



**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра харчових технологій**

**ПРЕЗЕНТАЦІЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**СУБКРИТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В**  
**ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ**

**РОЗРОБНИК**  
д.т.н., професор Валерій СУКМАНОВ

**Полтава – 2022 рік**



## Короткий опис дисципліни

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр

Загальна кількість годин – 120 годин (4,0 кредити)

лекцій – 16 годин,

практичних – 24 години

Самостійна робота – 80 годин

Вид контролю – залік

## Курс складається з наступних тем

Тема 1. Вступ до дисципліни «Субкритичні технології в харчових виробництвах» Мета, завдання та зміст курсу.

Тема 2. Сучасні методи екстрагування.

Тема 3. Екстрагування цільових речовин у субкритичному середовищі.

Тема 4. Екстрагування субкритичною водою.

Тема 5. Лабораторне та промислове технологічне обладнання для субкритичного екстрагування.

Тема 6. Субкритичне екстрагування біологічно активних речовин.

Тема 7. Оптимізація процесу субкритичного екстрагування.

Тема 8. Використання екстрактів, отриманих у субкритичному середовищі в технологіях харчових продуктів.

**Розвиток інноваційних технологій харчових продуктів неможливий без використання біологічно активні речовини (БАР)** - хімічних речовин, що володіють високою фізіологічною активністю, по відношенню до людини, при невеликих концентраціях; речовини, які раніше не присутні в продуктах повсякденного харчування і використовуються для додаткового збагачення в процесі їх виробництва.

Це вітаміни, ферменти, мінеральні солі, мікроелементи, алкалоїди, глікозиди, полісахариди, ефірні масла, органічні кислоти, антибіотики, кумарини, хінони, флавоноїди, дубильні речовини та ін. Ці речовини підвищують ефективність всіх фізіологічних і біохімічних процесів в нашому організмі. Нормалізуючи, регулюючи всі життєві функції, надають профілактичну, а деякі, і ефективну лікувальну дію.

Використання БАВ в харчових продуктах не тільки підвищує їх харчову цінність і споживчі якості, але і будучи джерела природних антиоксидантів (бета-каротин, вітаміни С і Е та ін.), які допомагають попередити багато захворювань серцево-судинної системи, атеросклероз, захворювання органів травлення, шкірні захворювання, деякі форми раку, уповільнюють старіння наших клітин і ін.

Використання БАВ в системі харчування людини привело до появи таких понять, як функціональні продукти харчування, продукти харчування дитячого, дієтичного, профілактичного призначення.

Пошук екологічно безпечних методів і процесів екстракції біологічно значущих сполук рослинного походження є сьогодні одним з пріоритетних напрямків харчових та переробних галузей промислово розвинених країн світу.

Харчовий промисловістю для вилучення БАВ широко використовуються традиційні методи екстракції: мацерація, перколяція, електроімпульсний та магнітоімпульсний способи інтенсифікації екстракції, відцентрова та ультразвукова екстракції.

Інноваційною технологією екстрагування БАВ, яка ефективно використовується у провідних світових країнах є екстрагування екстрагентом, який знаходиться у субкритичному стані. При цьому в якості екстрагентів використовують розчинники з низькою температурою кипіння, – зріджені гази: вуглекислий газ, гексан, пропан, аміак, метан, етилен і деякі інші сполуки з невисокими критичними температурами. Але, враховуючи сучасні вимоги до якості кінцевого продукту на даний час найбільш перспективним є використання у якості екстрагента води або  $\text{CO}_2$ , які знаходяться у субкритичному стані.

Таким чином, **екстрагування водою у субкритичному стані являє собою метод екстракції, який використовує рідку воду в якості екстрагента (екстракційного розчинника) при температурі вище атмосферної точки кипіння води ( $100\text{ }^\circ\text{C}/273\text{ K}$ ,  $0,1\text{ МПа}$ ), але нижче критичної точки води ( $374\text{ }^\circ\text{C}/647\text{ K}$ ,  $22,1\text{ МПа}$ ).**

## КРИТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ДЕЯКИХ РЕЧОВИН У СУБКРИТИЧНОМУ СТАНІ

N п/п	Назва речовини	Критична температура (T <sub>c</sub> ), К	Критичний тиск (P <sub>c</sub> ), бар
1	Углекислий газ	304	74
2	Вода	647	221
3	Етан	305	49
4	Пропан	370	43
5	Ксенон	290	58
6	Аміак	406	114
7	Оксид азота	310	72

