

Перспективи використання надкритичної флюїдної екстракції в біотехнології

Аліна Чепурда, Марія Ненно, Володимир Зав'ялов, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. На сучасному етапі розвитку біотехнологічної індустрії постає питання заміни застарілих методів вилучення цільових компонентів на екологічно безпечні та енергоефективні рішення. Одним із найбільш технологічно досконалих методів є надкритичне флюїдне екстрагування, що розглядається як «зелена» альтернатива традиційній рідинній екстракції, бо вона є ресурсозберігаючою, безвідходною та дозволяє отримувати продукти надвисокої чистоти без залишків розчинників.

Методологія досліджень. Системний аналіз фундаментальних вітчизняних та закордонних наукових праць, присвячених термодинаміці надкритичних станів. Було проведено порівняльне співставлення фізико-хімічних констант різних екстрагентів, а також обґрунтовано вибір технологічних параметрів процесу на основі вивчення кінетики масоперенесення в капілярно-пористих структурах рослинної сировини.

Результати та обговорення. Надкритичний флюїд (НКФ) являє собою унікальний агрегатний стан речовини, що виникає при перевищенні критичних значень температури та тиску. У цій точці відмінності між рідкою та газовою фазами нівелюються, що надає флюїду специфічних властивостей:

1. **Дифузійна здатність та в'язкість:** Завдяки низькій в'язкості (характерній для газів) НКФ демонструє надвисоку проникну здатність у мікропори рослинних клітин. Це забезпечує швидкий масопереніс та скорочує тривалість екстракції в кілька разів порівняно з мацерацією.

2. **Розчинна здатність:** Маючи густину, наближену до рідин, НКФ ефективно розчиняє широкий спектр сполук – від низькомолекулярних ефірних олій до складних високомолекулярних комплексів. Висока стисливість флюїду в навколокритичній області дозволяє тонко регулювати його розчинну здатність шляхом незначних змін тиску, що забезпечує високу селективність вилучення.

3. **Переваги діоксиду вуглецю (CO₂):** Незважаючи на існування різних агентів (N₂O, NH₃, SF₃), вуглекислий газ залишається еталонним екстрагентом з параметрами ($T_{кр} = 31,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{кр} = 73,8\text{ бар}$) і є добрими для термолабільних речовин. Процес протікає в інертному середовищі, що виключає окислення біологічно активних речовин (БАР).

4. Практична реалізація в біотехнології:

Фармація та нутріціологія: отримання висококонцентрованих вітамінів, антиоксидантів та каротиноїдів (зокрема лютеїну з дріжджів або водоростей).

Харчова галузь: глибоке перероблення рослинної сировини для отримання ароматичних екстрактів, розчинної кави, чаю та безалкогольних напоїв із збереженням нативного профілю смаку.

Аналітична біотехнологія: використання НКФ для виділення специфічних мікробних біомаркерів та очищення ферментних препаратів.

Хоча капітальні витрати на обладнання високого тиску є значними, вони компенсуються низькою собівартістю експлуатації, простотою регенерації екстрагента шляхом декомпресії та відсутністю потреби в додатковій стадії очищення продукту.

Висновки. Результати аналізу підтверджують, що надкритична флюїдна екстракція є стратегічно важливим інструментом для отримання екологічно чистої продукції. Гнучкість управління процесом та можливість збереження повної біологічної цінності екстрактів відкривають широкі перспективи для інтеграції НКФ-технологій у промислові біотехнологічні лінії нового покоління.