

## ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ ОЛІЇ З НАСІННЯ АМАРАНТУ МІТЛИСТОГО ТА ХВОСТАТОГО

© Семенишин Є.М., Троцький В.І., Федорчук-Мороз В.І., Марушко Л.П., 2004

**Наведено результати досліджень процесу екстракційного вилучення олії з амарантової сировини.**

**The results of investigation of extraction process of oil from amaranth material are given.**

**Постановка проблеми.** Останніми роками зростає зацікавленість такою рослинною сировиною, як амарант, що знаходить широке використання, особливо в медицині, харчовій, парфумерній та інших галузях завдяки унікальним за біохімічними характеристиками властивостям. В народній медицині багатьох країн Латинської Америки амарантові застосовують як протизапальний, сечогінний, бактерицидний засіб. Амарант відзначається високим вмістом протеїну, збалансованим амінокислотним складом. Амарант містить мінеральні речовини – кальцій, магній, залізо, фосфор та інші мікроелементи. Овочеві форми амаранту містять аскорбінові кислоти, каротин та оксалатну кислоту.

З рослин амарантових виділені й інші сполуки: тіамін (вітамін В1), рибофлавін (В2), токоферол (вітамін Е), вітаміни групи Р, хлорофіл, спирти, стероїди (фітостерини) та інші. Особливу цінність і широке використання в хімічній промисловості, медицині і парфумерії має амарантова олія. На сьогоднішній день виділено олію з багатьох сортів амаранту. Амарантова олія за своїми лікувальними властивостями та вмістом сквалену не поступається відомим аналогам. Унікальною амарантовою олією роблять в основному три компоненти: сквален, вітамін Е і високий вміст ненасичених жирних кислот (так званий комплекс вітаміну F) Омега-серії [1, 2].

Зважаючи на перспективу розробки технології вилучення олії з рослинної сировини родини амарантових, доцільно вивчити механізм і кінетичні закономірності процесу екстрагування.

**Мета роботи** – дослідження механізму та кінетики екстрагування олії з амаранту мітлистого – *Amaranthus sculentus* та амаранту хвостатого (білонасінного) *Amaranthus caudatus*. Для порівняння складу використовували насіння щириці звичайної – *Amaranthus Retroflexus* L., що є найбільш поширеним бур'яном на Волині. Для встановлення механізму процесу екстрагування був використаний метод впливу швидкості перемішування на ефективність екстрагування [3]. Використання цього методу показало, що екстрагування олії з амарантової рослинної сировини відбувається за внутрішньо-дифузійним механізмом, оскільки помітної зміни концентрації цільових компонентів упродовж певного часу не відбувається як при відстоюванні, так і при перемішуванні. Тому з метою інтенсифікації процесу використовували метод подрібнення зерен амаранту мітлистого і амаранту хвостатого.

Методика проведення експериментів полягала у такому. Насіння амаранту мітлистого і хвостатого неподрібненого і подрібненого до фракцій із середнім діаметром  $d_{\text{ср}} = 0,5$  мм і  $d_{\text{ср}} = 0,25$  мм в кількості 100 г засипалось в апарат з мішалкою, куди одночасно завантажували розчинник в кількості 500 мл. Як розчинник використовували n-гексан. Досліди проводили при температурах 20, 30 і 40 °С при постійній кількості обертів мішалки  $n = 120$  об/хв. Через певні відрізки часу відбирали проби, які після фільтрації аналізували на вміст цільових компонентів ваговим методом. Результати досліджень для амаранту мітлистого наведено в табл. 1 і рис. 1, 2, 3. Результати досліджень для амаранту хвостатого наведено в табл. 2. Стосовно залежностей  $c = f(\tau)$ , то вони є ідентичними наведеним на рис. 1, 2, 3, 6, 7. На рис. 4 і 5 показано порівняльні залежності  $c = f(\tau)$  для амаранту мітлистого і амаранту хвостатого при вказаних температурах і розмірах.

