що екстрагується, також повинна відповідати низці умов: забезпечувати швидке проникнення розчинника всередину частинок, які не повинні мати вторинних перегородок і володіти великою внутрішньою пористістю.

© Бурдо О.Г., Буйвол С.М., 2011

Для інтенсифікації процесу екстрагування традиційні технології мають три підходи:

- максимальний контакт поверхні сировини з екстрагентом за рахунок механічного подрібнення сировини;
- упорядкування концентрації за рахунок ефективного перемішування;
- прискорення процесів дифузії за рахунок підвищення температури процесу екстрагування.

Доцільність двох перших підходів очевидна, вони практично легко реалізуються, а третій – викликає ускладнення, оскільки підвищзення температури, приводить, з одного боку до інтенсифікації процесу дифузії, а з іншої - до довготривалої теплової дії.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі процесу екстрагування розчинних речовин з насіння амаранту під дією електромагнітного поля. Об'єктом дослідження є екстракт олії амаранту, отриманої обробкою СВЧ. В якості екстрагенту використовували гексан, спирт, нефрас.

Існують безліч моделей екстракційних процесів як для умов неперервності чи періодичності їх протікання, так і для різного направлення основних потоків вихідного матеріалу і екстрагенту. Математична модель дозволяє різнобічно дослідити процес з точки зору впливу на нього різних змінних, які були включені в експеримент [2].

Узагальнення експериментальних даних проведено в безрозмірних змінних. Для цього знаходимо визначений розмір, виходячи з густини потоку маси на межі розділу твердої і рідкої фази:

$$g = \frac{1}{S_p} * \frac{dM}{d\tau} \tag{1}$$

де g – густина потоку екстракту,
S_p – площа межі розділу,
M – маса екстракту,
τ – час процесу.

Розглянемо рівняння (1) на прикладі сферичних зерен, які містять екстракт. В такому випадку:

$$M = N * m_o, \; S_p = N * S_o \tag{2}$$

де, N – число зерен в середині розчинника,
m_0 – маса екстракту всередині одного зерна,
S_o – площа поверхні одного зерна.

Для ідеальної сфери:

$$S_o = 4 * \pi * r^2, \; m_o = \theta * m \tag{3}$$

де, r – радіус однієї гранули,
m – маса однієї гранули,
θ – доля екстракту в одній гранулі.

Так як $m = \frac{\pi}{6} * \rho * r^3$ (ρ - густина зерен),

тоді $m_o = \frac{\pi}{6} * \theta * \rho * r^3$ (для амаранту θ = 0,12)

Після підстановок (2) в (1) з розрахунком (3) отримаємо

$$g = \frac{1}{4 * \pi * r^2 * N} * \frac{d}{d\tau} * \left(\frac{\pi}{6} * \theta * \rho * r^3 * N \right)$$

$$g = \frac{\theta * r}{24} * \frac{d\rho}{d\tau} \qquad (4)$$

З (4) отримуємо визначаючий розмір – радіус однієї гранули. Цим доказано, що дисперсійний склад являється діючим фактором в процесі екстрагування [1]. Виведемо три фактори, які визначають процес:

– дисперсний склад твердої фази;

– час;

– температура.

Цільовою функцією являється концентрація екстракту в розчиннику С. Безрозмірною концентрацією назвемо відношення:

$$z = \frac{C}{C_o}$$

(C_0 – початкова концентрація екстракту всередині зерен відносно об'єму розчинника)

За незалежні змінні приймаємо безрозмірну температуру

$x = \frac{t}{t_k}$ (t_k – температура кипіння розчинника)

і безрозмірний комплекс $y = \frac{g * \tau^2}{r}$ (g – прискорення вільного падіння)

В прийнятих позначеннях математичну модель процесу екстрагування представляє функція двох змінних: $z = f(x, y)$

Найбільше поширення в теорії подібності мають степеневі функції. В даному випадку така функція має видгляд:

$$z = A * x^{\alpha} y^{\gamma} \qquad (5)$$

де параметри А, α, γ підлягають визначенню.

