INSTRUMENTAL ANALYSIS METHODS FOR IDENTIFYING PRODUCT COMPOSITION AND QUALITY CONTROL

Zakirjonova Diyora Zakirjonovna

Master's Student, Andijan State Pedagogical Institute

Abstract

This article discusses the identification of the composition of commodities and the control of their quality indicators using instrumental analytical methods, which represent one of the important areas of modern commodity chemistry. The significance of modern analytical techniques in the objective assessment of the chemical composition, physicochemical properties, safety, and consumer value of commodities is analyzed. In particular, the theoretical foundations and practical applications of spectrophotometry, infrared spectroscopy (FTIR), high-performance liquid chromatography (HPLC), gas chromatography (GC), gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS), liquid chromatography–mass spectrometry (LC–MS), inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP–OES), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP–MS), atomic absorption spectrometry (AAS), and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy in commodity science are examined. The role of instrumental analytical methods in determining product composition, quantitatively assessing biologically active substances, detecting mineral elements, identifying adulteration, monitoring safety indicators, and verifying product authenticity is highlighted. Furthermore, the integration of modern analytical techniques with chemometric approaches is shown to enable the establishment of chemical profiles of products and the rapid classification of complex commodity matrices. The article evaluates the comprehensive application of instrumental analytical methods as a promising approach for the objective assessment of commodity quality and ensuring consumer safety.

Keywords

commodity chemistry, instrumental analysis, product quality, identification, authenticity, chemical composition, HPLC, GC–MS, FTIR, ICP–OES, ICP–MS, spectrophotometry, chromatography, chemometrics, adulteration, quality control.

TOVARLAR TARKIBINI IDENTIFIKATSIYA QILISH VA SIFATINI NAZORAT QILISHDA INSTRUMENTAL TAHLIL USULLARI

Zakirjonova Diyora Zakirjonovna

Andijon Davlat pedagogika instituti magistranti

Annotatsiya: Mazkur maqolada zamonaviy tovarlar kimyosining muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lgan tovarlar tarkibini identifikatsiya qilish va ularning sifat ko‘rsatkichlarini instrumental usullar yordamida nazorat qilish masalalari yoritilgan. Tovarlarning kimyoviy tarkibi, fizik-kimyoviy xususiyatlari, xavfsizligi va iste’mol qiymatini obyektiv baholashda zamonaviy analitik usullarning ahamiyati tahlil qilingan. Xususan, spektrofotometriya, infraqizil spektroskopiya (FTIR), yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC/YuSSX), gaz xromatografiyasi (GC), gaz xromatografiyasi–mass-spektrometriya (GC-MS), suyuqlik xromatografiyasi–mass-spektrometriya (LC-MS), induktiv bog‘langan plazmali optik emission spektrometriya (ICP-OES), induktiv bog‘langan plazmali mass-spektrometriya (ICP-MS), atom-absorbsiya spektrometriyasi hamda yadro magnit rezonansi (NMR) usullarining nazariy asoslari va tovarshunoslikdagi amaliy imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Instrumental tahlil usullarining mahsulot tarkibini aniqlash, biologik faol moddalarni miqdoriy baholash, mineral elementlarni aniqlash, qalbakilashtirishni aniqlash, xavfsizlik ko‘rsatkichlarini nazorat qilish va mahsulot autentikligini tasdiqlashdagi o‘rni ochib berilgan. Shuningdek, zamonaviy tahlilni kemometrik yondashuvlar bilan birlashtirish mahsulotlarning kimyoviy “profilini” shakllantirish va murakkab tovar matritsalarini tezkor tasniflash imkonini berishi asoslangan. Maqolada instrumental tahlil usullarini kompleks qo‘llash tovarlar sifatini obyektiv baholash va iste’molchilar xavfsizligini

ta’minlashning istiqbolli yo‘nalishi sifatida baholangan.

Kalit so‘zlar: tovarlar kimyosi, instrumental tahlil, tovar sifati, identifikatsiya, autentiklik, kimyoviy tarkib, HPLC, GC-MS, FTIR, ICP-OES, ICP-MS, spektrofotometriya, xromatografiya, kemometriya, qalbakilashtirish, sifat nazorati.