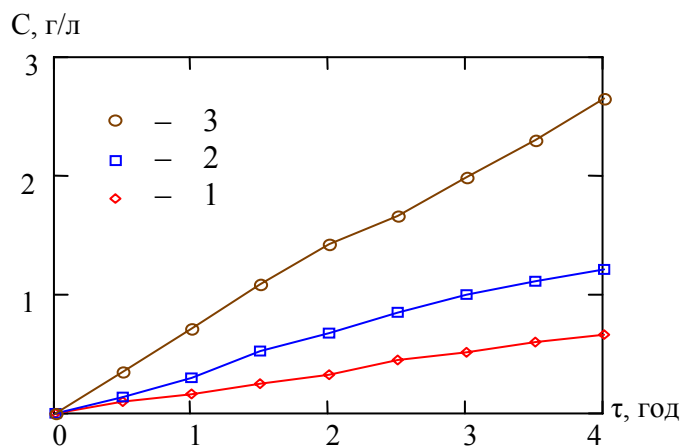


Рис. 1. Кінетика екстрагування олії з насіння амаранту мітлистого для неподрібненого насіння: 1 –  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $T = 40^{\circ}\text{C}$

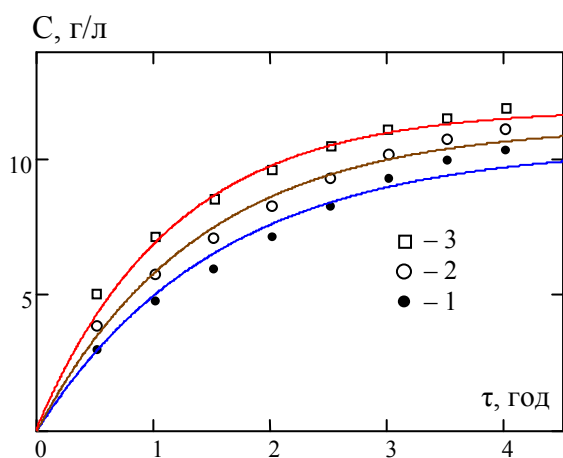


Рис. 2. Кінетика екстрагування олії з насіння амаранту мітлистого при  $d_{\text{сep}} = 0,5\text{мм}$ : 1 –  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $T = 40^{\circ}\text{C}$ , точки – дослідні дані, суцільні криві – розраховані за рівнянням (1)

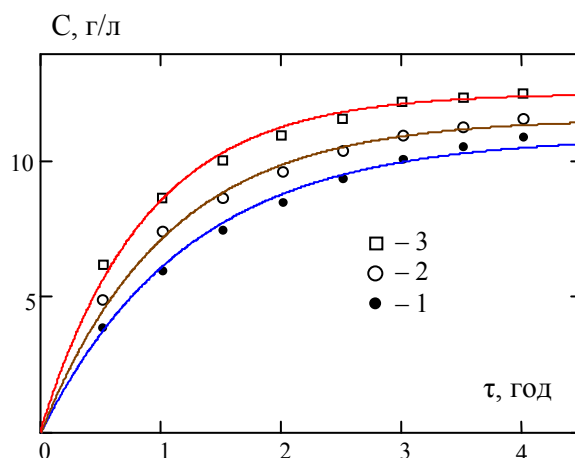


Рис. 3. Кінетика екстрагування олії з насіння амаранту мітлистого при  $d_{\text{сep}} = 0,25\text{мм}$ : 1 –  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $T = 30^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $T = 40^{\circ}\text{C}$ , точки – дослідні дані, суцільні криві – розраховані за рівнянням (1)

Таблиця 1

Концентрація олії, одержаної екстракцією з насіння амаранту мітлистого (г/л)

Час, год	$T = 20^{\circ}\text{C}$			$T = 30^{\circ}\text{C}$			$T = 40^{\circ}\text{C}$		
	Неподрібнене	подрібнене		Неподрібнене	подрібнене		Неподрібнене	Подрібнене	
		$d_{\text{сep}}=0,5\text{ мм}$	$d_{\text{сep}}=0,25\text{ мм}$		$d_{\text{сep}}=0,5\text{ мм}$	$d_{\text{сep}}=0,25\text{ мм}$		$d_{\text{сep}}=0,5\text{ мм}$	$d_{\text{сep}}=0,25\text{ мм}$
0,5	0,19	3	3,88	0,28	3,88	4,9	0,38	5	6,17
1	0,45	4,8	6	0,59	5,77	7,44	0,7	7,12	8,62
1,5	0,71	6	7,51	0,86	7,12	8,67	1,02	8,54	10
2	0,96	7,2	8,54	1,11	8,31	9,63	1,26	9,6	10,92
2,5	1,1	8,3	9,41	1,25	9,32	10,42	1,4	10,45	11,55
3	1,22	9,33	10,12	1,36	10,2	11	1,49	11,1	12,15
3,5	1,3	10	10,57	1,45	10,8	11,3	1,59	11,5	12,34
4	1,34	10,52	10,93	1,52	11,31	11,6	1,68	12	12,5

