

The Development of Near-infrared Spectroscopy Technology in Food Quality Inspection

Bin Zhang

Hebei Institute of Food Inspection, Shijiazhuang, Hebei, 050227, China

Abstract

Near-infrared spectroscopy (NIR) is a non-destructive detection technology widely used in the field of food quality identification. It is based on the mechanism of interaction between near-infrared light waves and substances, and deeply analyzes the composition and characteristics of the sample by measuring the spectral information absorbed by the sample. It is highly efficient, accurate and non-destructive in food testing, and has great application potential in food component analysis, processing flow monitoring and storage preservation. With the continuous iteration of testing equipment and the increasing improvement of data processing algorithms, its application scope is constantly expanding. It can comprehensively assess the quality of various foods, and even basic components such as moisture, fat, protein and sugar can be accurately determined. However, although this technology has made significant progress in the field of food testing, it still faces challenges such as large equipment investment and cumbersome data processing procedures. In the future, with continuous technological breakthroughs and innovations, it will surely play a more important role in improving the food quality control system and upgrading the industry.

Keywords

near infrared spectroscopy; food detection; quality analysis; component determination; technical application

近红外光谱技术在食品品质检测中的发展

张斌

河北省食品检验研究院, 中国·河北 石家庄 050227

摘要

近红外光谱技术(NIR)是一种在食品品质鉴定领域广泛运用的非破坏性检测技术,它基于近红外光波和物质相互作用的机理,通过测定样品吸收的光谱信息深入分析样品的成分和特性,在食品检测方面高效、精确、无损且在食品组分分析、加工流程监控和储存保鲜方面有很大应用潜力,随着检测设备不断迭代和数据处理算法日益精进其应用范围不断扩大,能全面评估多种食品质量,像水分、脂肪、蛋白质、糖分等基础组分也能精准测定,不过这技术在食品检测领域虽然进步很大,但仍需面对设备投资大、数据处理流程繁琐等挑战,以后随着技术不断突破革新肯定会在完善食品质量控制体系和产业升级中起到更重要的作用。

关键词

近红外光谱; 食品检测; 品质分析; 成分测定; 技术应用

1 引言

近年来,全球消费者和食品行业日益重视食品安全质量,食品生产和消费需求持续增加使传统食品质量检测手段速度慢、成本高、检测方式受限等短板逐渐暴露出来,所以行业急需更高效、精确、环保的检测技术。近红外光谱技术是一项成熟的无损检测技术,这几年在食品品质鉴定领域表现出色且很受青睐,它能够通过深入分析样品在近红外光谱区域的吸收特性,快速且无损地得到食品成分构成、含量波动等关键信息,与传统化学分析法相比,近红外光谱技术检测

效率大大提高且更经济、适用范围更广,对各类食品即时分析时,该技术能动态监控食品质量、提升生产效率,保证食品安全可靠和有营养价值,在现代食品工业里,充分挖掘和发挥近红外光谱技术的潜力将成为推动食品行业科技创新和质量提升的关键要素。

2 近红外光谱技术概述

近红外光谱技术是一种利用700至2500纳米波长的近红外光谱区域和物质之间独特的交互作用的分析手段,有着非凡潜力,当近红外光线投射到样本表面时,样本里的分子会选择性吸收特定波长光线并产生振动,主要体现在分子化学键像C-H键、N-H键、O-H键等与光波的动态交互上,分子吸收光线形成的光谱图谱像一扇窗,能揭示样本分子结构

【作者简介】张斌(1980-),男,中国河北鹿泉人,硕士,高级工程师,从事食品安全研究。

和成分构成的奥秘，科研人员借助精密光谱仪器，能详细记录样本在不同波长的光吸收强度，深入剖析吸收光谱便可精确判定样本组分和浓度，近红外光谱技术不用对样本进行繁琐预处理且能同时高效检测多种成分，对光谱数据进行数学建模和细致解析就能精准预估样本中的化学成分，在食品品质检测领域，近红外光谱技术因诸多显著优势很受推崇，无损检测特性尤其突出，不破坏样本原有形态就能获取检测数据，避免了传统化学分析方法中的样品损耗问题。

3 近红外光谱技术在食品品质检测中的应用领域

3.1 食品成分分析

食品成分检测领域里，近红外光谱技术有着卓越的应用潜力，在精密测定样品在近红外光谱区域的吸收特性后，该技术就能准确剖析食品核心组分，如水分、蛋白质、脂肪的含量以及糖分比例等，而且与传统化学分析法相比，近红外光谱法无需繁琐的样品预处理，可直接得到无损又高效的成分数据，从而大大提高检测效率，通过构建科学数学模型，还能对各类食品成分进行多元化、精确化定量分析，特别要指出的是，在规模庞大的食品生产线里，该技术能实时跟踪每一批次产品的成分波动，有力保障产品一致性和品质稳定性。