Kirish: Bozor iqtisodiyoti sharoitida iste’mol tovarlari assortimenti va kimyoviy tarkibining murakkabligi tobora ortib bormoqda. Zamonaviy oziq-ovqat, farmatsevtika, kosmetika, maishiy kimyo va boshqa tovarlar ko‘pincha ko‘plab komponentlardan tashkil topgan murakkab tizimlar hisoblanadi. Shu sababli ularning sifatini faqat tashqi ko‘rinishi, hidi, rangi yoki oddiy fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari asosida baholash barcha hollarda yetarli emas. Tovarlar sifatini obyektiv baholash uchun mahsulotning kimyoviy tarkibini aniqlash, asosiy va yordamchi komponentlarni identifikatsiya qilish, begona yoki zararli moddalarni aniqlash hamda ularning miqdorini belgilash zarur. Bunday vazifalarni bajarishda instrumental analitik kimyo usullari alohida ahamiyatga ega. Bugungi kunda oziq-ovqat va boshqa iste’mol mahsulotlarini tekshirishda xromatografik va spektroskopik usullar keng qo‘llanmoqda. Ilmiy tadqiqotlarda instrumental usullar sifat, xavfsizlik va qalbakilashtirishni aniqlash masalalarini birgalikda hal qilishga imkon berishi ko‘rsatilgan. Xususan, xromatografiya yordamida mahsulot tarkibidagi individual organik komponentlarni ajratish va aniqlash mumkin bo‘lsa, spektroskopik usullar moddaning strukturaviy xususiyatlari haqida ma’lumot beradi. Elementar tarkibni aniqlashda esa ICP-OES va ICP-MS kabi usullar yuqori sezgirlik va ko‘p elementli tahlil imkoniyatlari bilan ajralib turadi. AOAC xalqaro usullar to‘plamida minglab validatsiyadan o‘tgan kimyoviy va mikrobiologik tahlil metodlari jamlangan bo‘lib, ularning bir qismi ISO va boshqa xalqaro tizimlar bilan uyg‘unlashtirilgan. Shu jihatdan instrumental tahlil usullarini tovarlar kimyosi nuqtayi nazaridan o‘rganish mahsulot sifatini nazorat qilish, uning haqiqiyligini tasdiqlash va iste’molchi xavfsizligini ta’minlash uchun dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Asosiy qism: Tovarlar sifatini kimyoviy baholashning nazariy asoslari- Tovar sifati mahsulotning iste'molchi ehtiyojlarini qondirish qobiliyatini belgilovchi xususiyatlar majmuasidir. Sifat ko'rsatkichlari mahsulotning kelib chiqishi, kimyoviy tarkibi, ishlab chiqarish texnologiyasi, saqlash sharoitlari va foydalanish xususiyatlari bilan chambarchas bog'liq.

Kimyoviy jihatdan tovar sifatini baholash quyidagi asosiy yo'nalishlarni o'z ichiga oladi:

1. mahsulotning umumiy kimyoviy tarkibini aniqlash;
2. asosiy komponentlarni identifikatsiya qilish;
3. biologik faol moddalarni aniqlash;
4. mineral elementlarni miqdoriy baholash;
5. begona va toksik komponentlarni aniqlash;
6. qalbakilashtirish belgilarini aniqlash;
7. mahsulotning saqlanish jarayonidagi kimyoviy o'zgarishlarini nazorat qilish.

Oddiy kimyoviy tahlil usullari ko'plab vazifalarni bajarishga imkon bersa-da, murakkab tarkibli tovarlarda komponentlarning bir-biridan ajralishi, juda kam konsentratsiyadagi moddalarni aniqlash va bir vaqtning o'zida ko'p parametrlarni baholash uchun instrumental usullar zarur bo'ladi. Instrumental tahlil usullari moddalarning fizik yoki fizik-kimyoviy xususiyatlarini maxsus asboblar yordamida o'lchashga asoslanadi. Ularning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- yuqori sezgirlik;
- yuqori aniqlik;
- kichik miqdordagi namunani tahlil qilish imkoniyati;
- murakkab aralashmalarni komponentlarga ajratish;
- sifat va miqdoriy tahlilni birlashtirish;
- tahlil jarayonini avtomatlashtirish;

• natijalarni raqamli qayta ishlash;

• murakkab tovar matritsalarini o‘rganish imkoniyati. Tovarlar kimyosida instrumental tahlil usullarini quyidagi guruhlarga ajratish mumkin:

