

І.П. Стороженко, д.ф.-м.н, професор (ДБТУ, Харків)

П.О. Сіренко, канд.наук фіз.вих. та сп. (Латвійська академія спортивної освіти, Ріга)

ТЕРАГЕРЦОВА СПЕКТРОСКОПІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Зростання рівнів стандартів якості харчових продуктів вимагають швидких методів вимірювання їх складу. Одним з можливих методів швидкого аналізу є терагерцова спектроскопія (ТГц-спектроскопія). Протягом останніх двох десятиліть було представлено низку вражаючих досягнень в області хвиль терагерцового діапазону (ТГц-хвиль), які підштовхнули вперед терагерцеву технологію та науку. Основними сферами застосування ТГц-хвиль виявились бездротовий зв'язок та ТГц-спектроскопія. Було б дивним відсутність спроб застосування ТГц-хвиль у харчовій промисловості. Ми провели аналіз існуючих світових досягнень та можливих шляхів застосування ТГц-хвиль у харчовій промисловості. Традиційні методи вимірювання, засновані на спектроскопії ближнього та середнього інфрачервоному діапазону, надають внутрішню молекулярну інформацію, таку як наявність різних характерних зв'язків, що вказують на наявність певних молекул або груп молекул у зразку. Однак в інфрачервоному діапазоні надається обмежена міжмолекулярна інформація (орієнтація молекул, рівень водневого зв'язку з навколишніми молекулами, аморфність або кристалічна структура). Навпаки, ТГц-діапазон може надати кращу міжмолекулярну інформацію. Використання хімікатів та гормонів у виробництві продуктів харчування викликає низку питань, пов'язаних з безпекою харчових продуктів, та їх моніторинг стає критично важливим питанням для харчової промисловості, регулюючих органів та споживачів. Методи моніторингу мають бути швидкими, економічними та неруйнівними. Наприклад, сучасні методи виявлення залишків пестицидів (газова та рідинна хроматографія) вимагають великих витрат часу та коштів. ТГц-спектроскопія може бути більш ефективним рішенням для виявлення залишків пестицидів, оскільки багато хімічних речовин демонструють чіткі спектральні характеристики в ТГц-діапазоні. Наприклад, Судзукі та інші (2011) для виявлення залишків пестицидів у помідорах, шпинаті, капусті та полуниці застосовували ТГц-спектроскопію. Пестициди, що використовуються при вирощуванні цих культур, мали унікальне поглинання від 20 до 400 см^{-1} . Їхні концентрації сильно корелювали з другою похідною спектрів. Спектри поглинання чистого продукту та суміші з пестицидами розрізнялися.

В іншому дослідженні Хуа та Чжан (2010) використовували ТГц-спектроскопію для виявлення пестицидів в харчових порошках. Їхні результати показали чіткі піки абсорбції для чотирьох пестицидів (імідаклоприд, карбендазим, трицилазол та бупрофезин), тоді як харчові порошки (липкий рис, солодка картопля та корінь лотоса) не показали жодних піків абсорбції. Показники заломлення пестицидів та харчових порошоків мали аналогічну картину. Так само важливо виявлення харчових добавок або дефектів та їх кількісна оцінка. Чжао та Лі (2011) повідомили, що суміші борошна та тальку мають різні піки поглинання та показники заломлення, і можна визначити різні пропорції суміші. Спостерігалися три піки поглинання на частотах 0,95, 1,36 та 1,57 ТГц. Поглинання збільшувалося із збільшенням частоти. Споживачі також стурбовані збільшенням використання хімікатів у тваринництві. Систематичне використання ветеринарних препаратів є викликом для здоров'я споживачів і забруднення навколишнього середовища. В Європейському Союзі впроваджуються максимально допустимі рівні залишків і плани моніторингу для вимірювання залишкових рівнів ветеринарних препаратів у харчових продуктах. Редо-Санчес та інші (2011) досліджували ТГц-спектральні характеристики антибіотиків, використовуваних у тваринництві. Вісім із одинадцяти широко використовуваних антибіотиків показали специфічні характеристики в діапазоні частот від 0,1 до 2 ТГц. Зіставлення спектрів зразків чистого корма, молока та яєчного порошку зі спектрами антибіотиків, змішаних з кормом, молоком та яєчним порошком, показало, що можна виявити спектральні характеристики двох антибіотиків. Поглинання чистого молока на частоті 1,37 ТГц зменшилося приблизно з $3,75 \text{ дБ} \cdot \text{мг}^{-1}$ до $2,75 \text{ дБ} \cdot \text{мг}^{-1}$ при змішуванні з антибіотиком доксицикліном. Попередні результати вказують на можливість перевірки в режимі реального часу за допомогою ТГц-спектроскопії для виявлення залишків антибіотиків.

Таким чином, огляд вказує на великий потенціал ТГц технології. В ТГц-діапазоні можна більш ефективно виявляти міжмолекулярні характеристики матеріалів, роблячи їх доповненням до існуючих неруйнівних методів. Дослідження в харчовому та сільськогосподарському секторах свідчать про те, що методи ТГц-діапазону можуть відігравати вирішальну роль у багатьох активних областях досліджень, включаючи інспекцію харчових продуктів, інспекцію врожаю, характеристику матеріалу та інші. Існує необхідність об'єднання зусиль дослідників сільського господарства, переробки сільськогосподарської продукції та ТГц-хвиль для створення новітніх методів та приладів.