3.2 食品加工过程监控

食品加工流程复杂，产品最终品质受多种物理变化和化学反应共同影响，而近红外光谱技术有独特优势，在自动化监测和即时反馈方面很重要，生产线配备近红外光谱设备后，能动态捕捉食品加工各阶段细微变化，像水分、脂肪、糖分等关键成分含量波动，并且能快速把信息反馈给生产团队，让他们灵活调整参数优化加工流程，就拿烘焙、干燥、发酵这些关键环节来说，近红外光谱技术像精准守护者，实时监测产品水分含量细微变化，指导操作人员适时调节温湿度，防止加工过度或不足，确保成品品质稳定，且在调味料混合制备时，这技术精确度非凡，配料比例微小差异都能发现，有效避免品质瑕疵风险。

3.3 食品储存与保鲜检测

保障食品品质与安全，食品存储与保鲜工作是重中之重，由于食品保质期不断延长，传统质量检测手段难以满足迅速且即时检测的要求，所以近红外光谱技术在这一领域的应用日益成为主流，它具有非破坏性分析能力，能够实时追踪食品储存期间的变化，精准测定食品里水分、糖分、脂肪等核心成分的含量，尤其擅长新鲜食材、易变质食品和加工食品的持久监控，例如在水果、蔬菜、肉类产品储存时，它能高效鉴别食品的成熟度、腐烂与否和保鲜状态，评估食品能否食用，此外，它还能监测包装材料对食品的防护效果，确保包装是否真的延缓了食品老化变质进程。

4 近红外光谱技术的发展历程

4.1 早期发展与应用

近红外光谱技术源于20世纪60年代，那时科学家首次发现它在化学分析方面有很大潜力，刚开始这技术主要用于比较单一的质量控制和化学成分分析且涉及的领域较窄。20世纪70年代，光谱仪器不断改进，近红外光谱技术开始进入农业和食品工业，在测定粮食、水果等农产品的水分、脂肪和蛋白质含量时表现很好，不过当时光谱仪分辨率低，精确识别复杂成分比较难，很多时候得靠人工分析和经验模型帮忙。80年代，光电探测器革新，近红外光谱技术的应用范围不断扩大，在药品和化学品质量控制方面成果显著，这个时候近红外技术慢慢发展起来并逐渐替代传统化学分析方法，成了备受关注的无损检测方法。到了90年代，计算机技术迅猛发展，数据处理能力大大提高，光谱分析的准确性和速度有了很大提升，这就加快了该技术在工业检测领域广泛应用的速度。

4.2 现代技术进展

21世纪的大门一迈进去，近红外光谱技术就开启了新征程，其应用范畴和发展态势活力满满前所未见，并且光学组件和传感器技术不断革新使当代近红外光谱仪器分辨率有了质的提升，能够精准捕捉复杂食品和化学成分的微妙差异；得着重提一下，数字化浪潮与计算机技术深度融合让数据处理和光谱解析的速度大大加快了，靠着先进的化学计量学方法，近红外光谱技术瞬间就能完成多组分定量分析这么艰巨的任务；近年来，光谱仪器朝着便携化、多功能化发展的趋势越来越明显，小巧的手持式近红外光谱仪悄悄进入市场且精确度跟实验室级仪器差不多了；市场调研数据表明，2019年全球近红外光谱市场规模接近20亿美元，预计到2025年这个数字会跳到30亿美元，年均增长率超10%相当厉害，这一系列技术革新给近红外光谱技术在食品、制药、农业、环境监测等很多领域广泛应用打下了坚实基础，在食品质量控制和加工监控方面更是非常重要。

4.3 未来发展趋势

近红外光谱技术朝着更高精度、更快速、更经济和更智能化的新阶段发展是未来可展望到的，并且随着光学传感器、光源和数据分析技术不断发展变化，近红外光谱仪器会变得更便携、即时响应以应对各类复杂样品的检测需求。到2030年，近红外光谱仪分辨率预计会有质的提升，比现有技术提高5到10倍，从而在多组分分析领域的能力将大大增强，而且大数据和人工智能深度融合能使近红外光谱分析智能化水平上新高度，实现光谱数据自动化高效处理与分析。未来技术发展还会着重拓展多元化应用场景，在环境监测、健康筛查等关键领域有广泛应用潜力，近年来便携式设备发展蓬勃使近红外技术越来越普及，预计会在食品制造、农业管理、环境监测等领域起核心引领作用，若物联网技术