Tahlil yo‘nalishi	**Asosiy usullar**	**Aniqlanadigan ko‘rsatkichlar**
Molekulyar spektroskopiya	UV-Vis, FTIR, Raman	Organik moddalar, funksional guruhlar
Xromatografiya	HPLC, GC	Organik komponentlar
Mass-spektrometriya	GC-MS, LC-MS	Molekulyar tarkib va identifikatsiya
Elementar tahlil	ICP-OES, ICP-MS, AAS	Makro va mikroelementlar
Yadro magnit rezonansi	NMR	Molekula tuzilishi va kimyoviy profil
Termik tahlil	DSC, TGA	Termik barqarorlik, fazaviy o‘zgarish
Elektrokimyoviy usullar	Potensiometriya va boshqalar	pH, ionlar, elektroaktiv moddalar

Ushbu usullarni alohida yoki kompleks ravishda qo‘llash mahsulot haqida keng qamrovli analitik ma’lumot olish imkonini beradi.

3. UV-VIS spektrofotometriyaning tovarlar sifatini nazorat qilishdagi ahamiyati. UV-Vis spektrofotometriya moddalarning ultrabinafsha va ko‘rinadigan sohalardagi elektromagnit nurlanishni yutish xususiyatiga asoslangan.

Usulning nazariy asosini Buger–Lambert–Ber qonuni ifodalaydi:

$A = \varepsilon \cdot l \cdot c$ bu yerda:

A — optik zichlik;

ε — molyar yutilish koeffitsiyenti;

l — optik yo‘l uzunligi;

c — moddaning konsentratsiyasi.

UV-Vis spektrofotometriya oziq-ovqat, farmatsevtika va tabiiy xomashyo asosidagi mahsulotlarni tahlil qilishda keng imkoniyatlarga ega. Masalan, mahsulot tarkibidagi fenolik birikmalar miqdorini aniqlash uning biologik va funksional qiymatini baholashda yordam beradi. Fourier-transform infraqizil spektroskopiya — FTIR moddalarning infraqizil nurlanishni yutishiga asoslangan zamonaviy instrumental usullardan biridir. Infraqizil spektr molekuladagi kimyoviy bog‘larning tebranishlari haqida ma’lumot beradi. Shu sababli moddaning funksional guruhlarini aniqlash va mahsulotning umumiy kimyoviy “profilini” olish mumkin. FTIR usulining muhim afzalligi — tahlilning nisbatan tez amalga oshirilishi va ko‘pincha murakkab namunalarni dastlabki identifikatsiya qilish imkoniyatidir. Shuningdek, FTIR spektroskopiyasi mahsulotlarni qalbakilashtirish va autentikligini tekshirishda ham qo‘llanadi. Ilmiy adabiyotlarda FTIR oziq-ovqat qalbakilashtirilishini aniqlashda tezkor va amaliy usullardan biri sifatida baholangan.

Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi — HPLC/YuSSX murakkab aralashmalar tarkibidagi komponentlarni ajratish, identifikatsiya qilish va miqdoriy aniqlashda eng muhim instrumental usullardan biridir.

HPLC usulining asosiy bosqichlari:

namunani tayyorlash → kolonkaga kiritish → komponentlarni ajratish → deteksiya → xromatogramma olish → sifat va miqdoriy baholash.

Xromatogrammada har bir komponentga mos keluvchi signal ma’lum retension vaqtga ega bo‘ladi. Standart moddalar bilan taqqoslash orqali komponentni identifikatsiya qilish, signal maydoni yoki balandligi asosida esa uning miqdorini aniqlash mumkin. Tovarlar kimyosida HPLC ayniqsa tabiiy o‘simlik xomashyosi asosidagi mahsulotlarning kimyoviy profilini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Gaz xromatografiyasi uchuvchan yoki uchuvchan holatga keltirilishi mumkin bo‘lgan moddalarni ajratish va aniqlashga asoslangan.

Gaz xromatografiyasi yordamida mahsulot tarkibidagi:

- efir moylari komponentlari;
- aromatik moddalar;
- uchuvchan organik birikmalar;
- yog‘ kislotalari hosilalari;
- ayrim pestitsid qoldiqlari

tahlil qilinishi mumkin.

GC-MS esa xromatografik ajratishni mass-spektrometrik identifikatsiya bilan birlashtiradi.

