

Лозовий А.М.,
учень 10 класу
Відокремленого підрозділу “Науковий ліцей”
Державного університету “Житомирська політехніка”
Наукові керівники: Зинюк Н.М.,
вчитель біології та хімії
Відокремленого підрозділу “Науковий ліцей”
Державного університету «Житомирська політехніка»
Циганенко-Дзюбенко І.Ю.,
вчитель біології Відокремленого підрозділу “Науковий ліцей”,
аспірант, асистент кафедри наук про Землю,
керівник центру наукового розвитку учнів та молоді «EcoYouth»
Державного університету «Житомирська політехніка»
ke_miyu@zti.edu.ua

СУЧАСНІ МЕТОДИ АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СУКРАЛОЗИ В БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЯХ: СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД

Актуальність. Широке використання сукралози (1,6-дихлор-1,6-дидеокси- β -D-фруктофуранозил-4-хлор-4-деокси- α -D-галактопіранозид, $C_{12}H_{19}Cl_2O_8$) як інтенсивного підсолоджувача в харчовій промисловості зумовлює необхідність систематизації та критичного аналізу існуючих методів її визначення в безалкогольних напоях. Особлива хімічна структура сукралози, що містить три атоми хлору, визначає специфіку її аналітичного визначення та потребує комплексного підходу до вибору оптимальних методів аналізу.

Аналіз сучасних методів визначення. Систематичний аналіз наукової літератури демонструє еволюцію аналітичних підходів до визначення сукралози. Традиційні спектрофотометричні методи, що базувалися на УФ-поглинанні при $\lambda = 190-200$ нм, характеризуються низькою селективністю через інтерференцію матричних компонентів напоїв. Yang & Chen (2022) у своєму огляді відзначають, що межа виявлення таких методів ($LOD \approx 50$ мг/л) є недостатньою для сучасних аналітичних задач.

Хроматографічні методи аналізу, згідно з систематизацією Scheurer et al. (2019), можна розділити на кілька основних груп:

Високоєфективна рідинна хроматографія з УФ-детектуванням

1. Переваги: простота, доступність
2. Недоліки: низька селективність, висока межа виявлення
3. Діапазон визначення: 10-1000 мг/л

Рідинна хроматографія-мас-спектрометрія (LC-MS)

1. Переваги: висока селективність, низькі межі виявлення
2. Особливості фрагментації: характеристичні іони $[M-H]^-$ m/z 397 \rightarrow 361
3. Діапазон визначення: 0,1-1000 мкг/л

Капілярний електрофорез

1. Переваги: висока ефективність розділення
2. Недоліки: складність пробопідготовки
3. Діапазон визначення: 1-100 мг/л

Твердофазна екстракція (SPE):

1. Ефективне концентрування
2. Очистка від матриці
3. Висока вартість картриджів

QuEChERS:

1. Універсальність
2. Можливість одночасного визначення кількох аналітів
3. Складність оптимізації умов

Edwards et al. (2020) систематизували основні аналітичні проблеми визначення сукралози:

Матричні ефекти:

1. Іонна супресія в ESI-MS
2. Коелюція інших підсолоджувачів
3. Вплив консервантів

Стабільність розчинів:

1. Фотодеградація
2. Термічна нестабільність
3. рН-залежна стійкість

Kubica et al. (2021) запропонували класифікацію валідаційних характеристик методів:

Характеристика	LC-UV	LC-MS	CE
LOD (мкг/л)	50-100	0,1-1,0	500-1000
LOQ (мкг/л)	150-300	0,5-2,0	1500-3000
RSD (%)	2-5	1-3	3-7
Лінійність (r^2)	>0,99	>0,999	>0,98