## Концентрація олії, одержаної екстракцією з насіння амаранту хвостатого (г/л)

Час, год	T = 20 °C			T = 30 °C			T = 40 °C		
	Неподрібнене	подрібнене		Неподрібнене	Подрібнене		Неподрібнене	Подрібнене	
		d <sub>сеп</sub> =0,5 мм	d <sub>сеп</sub> =0,25 мм		d <sub>сеп</sub> =0,5 мм	d <sub>сеп</sub> =0,25 мм		d <sub>сеп</sub> =0,5 мм	d <sub>сеп</sub> =0,25 мм
0,5	0,09	8,4	7,5	0,13	9,6	9,6	0,34	10,6	11,6
1	0,16	11,18	10,3	0,3	12,32	13,46	0,71	13,24	15,75
1,5	0,24	12,1	12,3	0,52	12,98	15,4	1,08	15,01	18,7
2	0,325	12,51	13,55	0,67	13,66	16,63	1,42	16,56	20,37
2,5	0,44	12,9	13,9	0,84	14,01	17,5	1,66	17,4	20,37
3	0,51	13,14	14,25	0,99	14,3	18,2	1,98	18,3	20,38
3,5	0,6	13,5	14,5	1,11	14,52	19,0	2,3	19,2	20,38
4	0,655	13,9	14,93	1,21	14,9	19,7	2,65	20,2	20,38

Аналіз таблиць та рисунків показав, що при екстрагуванні з неподрібнених зерен амаранту процес перебігає за внутрішньодифузійним механізмом, оскільки швидкість переміщення цільових компонентів з середини зерен до поверхні фазового контакту досить мала, порівняно з швидкістю переміщення цільових компонентів з поверхні зерен в основну масу розчинника. Тому руйнування бар'єрів на шляху транспортування цільових компонентів є необхідною умовою інтенсифікації масопереносу. Другим важливим параметром на шляху інтенсифікації процесу є температура. Стосовно механізму масопереносу з подрібненого насіння, то в результаті подрібнення і руйнування бар'єрів для проникнення речовин до поверхні фазового контакту, екстрагування переноситься з внутрішньодифузійної області в зовнішньодифузійну або змішану область залежно від розміру зерен.

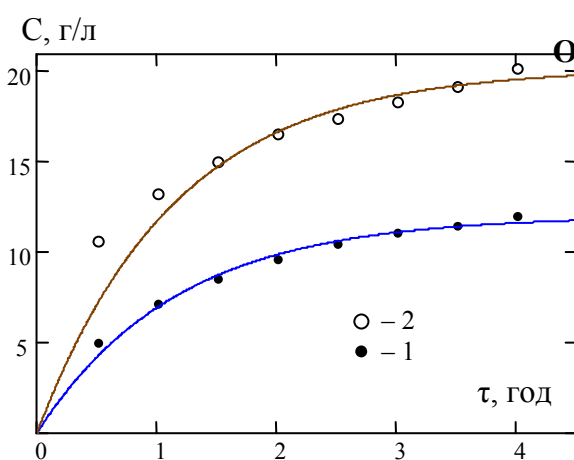


Рис. 4. Залежність  $c = f(\tau)$  для  $d_{сеп} = 0,5$  мм при  $T = 40$  °C: 1 – амарант метлистий, 2 – амарант хвостатий, точки – дослідні дані, суцільні криві – розраховані за рівнянням (1)

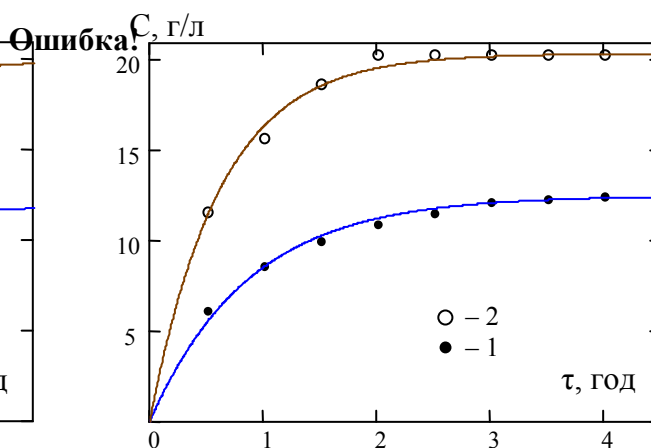


Рис. 5. Залежність  $c = f(\tau)$  для  $d_{сеп} = 0,25$  мм при  $T = 40$  °C: 1 – амарант метлистий, 2 – амарант хвостатий, точки – дослідні дані, суцільні криві – розраховані за рівнянням (1)

Аналіз залежностей, зображених на рис. 4 і 5, показує, що вихід олії з амаранту хвостатого значно вищий порівняно з амарантом мітлистим.