Bu holatda xromatografik tizim komponentlarni ajratadi, mass-spektrometr esa hosil bo‘lgan ionlarning massa/zaryad nisbatini aniqlaydi.

Shuning uchun GC-MS murakkab tabiiy va oziq-ovqat mahsulotlarining kimyoviy tarkibini chuqur o‘rganishda kuchli analitik vosita hisoblanadi. Suyuqlik xromatografiyasi va mass-spektrometriyaning birlashtirilishi — LC-MS murakkab va biologik faol komponentlarni aniqlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytiradi. HPLC orqali komponentlar ajratilgach, mass-spektrometr ularning molekulyar massasini va strukturaviy xususiyatlarini baholashga yordam beradi. Zamonaviy oziq-ovqat autentikligi tadqiqotlarida xromatografiya, mass-spektrometriya va spektroskopik usullar birgalikda qo‘llanib, mahsulotning kimyoviy profilini chuqur tahlil qilish imkonini bermoqda. Tovarlar sifatini baholashda organik komponentlar bilan bir qatorda mineral elementlarning miqdorini aniqlash ham muhim. ICP-OES — induktiv bog‘langan plazmali optik emission spektrometriya ko‘p elementli tahlil uchun qo‘llanadigan zamonaviy usuldir. ICP-MS esa elementlarni juda past konsentratsiyalarda aniqlash imkonini beruvchi yuqori sezgir instrumental usul hisoblanadi.

Ushbu usullar yordamida juda ko’p kimyoviy elementlar va boshqa ko‘plab

komponentlar aniqlanishi mumkin. Elementar tahlil mahsulotning mineral qiymatini baholash bilan birga, toksik elementlar mavjudligini nazorat qilishda ham muhimdir. 2026-yilda AOAC oziq-ovqat va ichimliklardagi tanlangan iz elementlarini aniqlash uchun ICP-MS yoki tegishli analitik usullarga asoslangan metodlarni rivojlantirishni davom ettirmoqda. Bu yo‘nalish instrumental elementar tahlilning zamonaviy sifat nazoratidagi dolzarbligini ko‘rsatadi. Atom-absorbsiya spektrometriyasi (AAS) metall elementlarning miqdorini aniqlashda qo‘llaniladigan instrumental usullardan biridir. Usul atomlarning ma’lum to‘lqin uzunligidagi nurlanishni yutishiga asoslanadi. AAS yordamida oziq-ovqat, o‘simlik xomashyosi, farmatsevtik mahsulotlar va boshqa tovarlarning tarkibidagi metall elementlar aniqlanishi mumkin. Ayniqsa, temir, mis, rux, kalsiy, magniy va boshqa elementlarning miqdorini baholash mahsulotning mineral tarkibi haqida muhim ma’lumot beradi.

Yadro magnit rezonansi — NMR spektroskopiyasi moddalarning molekulyar tuzilishini o‘rganishda kuchli instrumental usullardan biridir. NMR yordamida molekuladagi vodorod, uglerod va boshqa yadrolarning kimyoviy muhiti haqida ma’lumot olish mumkin.

Tovarlar kimyosida NMR:

- mahsulot autentikligini tekshirish;
- metabolik profilni o‘rganish;
- yog‘lar tarkibini baholash;
- tabiiy ekstraktlarni identifikatsiya qilish;
- qalbakilashtirish belgilarini aniqlash

uchun istiqbolli hisoblanadi. NMRning muhim jihati shundaki, u mahsulotning umumiy kimyoviy profilini shakllantirish imkonini beradi. Termik tahlil moddalarning harorat ta’siridagi fizik va kimyoviy o‘zgarishlarini o‘rganishga imkon beradi.

Differensial skanerlovchi kalorimetriya — DSC va termogravimetrik tahlil —

TGA ushbu yo‘nalishning muhim usullaridir.

DSC yordamida:

- erish harorati;
- kristallanish;
- fazaviy o‘zgarishlar;
- termik barqarorlik

o‘rganilishi mumkin.