Після логарифмування (5) отримаємо лінійну функцію

$$W = a + \alpha * U + \gamma * V \qquad (6)$$

де, $W = \ln z$, $U = \ln x$, $V = \ln y$, $a = \ln A$

Використовуючи метод найменших квадратів, коефіцієнти в (6) находимо із системи рівнянь

$$\frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^{n} (a + \alpha * U_i + \gamma * V_i - W_i)^2 = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha}\sum_{i=1}^{n}(a+\alpha*U_i+\gamma*V_i-W_i)^2=0 \qquad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial \gamma}\sum_{i=1}^{n}(a+\alpha*U_i+\gamma*V_i-W_i)^2=0$$

де, i – номер експериментальної точки (U,V,W)

n – кількість експериментальних точок.

В результаті диференціювання і підсумування в рівняннях (7) отримаємо лінійну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} &n*a+b_1*\alpha+b_2*\gamma=B_1\\ &b_1*a+b_3*\alpha+b_4*\gamma=B_2\\ &b_2*a+b_4*\alpha+b_5*\gamma=B_3 \end{aligned} \qquad (8)$$

де, $b_1=\sum_{i=1}^{n}U_i$, $b_2=\sum_{i=1}^{n}V_i$, $b_3=\sum_{i=1}^{n}U_i^{\,2}$, $b_4=\sum_{i=1}^{n}U_i*V_i$,

$b_5=\sum_{i=1}^{n}V_i^{\,2}$

$B_1=\sum_{i=1}^{n}W_i$; $B_2=\sum_{i=1}^{n}W_i*U_i$; $B_3=\sum_{i=1}^{n}W_i*V_i$

Знайшовши розв'язки системи (8), отримаємо a,α,γ и $A=e^{\alpha}$

Повертаємось до старих змінних, отримаємо формулу для прогнозу концентрації в залежності від температури і часу процесу екстрагування.

$$C=A*C_0*\left(\frac{t}{t_k}\right)^{\alpha}*\left(\frac{g*\tau^2}{r}\right)^{\gamma} \qquad (9)$$

Зв'язок формули (9) з класичними дифузійними критеріями Фур'є і Шервуда можна отримати, якщо застосувати нове число подібності.

$$B=\frac{g*\tau}{\beta}$$

де β – коефіцієнт масовіддачі

Тоді $B*Sh*Fo=\frac{g*\tau}{\beta}*\frac{r*\beta}{D}*\frac{D*\tau}{r^2}=\frac{g*\tau^2}{r}$

і математична модель екстрагування має вигляд:

$$C=A*C_0*\left(\frac{t}{t_k}\right)^{\alpha}*(B*Sh*Fo)^{\gamma} \qquad (10)$$

Адекватність моделі була провірена на лабораторному стенді, де були проведені 96 дослідів.

Рис 1. – Мікрохвильовий екстрактор

Фрагмент результатів експерименту показані в таблиці.

№ досліду	$\left(\frac{C}{C_0}\right)$	$\left(\frac{C}{C_0}\right)^*$	Δ	δ
1	0,54	3,02	2,47	4,52
2	0,54	3,1□	2,56	4,69
3	0,39	2,45	2,06	5,28
4	0,37	2,19	1,81	4,85
5	0,40	2,32	1,91	4,71
6	0,42	2,45	2,03	4,81
7	0,28	2,19	1,91	6□80
8	0,32	2,32	1,99	6,07
9	0,46	2,74	2,27	4,85

Таким чином, отримані рівняння можуть бути використані для прогнозування виходу олііасіння амаранту за обробки електромагнітним полем.

Література

1.Лысянский В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности/ В.М.Лысянский, С.М.Гребенюк. – М.: Агропромиздат, 1988. – 187 с.

2.Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

3.Бурдо О.Г., Ряшко Г.М . Экстрагирование в системе «кофе - вода». Одесса, 2007. – 176 с.

Рецензент - д.т.н., проф. Білонога Ю.Л.