## Хімічні та фізичні властивості рідкої води при різних температурах і тисках насичення

Властивості	T = 298 K (25 °C, 0,1 МПа)	T = 373 K (100 °C, 0,1 МПа)	T = 473 K (200 °C, 1,5 МПа)	T = 623 K (350 °C, 17 МПа)
Константа дисоціації, $K_d$ [36]	$1,0 \times 10^{-14}$	$5,6 \times 10^{-13}$	$4,9 \times 10^{-12}$	$1,2 \times 10^{-12}$
$pK_d$	13.99	12.25	11.31	11.92
Відносна статична діелектрична проникність, $\epsilon_r$ [39]	78,5	55,4	34,8	14,1
Дипольний момент	1,85	1,85	1,85	1,85
Питома теплоємність, $C_p$ , ( $\text{г}^{-1} \text{К}^{-1}$ ) [40]	4,18	4,22	4,51	10,1
Теплота пароутворення, $H_v$ (кДж/моль)	44,0	40,7	35,0	15,6
Густина ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) [41]	0,997	0,958	0,865	0.579
Динамічна в'язкість, $\eta$ (мПа с) [42]	0,891	0,282	0,134	0,067
Поверхневий натяг (дин/см) [42]	72,0	58,9	37,6	3,7

Істотні зміни, що відбуваються з фізико-хімічними властивостями води при збільшенні тиску і температури дозволяють нам сформулювати **основні переваги субкритичної води як розчинника:**

- поєднання властивостей газів при високому тиску (низька в'язкість, високий коефіцієнт дифузії) і рідин (висока розчинююча здатність);
- поєднання нехтує малого міжфазного натягу з низькою в'язкістю і високим коефіцієнтом дифузії, що дозволяє СКВ проникати в пористі структури легше в порівнянні з рідинами;
- висока чутливість розчинюючої здатності субкритичної води до зміни тиску або температури;
- простота поділу субкритичної води і розчинених в ній речовин при скиданні тиску;
- технологічна і екологічна безпека виробництва;
- низька собівартість.



Будь яка сировина, яку використовують при субкритичному екстрагуванні містить декілька різних БАР (цільових речовин), які знаходяться у сировини у різній кількості.

Унікальні властивості субкритичної води дозволяють забезпечити максимальний вихід необхідної **цільової речовини**, шляхом отримання оптимальних параметрів процесу саме для цієї речовини.

Параметрами процесу екстрагування, варіювання (змінювання) якими дозволяє знайти **оптимальні параметри** для конкретної цільової речовини є:

- Температура екстрагування, °C;
- Тривалість екстрагування, хв.;
- Тиск, МПа;
- Розмір сухої фракції сировини, мм;
- Гідромодуль (відношення маси сухої сировини до маси екстрагента, води).

# ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ БАР, ВИЛУЧЕНИХ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ МЕТОДАМИ СУБКРИТИЧНОГО ЕКСТРАГУВАННЯ

Сполуки	Сировини	Робочі параметри	Використання
Ефірне масло	Фенхель ( <i>Foeniculum vulgare</i> )	150°C, 5 МПа	Харчова добавка, лікування різних поразок шлунка та ожиріння
	Тимьян ( <i>Thymbra spicata</i> )	100-175°C, 2-9 МПа	Харчова добавка, лікування різних медичних захворювань
	Ширазі тимьяна ( <i>Zataria multiflora</i> )	100-175°C, 2 МПа	Фармацевтичні та харчові ароматизатори із запахом
	Кориандр ( <i>Coriandrum sativum</i> )	100-175°C, 2 МПа	харчові ароматизатори із запахом
Фенол	Листя манго ( <i>Mangifera indica L.</i> )	100°C, 4 МПа	Харчова добавка, фармацевтика та нутрицевтика
	Гранат <i>Punica granatum L.</i> )	80-280°C, 6 МПа	Функціональне харчування, біологічно активні добавки, та антиоксидант

# ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ БАР, ВИЛУЧЕНИХ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ МЕТОДАМИ СУБКРИТИЧНОГО ЕКСТРАГУВАННЯ