TGA esa namlik yoki uchuvchan komponentlarning yo‘qolishi, parchalanish va termik barqarorlik jarayonlarini baholash imkonini beradi. Ushbu usullar polimer, oziq-ovqat, farmatsevtika va boshqa turdagi tovarlarning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o‘rganishda qo‘llanilishi va zamonaviy instrumental usullarning rivojlanishi natijasida tahlil qilinayotgan mahsulotlardan katta hajmdagi ma’lumotlar olinmoqda. Bunday ma’lumotlarni oddiy vizual taqqoslash orqali tahlil qilish ko‘pincha yetarli emas. Shu sababli instrumental tahlilni kemometrik usullar bilan birlashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan, turli ishlab chiqaruvchilarga tegishli mahsulotlarning FTIR yoki xromatografik profillari matematik jihatdan qayta ishlanib, ularni guruhlarga ajratish mumkin. Xromatografik “fingerprint” yondashuvi mahsulotning umumiy kimyoviy profilidan foydalanib, uning identifikatsiyasi va sifatini baholashga imkon beradi. Bu yondashuv ayniqsa murakkab tarkibli tabiiy mahsulotlar va oziq-ovqat tovarlarini autentifikatsiya qilishda istiqbolli hisoblanadi

Instrumental usullarning tovar sifatini baholashdagi qiyosiy xususiyatlari

Usul	**Asosiy prinsip**	**Aniqlash obyekti**	**Afzalligi**
UV-Vis	Nurlanishni yutish	Pigmentlar, fenollar, ayrim vitaminlar	Tezkor va nisbatan sodda
FTIR	IQ nurlanish yutilishi	Funksional guruhlar, umumiy profil	Tez va ko‘p hollarda minimal namuna tayyorlash

HPLC	Xromatografik ajratish	Vitaminlar, flavonoidlar, kislotalar	Yuqori selektivlik
GC	Gaz fazasida ajratish	Uchuvchan moddalar	Yuqori ajratish qobiliyati
GC-MS	GC + mass-spektrometriya	Uchuvchan organik moddalar	Ishonchli identifikatsiya
LC-MS	LC + mass-spektrometriya	Murakkab organik moddalar	Yuqori sezgirlik va selektivlik
ICP-OES	Plazma emissioni	Makro va mikroelementlar	Ko‘p elementli tahlil
ICP-MS	Massa-spektrometrik elementar tahlil	Iz elementlar	Juda yuqori sezgirlik
AAS	Atomlarning nurlanishni yutishi	Metall elementlar	Elementlar uchun samarali
NMR	Yadro magnit rezonansi	Molekulyar profil	Strukturaviy ma’lumot
DSC/TGA	Termik o‘zgarishlar	Termik xususiyatlar	Material barqarorligini baholash

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, universal bitta instrumental usul mavjud emas. Tahlil usulini tanlash mahsulotning kimyoviy tabiati, aniqlanayotgan komponent, kutilayotgan konsentratsiya va tahlil maqsadiga bog‘liq. O‘tkazilgan ilmiy-nazariy tahlil shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy instrumental tahlil usullari tovarlar kimyosida mahsulot sifatini baholashning eng muhim ilmiy vositalaridan biridir. Mahsulotning tashqi ko‘rinishi yoki oddiy fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari uning haqiqiy tarkibini to‘liq tavsiflab bera olmaydi. Ayniqsa, biologik faol moddalar, mikroelementlar, toksik elementlar, konservantlar, pestitsidlar va boshqa komponentlar juda past konsentratsiyalarda mavjud bo‘lishi mumkin. Bunday holatlarda yuqori sezgir instrumental usullardan

foydalanish zarur. HPLC va GC kabi xromatografik usullar murakkab aralashmalarni alohida komponentlarga ajratib, ularni sifat va miqdor jihatdan baholash imkonini beradi. Mass-spektrometriya bilan birlashtirilganda esa moddalarning identifikatsiya imkoniyati yanada kengayadi.