深入应用，近红外光谱技术就和智能设备能无缝对接，成为现代工业和农业生产里高效分析的不可或缺的工具。

5 近红外光谱技术在食品品质检测中的挑战与解决方案

5.1 精度与准确性问题

近红外光谱技术在食品质量监控领域虽很重要，但在精确度和可靠性提升方面仍是需要跨越的一大技术发展障碍，该技术对外界因素如样本外观、粒度、温度等特别敏感，外界稍有变动就可能影响检测结果精准度，以食品水分含量测定为例，传统近红外光谱设备误差在 $\pm 0.5\%$ 到 $\pm 2\%$ 之间很常见，部分高端仪器虽能将误差缩至 $\pm 0.1\%$ 以下却太贵，制约了其使用，并且由于食品成分复杂，近红外光谱仪进行多组分分析时经常出现基线波动、干扰信号等难题，导致测量精度被削弱，科研人员近年来为解决这些问题引入分辨率更高的光谱设备并加上更精细的校正模型，反复调优数据、剔除背景噪声，分析准确度明显提高，业界权威报告称，因使用优化算法和多变量分析技术，近年来食品成分分析准确性提高，误差率比以前降低 20% 到 30%。

5.2 设备成本与技术普及

近红外光谱技术效益卓越但推广不易，设备投资高和技术普及难这两个问题阻碍了其推广。高质量的近红外光谱仪器价格高昂，顶尖设备达好几万美元且维护成本也不低，中小企业无力承担所以在中低端市场难以施展，虽然技术朝着便携化发展但便携式近红外光谱仪相比传统检测工具仍然较贵，在发展中国家更难以普及。2019 年全球市场上高端近红外光谱仪器大多售价在 2 万到 5 万美元，便携式设备约在 5000 到 15000 美元，科研人员和企业为打破成本高且普及低的局面共同研发低成本、高性能的近红外光谱仪器，现在市场上食品行业的便携式设备种类增多且价格越来越亲民，预计未来五年这类设备价格能下降 30% 到 50% 从而让技术更好地普及。

5.3 数据处理与分析技术

近红外光谱技术的应用面临另一大难关，那就是数据处理与分析，近红外光谱仪产生的数据海量且噪声和干扰信息特别多，所以对有效处理和精准解读数据的要求就特别高，以前靠线性回归的传统算法分析复杂样本时不行，所以这几年主成分分析（PCA）、偏最小二乘法（PLS）这些更

先进的多变量数据分析方法开始冒头并成为解决这难题的关键，它们能挑出关键信号且减少背景噪声干扰，从而大大提高数据分析的精度和效率，随着大数据技术和机器学习算法不断发展，近红外光谱数据处理能力有了质的提升，有研究表明用机器学习算法优化近红外光谱数据后分析精度能提高 15% 到 20%，不过数据处理仍很复杂且对技术人员的专业素养要求很高，很多厂商为了简化繁琐操作流程推出集成化数据处理软件，从而大大降低了操作的技术门槛，未来数载智能算法不断推广和深入应用，数据处理自动化水平定会提高，近红外光谱技术在食品检测领域的广泛应用也会进一步加速。

6 结语

近红外光谱技术是一种高效无损的检测利器，在食品品质鉴定领域表现出色，在食品成分深度剖析、加工流程精密监控和储存保鲜效果评估等关键环节优势明显，虽然在精确度提升、设备成本降低和数据处理优化等方面存在挑战，但技术发展快这些难题正慢慢被解决，硬件设备不断进步便携式光谱仪越来越普及且数据分析手段也不断革新，使得该技术在食品行业的应用越来越广泛深入，未来随着大数据和人工智能技术深度融合，近红外光谱技术可能会更高效智能，从而为食品安全和质量控制提供更精确可靠的保障，这一技术广泛应用会给食品工业发展注入强劲动力，在守护消费者健康、促进食品产业可持续发展方面具有重要意义。

参考文献

- [1] 乔凤康.基于近红外光谱的苹果可溶性固形物含量检测与品种分类研究[D].导师:王祖良,邵晖.西京学院,2025.
- [2] 李蓓蓓,郭军伟,马骥,张诺涵,赵乐,王洪波,刘雨,金哲,李山,刘金霞,王志才,聂聪.近红外光谱分析技术在烟草行业的应用研究进展[J].中国烟草学报,
- [3] 李博,朱莉,姚庆宇,姜洪洋.基于近红外光谱的草莓多品质参数通用预测模型研究[J].现代食品科技,
- [4] 丁大雄,米雪芹,李蓓,张静,王媛玲,唐晓茗,宋小影,潘庆春.功能性近红外光谱成像技术在耳鸣脑功能研究中的应用与展望[J].中华耳科学杂志,2025,23(02):301-304.
- [5] 付灵弟,窦佳轩,应婷婷,尹立勇,唐敏,梁振虎.基于功能性近红外光谱技术的不同阻力系数动静态任务在卒中后康复训练中的研究[J].生物化学与生物物理进展,