Сполуки	Сировина	Рабочи параметри	Використання
Фенол	Рисові висівки	200°C	Пищевые добавки
	Картопляна шкірка	100-240°C, 6 МПа	Харчові добавки, фармацевтичні та біопаливні галузі
		140-260°C, 4-12 МПа	
	Кориця	150-200°C, 6 МПа	Смакові інгредієнти, антиоксидантний засіб
	Цитрусові вичавки	25-250°C, 0,1-5,0 МПа	антиоксидантний засіб
	Золота глива	50-300°C, 0,002-5 МПа	Антигіперглікемічний, антиоксидантний засіб

# ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ БАР, ВИЛУЧЕНИХ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ МЕТОДАМИ СУБКРИТИЧНОГО ЕКСТРАГУВАННЯ

Сполуки	Сировини	Рабочи параметри	Використання
	Обліпиха ( <i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	80-180°C, 6 МПа	Нутріцевтики та харчові матеріали
	орегано	25-200°C, 10,3 МПа	Антиоксидантний, антибактеріальний та протигрибковий засіб
	Чорнобривці квітка	80-260°C, 0,5 МПа	антиоксидантн
<b>Флавоноиды</b>	Чорний чай, селера, листя женьшеню	110-200°C, 10 МПа	антиоксидант
	Кожура мандарин уншиу	110-200°C, 10,1 МПа	Антиоксидант, протиракове, протизапальне, лікування та профілактика серцево-судинних захворювань
	Лукове лушпиння, обліпиха, петрушка, морква, лимони, апельсин, шкірка грейпфрута	110-200°C, 10 МПа	Антиоксиданти і зменшити ризики захворювань, таких як рак та серцево-судинні захворювання

## ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ БАР, ВИЛУЧЕНИХ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ МЕТОДАМИ СУБКРИТИЧНОГО ЕКСТРАГУВАННЯ

Сполуки	Сировина	Рабочи параметри	Використання
	Відходи цибулі	40-120°C, 5 МПа	Добавка харчова, антиоксидантний агент
	Кожура лука	100-190°C, 9-13 МПа	Антиоксидант, харчова добавка, нутріцевтик
	Горець ( Polygonum hydroper)	100-250°C, 12,1 МПа	Медицинские применения
<b>Моносахариди</b>	Пальмова олія	170-200°C, 3,4-5,5 МПа	Харчова добавка
<b>Полісахариди</b>	Дерева звичайна	110°C, 5 МПа	Антиоксидантний, протипухлинний та антивіковий агент
	Трутовик (Ganoderma L.)	99-189°C, 4 МПа	Харчова та фармацевтична промисловість
	Кожура цитрусових Junos	160-320°C, 20 МПа	Харчові волокна
	Пальмова олія	170-200°C, 3,4-5,5 МПа	Харчова та фармацевтична промисловість

## ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ БАР, ВИЛУЧЕНИХ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ МЕТОДАМИ СУБКРИТИЧНОГО ЕКСТРАГУВАННЯ

Сполуки	Сировина	Рабочи параметри	Використаня
Олигосахариди	Кокос	100-300°C	Інгредієнти для забезпечення харчових волокон у продуктах харчування
Пектин	Яблучні вичавки та шкірки цитрусових	100-170°C	Антиоксидантний та протипухлинний агент
	Буряковий жом	110-130°C, 8-12 МПа	Стабілізуючий агента у харчовій промисловості
	Кожура Юдзу ( <i>Citrus junos</i> )	160-320°C, 20 МПа	Харчові волокна
Олія	Соеві боби	66-234°C, 0,03-3,86 МПа	Білок та рослинні олії у харчовій промисловості
	подсолнух	60-160°C, 3 МПа	антиоксидантний агент
Сахара	Кокос, виноградні кісточки и пальмові волокна	208-257°C, 20 МПа	бродіння сахара

# Промислове обладнання субкритичного екстрагування провідних країн світу



Extractor FC100 фірми TIMATIC (Італія)



Установка GY-ET-020 корпорації GENYOND (Шанхай, Китай)



Установка фірми TOURNAIRE (ГРАССЕ, Франція)



Установка об'ємом 1, 4 и 10 літрів фірми ZIPPERTECH (Франція)