Xulosa: Tovarlar tarkibini identifikatsiya qilish va sifatini nazorat qilish zamonaviy tovarlar kimyosining muhim ilmiy-amaliy yo‘nalishlaridan biridir. Mahsulotlarning kimyoviy tarkibi murakkablashib borayotgan sharoitda an’anaviy organoleptik va oddiy kimyoviy tahlil usullari bilan bir qatorda zamonaviy instrumental usullardan foydalanish zarurati ortib bormoqda. UV-Vis spektrofotometriya, FTIR, HPLC, GC, GC-MS, LC-MS, ICP-OES, ICP-MS, AAS, NMR, DSC va TGA kabi instrumental usullar mahsulotlarning kimyoviy tarkibi, fizik-kimyoviy xususiyatlari va xavfsizlik ko‘rsatkichlarini obyektiv baholash imkonini beradi. Xromatografik usullar murakkab aralashmalarning komponent tarkibini aniqlashda, spektroskopik usullar mahsulotning molekulyar va funksional profilini baholashda, elementar tahlil usullari esa makro-, mikro- va toksik elementlarni aniqlashda alohida ahamiyatga ega. Instrumental tahlilning kemometrik yondashuvlar bilan integratsiyasi mahsulotlarning kimyoviy “fingerprint”ini shakllantirish, ularni tasniflash, autentikligini tekshirish va qalbakilashtirish holatlarini aniqlash imkoniyatlarini yanada kengaytiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Varmuza K., Filzmoser P. Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics**.** — Boca Raton: CRC Press, 2009.

2. Oliveri P., Downey G. Multivariate class modeling for the verification of food-authenticity claims // Trends in Analytical Chemistry**.** — 2012. — Vol. 35. — P. 74–86.

3. Esteki M., Shahsavari Z., Simal-Gandara J. Use of spectroscopic methods in combination with chemometrics for food authentication // Trends in Analytical Chemistry. — 2018. — Vol. 107. — P. 100–112.

4. Borràs E., Ferré J., Boqué R. et al. Data fusion methodologies for food authentication and quality assessment // Trends in Analytical Chemistry. — 2015. — Vol. 65. — P. 59–69.

5. Mæhre H.K., Dalheim Ø., Edvinsen G.K. et al. Protein determination—Method matters // Foods. — 2018. — Vol. 7, No. 1. — Article 5.

6. AOAC INTERNATIONAL. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 22nd ed. — Rockville, MD: AOAC INTERNATIONAL, 2023.

7. AOAC INTERNATIONAL. Standard Method Performance Requirements for Determination of Selected Trace Elements in Food and Beverages (AOAC SMPR 2025.003). — Rockville, MD: AOAC INTERNATIONAL, 2025.

8. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. — Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

9. Ríos-Reina R., Elcoroaristizabal S. Review of instrumental techniques for food quality, safety and authenticity analysis // Foods. — 2021. — Vol. 10, No. 5. — Article 1081.

10. A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations // Food Chemistry. — 2020.

11. Chromatographic Fingerprinting and Food Identity/Quality: Potentials and Challenges // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2021.

12. Advancements in analytical technologies for ensuring food quality and authentication: A comprehensive review // Journal of Food Composition and Analysis. — 2025. — Vol. 139. — Article 107075.

References

1. Varmuza, K., & Filzmoser, P. (2009). Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics. Boca Raton: CRC Press.

2. Oliveri, P., & Downey, G. (2012). Multivariate class modeling for the verification of food-authenticity claims. Trends in Analytical Chemistry, 35, 74–86.

3. Esteki, M., Shahsavari, Z., & Simal-Gandara, J. (2018). Use of spectroscopic methods in combination with chemometrics for food authentication. Trends in Analytical Chemistry, 107, 100–112.

4. Borràs, E., Ferré, J., Boqué, R., et al. (2015). Data fusion methodologies for food authentication and quality assessment. Trends in Analytical Chemistry, 65, 59–69.

5. Mæhre, H. K., Dalheim, Ø., Edvinsen, G. K., et al. (2018). Protein determination—Method matters. Foods, 7(1), Article 5.

6. AOAC INTERNATIONAL. (2023). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (22nd ed.). Rockville, MD: AOAC INTERNATIONAL.

7. AOAC INTERNATIONAL. (2025). Standard Method Performance Requirements for Determination of Selected Trace Elements in Food and Beverages (AOAC SMPR 2025.003). Rockville, MD: AOAC INTERNATIONAL.

8. ISO/IEC 17025:2017. (2017). General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. Geneva: International Organization for Standardization.

9. Ríos-Reina, R., & Elcoroaristizabal, S. (2021). Review of instrumental techniques for food quality, safety and authenticity analysis. Foods, 10(5), Article 1081.

10. A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations. (2020). Food Chemistry.

11. Chromatographic Fingerprinting and Food Identity/Quality: Potentials and Challenges. (2021). Journal of Agricultural and Food Chemistry.

12. Advancements in analytical technologies for ensuring food quality and authentication: A comprehensive review. (2025). Journal of Food Composition and Analysis, 139, Article 107075.