Для експериментального визначення вмісту олії в амаранті мітлистому і амаранті хвостатому використовували апарат Соксклета, в патрон якого засипали 75 г подрібненого до середнього розміру  $d_{сеп} = 0,25$  мм насіння амаранту. У круглодонну колбу ємністю 0,5 л заливали н-гексан і проводили екстрагування за температури 68 °C протягом 4 год. По закінченні екстрагування пробу

фільтрували, розчинник відганяли, а залишки н-гексану упарювали за допомогою водоструменевого насоса. Аналіз на вміст олії проводили ваговим методом. Вихід олії становив 6,715 % для насіння амаранту мітлистоного і 8,2 % для амаранту хвостатого. Ідентифікацію отриманої олії проводили за показником кута заломлення. Теоретичний показник кута заломлення для амаранту мітлистоного становив  $n_d^{20} = 1,4730$ , виміряний –  $n_d^{20} = 1,4715$ , для амаранту хвостатого теоретичний показник кута заломлення  $n_d^{20} = 1,4742$ , виміряний –  $n_d^{20} = 1,4735$  [2].

Для математичного опису процесу екстрагування використовували рівняння вигляду [3]:

$$C_1 = C_k \left[ 1 - e^{-\frac{3K\tau}{R} \left( \frac{C_n}{C_n - C_k} \right)} \right],$$

де  $C_k$  – кінцева концентрація олії в розчині упродовж часу  $\tau$ ;  $K = \frac{D_{cm}}{\delta}$ ;  $D_{cm}$  – коефіцієнт стислої дифузії;  $C_n$  – початкова концентрація олії в амаранті;  $C_1$  – поточна концентрація.

Рівняння дає можливість прогнозувати темп наростання концентрації в розчині з часом.

Подання експериментальних даних у вигляді графічної залежності  $\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  згідно із

рівнянням дає можливість визначити значення кінетичного коефіцієнта за тангенсом кута нахилу прямих за різних умов екстрагування. На рис. 6 і 7 заведено експериментально визначені графічні залежності  $\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  для амаранту мітлистоного.

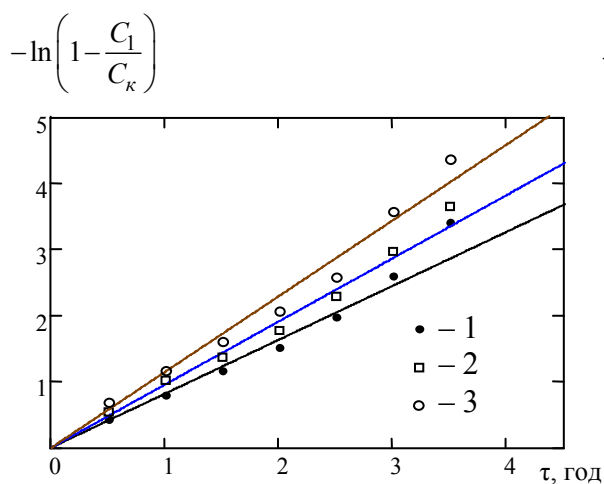


Рис. 6. Залежність  $\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  для  $d_{сер}$

$= 0,25$  мм амаранту мітлистоного:

1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С.

Точки – дослідні дані, суцільні прямі, що відповідають рівнянню (1)

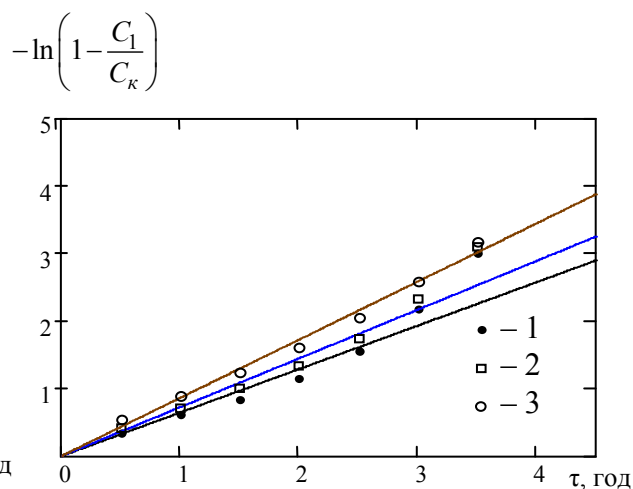


Рис. 7. Залежність  $\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$

для  $d_{сер} = 0,5$  мм амаранту мітлистоного:

1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С.