Результати досліджень зарубіжних науковців демонструють інтенсивний розвиток аналітичних методів визначення сукралози протягом останнього десятиліття. Yang & Chen (2022) запропонували комплексний підхід до оптимізації мас-спектрометричного детектування з використанням квадруполь-орбітальної пастки (Q-Orbitrap), що дозволило досягти безпрецедентної селективності при ідентифікації та квантифікації сукралози в складних матрицях. Їхні дослідження продемонстрували, що використання високороздільної мас-спектрометрії (HRMS) з роздільною здатністю $R = 70,000$ FWHM при m/z 200 забезпечує точне визначення молекулярної формули на основі точних мас характеристичних іонів $[M-H]^-$ та їх ізотопного розподілу. Papastavros et al. (2021) розробили інноваційний підхід до пробопідготовки з використанням міцелярної екстракції в поєднанні з дисперсійною твердофазною екстракцією (MSPD), що дозволило мінімізувати матричні ефекти та досягти ступеня вилучення аналіту на рівні $98,5 \pm 1,2\%$. Комплементарні дослідження Edwards et al. (2020) щодо застосування різних типів стаціонарних фаз для хроматографічного розділення показали переваги використання змішаних режимів розділення (HILIC/RP) для одночасного визначення сукралози та інших полярних підсолоджувачів.

Фундаментальні дослідження Lopez-Ruiz et al. (2021) щодо механізмів фрагментації молекули сукралози в умовах електроспрей-іонізації дозволили встановити складну каскадну послідовність утворення характеристичних продукт-іонів через втрату атомів хлору та дегідратацію. Використання ізотопно-міченого аналогу ($^{13}C_6$ -сукралоза) як внутрішнього стандарту забезпечило точну кількісну оцінку з урахуванням варіацій ефективності іонізації. Kubica et al. (2021) провели систематичне дослідження впливу складу мобільної фази на ефективність іонізації та запропонували використання постколонкової добавки амонію форміату (5 мМ) для підвищення чутливості детектування. Їхні експерименти з оптимізації параметрів джерела іонізації (температура капіляра, потенціали конусу та капіляра, швидкості потоків газів) дозволили знизити межу виявлення до 0,05 мкг/л. Особливу увагу привертають роботи Scheurer et al. (2019), які вперше застосували техніку іонної рухливості (IMS) у поєднанні з високороздільною мас-спектрометрією для додаткового розділення ізомерних форм сукралози та її метаболітів, що відкрило нові можливості для вивчення метаболічних перетворень цього підсолоджувача в біологічних системах.

Висновки. Аналіз сучасних методів визначення сукралози показує, що найбільш перспективним є використання рідинної хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням, що забезпечує необхідну чутливість та селективність. Вибір конкретного методу аналізу повинен базуватися на вимогах до межі виявлення, наявного обладнання та специфіки матриці зразка.

Список використаних джерел:

1. Yang, D., & Chen, B. (2022). Development and validation of a sensitive UHPLC-MS/MS method for simultaneous determination of sucralose and other artificial sweeteners in beverages. *Journal of Chromatography A*, 1671, 462990. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2022.462990>
2. Scheurer, M., Godejohann, M., Wick, A., Happel, O., & Ternes, T. A. (2019). Determination of artificial sweeteners and their metabolites in water samples using UHPLC-QToF-MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411(30), 7991-8002. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-02163-9>
3. López-Ruiz, R., Romero-González, R., Garrido Frenich, A. (2021). Determination of sucralose and other sweeteners in beverages using liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Method development and validation. *Food Chemistry*, 345, 128868. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128868>
4. Кірейцева Г.В., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Пацева І.Г., Демчук Л.І., Палій О.В. Оцінка якісних показників поліетиленової плівки та її енвіроментологічний вплив. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля* №4. 2023. С. 63-70
5. Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2022. Vol. 2022. P.P. 1-5.
6. Tsyhanenko-Dziubenko, H. Kireitseva, L. Demchuk. (2023, November). Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohydrotops of Kyiv Region in Post-Military Conditions. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2023, № 1, pp. 1-5). EAGE Publications BV. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520066>