Точки – дослідні дані, суцільні прямі, що відповідають рівнянню (1)

Розрахунок кінетичного коефіцієнта  $K$  виконували на ЕОМ. Розрахункові значення концентрацій  $C_p$ , значення кінетичного коефіцієнта  $K$  та середньоквадратичні відхилення розрахункових і експериментальних концентрацій  $S_e$  зведені в табл. 3 і 4.

**Розрахункові значення концентрації олії Ср,  
кінетичного коефіцієнта К і середньоквадратичного відхилення Sc для амаранту мітлистого**

Час, год	T = 20 °C		T = 30 °C		T = 40 °C	
	d <sub>сер</sub> = 0,5 мм	d <sub>сер</sub> = 0,25 мм	d <sub>сер</sub> = 0,5 мм	d <sub>сер</sub> = 0,25 мм	d <sub>сер</sub> = 0,5 мм	d <sub>сер</sub> = 0,25 мм
0,5	2,89	3,65	3,44	4,39	4,18	5,49
1	4,99	6,08	5,84	7,12	6,91	8,57
1,5	6,51	7,70	7,50	8,81	8,68	10,30
2	7,61	8,78	8,66	9,87	9,84	11,26
2,5	8,41	9,50	9,47	10,52	10,59	11,81
3	8,99	9,98	10,03	10,93	11,08	12,11
3,5	9,41	10,30	10,42	11,18	11,40	12,28
4	9,71	10,51	10,69	11,34	11,61	12,38
K (м/год)	0,74E-4	0,47E-4	0,83E-4	0,55E-4	0,99E-4	0,66E-4
Sc	0,478	0,250	0,387	0,277	0,372	0,329

Таблиця 4

**Розрахункові значення концентрації олії Ср,  
кінетичного коефіцієнта К і середньоквадратичного відхилення Sc для амаранту хвостатого**

Час, год	T = 20 °C		T = 30 °C		T = 40 °C	
	d <sub>сер</sub> = 0,5 мм	d <sub>сер</sub> = 0,25 мм	d <sub>сер</sub> = 0,5 мм	d <sub>сер</sub> = 0,25 мм	d <sub>сер</sub> = 0,5 мм	d <sub>сер</sub> = 0,25 мм
0,5	4,90	6,76	5,26	8,22	7,12	11,33
1	8,08	10,46	8,66	13,01	11,74	16,36
1,5	10,13	12,49	10,86	15,80	14,72	18,60
2	11,46	13,59	12,28	17,43	16,65	19,59
2,5	12,32	14,20	13,21	18,37	17,90	20,03
3	12,88	14,53	13,80	18,93	18,71	20,22
3,5	13,24	14,71	14,19	19,25	19,24	20,31
4	13,47	14,81	14,44	19,44	19,58	20,35
K (м/год)	0,1E-3	0,69E-4	0,1E-3	0,62E-4	0,1E-3	0,93E-4
Sc	1,98	0,345	2,39	0,787	1,48	0,417

**Висновки.** Вивчено механізм екстрагування олії з рослинної сировини родини амарантових. Показано, що попереднє подрібнення насіння приводить до інтенсифікації процесу екстрагування олії та збільшення ступеня її вилучення. Встановлено, що другим важливим параметром збільшення виходу олії є температура 40°C. Встановлено, що олія з насіння амаранту хвостатого вилучається швидше і в більшій кількості, ніж з насіння амаранту мітлистого. Перевірена математична модель кінетики екстрагування [3] на прикладі насіння амаранту хвостатого та мітлистого. Визначено кінетичні коефіцієнти, необхідні для математичного опису кінетики вилучення олії з рослинної сировини.

1. Тарасова Є.В., Борняк І.М., Цимар О.Ф. Біологічно активні речовини рослин роду щириця // *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія.* – 1997. – Т. 2. – С. 6–7. 2. Проць Д.І., Федорчук-Мороз В.І. Визначення жирних кислот у ліпідній фракції рослин родини амарантові. (*Amaranthaceae*) // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2001. – № 426. – С. 219–221. 3. Семеншин Є.М., Троцький В.І., Федорчук-Мороз В.І. Кінетика екстрагування олії з насіння щириці загнutoї // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2003. – № 488. – С. 200–205.