

近红外光谱技术在棉花纤维品质快速检测中的应用进展

扈玉璞 卫 莉

巴州检验检测中心 新疆 库尔勒 841000

摘 要：近红外光谱技术（Near Infrared Spectroscopy, NIRS）因其快速、无损、准确的特点，在农产品质量检测领域得到了广泛应用。本文综述了近红外光谱技术在棉花纤维品质快速检测中的应用进展，详细阐述了其在纤维成分含量检测、纤维品质指标评估等方面的具体应用，并分析了该技术的优势与不足。通过总结现有研究成果，本文展望了近红外光谱技术在棉花纤维品质检测中的未来发展方向。

关键词：近红外光谱技术；棉花纤维品质；快速检测；成分含量；品质指标

引言

棉花作为全球重要的经济作物之一，其纤维品质直接影响纺织品的质量和市场竞争力。传统的棉花纤维品质检测方法如显微镜法、化学分析法等，存在检测周期长、步骤繁琐、对样品有破坏性等缺点。近红外光谱技术作为一种新兴的分析方法，因其快速、无损、准确等优点，逐渐在棉花纤维品质检测中崭露头角。本文将详细介绍近红外光谱技术在棉花纤维品质快速检测中的应用进展。

1 近红外光谱技术原理

近红外光谱区一般指波长范围在750~2500nm的电磁波，这一区域的光谱包含了大量关于物质结构和组成的信息。当近红外光照射到样品上时，样品中的分子会吸收特定波长的光，产生吸收光谱^[1]。近红外光谱分析技术通过测量样品对近红外光的吸收、透射或反射光谱，结合化学计量学方法，如偏最小二乘法（PLS）、主成分分析（PCA）等，可以实现对样品中各种成分的快速、无损、准确检测。

2 近红外光谱技术在棉花纤维品质检测中的应用

2.1 纤维成分含量检测

近红外光谱技术在棉花纤维成分含量检测方面展现出了极高的精确度和实用性，特别是在混纺织物中棉含量的测定上。

对于棉/涤混纺织物，研究者们通过一系列精细的光谱预处理和波长选择策略，显著提升了检测模型的预测能力。具体来说，他们首先采用标准正态变量变换（SNV）对原始光谱数据进行矢量归一化处理，以消除由于样品粒度、表面散射等因素引起的光谱基线漂移和散射效应。接着，计算光谱的一阶导数（First derivative），以突出光谱中的吸收峰特征，增强光谱的分辨率和敏感性。在此基础上，结合偏最小二乘法（PLS）建立棉/涤混纺

织物中棉含量的定量校正模型。例如，在一项具体研究中，研究者们选取了不同比例的棉/涤混纺织物样品，通过PLS方法建立了校正模型，并发现经过SNV预处理后的光谱数据所建模型对棉含量的预测效果最为理想，预测误差显著降低，相关系数达到了0.98以上。另一项研究则通过构建多个定量分析模型，对比了原始光谱、SNV预处理光谱、一阶导数光谱等不同预处理方法的效果，最终确定一阶导数预处理结合PLS的模型具有最高的分析精度和稳定性，预测均方根误差（RMSE）降低到了较低水平。

在棉/氨、棉/麻、棉/粘等多种混纺织物中棉含量的检测方面，近红外光谱技术也表现出了优异的性能。以棉/氨纶混纺织物为例，研究者们采用傅里叶变换红外-近红外光谱仪（FTIR-NIRS）对样品进行扫描，获取其近红外光谱数据。然后，通过化学计量学方法，如PLS回归，建立氨纶含量的校正模型。在模型建立过程中，研究者们对光谱数据进行了优选波长和处理，以提高模型的预测准确性。所建模型的相关系数高达0.99389，显示了极高的预测准确性和可靠性。在棉/麻混纺织物的研究中，研究者们同样采用FTIR-NIRS技术，并结合变量优选方法，如遗传算法（GA）或竞争性自适应重加权采样（CARS），实现了棉含量的快速、准确检测。其检测结果与传统检测方法（如化学分析法）的相关系数达到了0.992，且预测速度大大加快，有效提高了检测效率。

在实际检测过程中，只需将待测样品置于近红外光谱仪器中进行扫描，即可迅速获取其近红外光谱数据。然后，利用预先建立的校正模型对光谱数据进行处理和分析，通过模型预测即可快速得出样品中棉花的含量^[2]。这种方法不仅操作简便、快速无损，而且有效避免了传统化学分析方法中可能引入的误差和污染问题，如试剂的消耗、废液的处理等，提高了检测的准确性和可靠性。

2.2 纤维品质指标评估

除了纤维成分含量检测外,近红外光谱技术还在棉花纤维品质指标的评估中发挥了重要作用。

在成熟度检测方面,近红外光谱技术展现出了良好的应用前景。研究者们利用短波红外高光谱成像(SWIR HSI)技术,对棉花纤维样品进行扫描,获取其高光谱图像数据。然后,通过图像处理和分析技术,如主成分分析(PCA)、独立成分分析(ICA)等,提取出与纤维成熟度相关的特征信息,如纹理、颜色等。最后,将这些特征信息与商用的台式近红外(NIR)测定仪器测得的成熟度数据进行对比和分析。实验结果表明,SWIR HSI技术在实验室环境下对棉花纤维成熟度的评估具有较低的均方根误差(例如 < 0.046)、较高的决定系数(例如 $R^2 > 0.518$)以及较高的95%置信区间样品百分比(例如97.0%),充分证明了其在棉花纤维成熟度评估中的潜力和优势。此外,SWIR HSI技术还具有非接触、快速、无损等优点,适合在线检测和大规模筛选。

同时,近红外光谱技术还被用于检测棉花纤维的细度、强力、含杂率等其他品质指标。在具体操作中,研究人员首先收集具有代表性的棉花纤维样品,并通过精确的化学或物理方法(如显微镜测量纤维直径、拉力测试机测量强力、称重法测量含杂率等)测定其品质指标。然后,利用近红外光谱仪器获取这些样品的光谱数据,并进行预处理和特征提取,如基线校正、平滑处理、波长选择等。在此基础上,通过化学计量学方法(如偏最小二乘法PLS、主成分分析PCA、支持向量机SVM、随机森林RF等)建立校正模型,将光谱数据与品质指标之间建立起紧密的关联。在模型建立过程中,研究者们还会对模型进行验证和优化,以提高模型的预测准确性和稳定性。最后,利用已建立的校正模型对未知样品的光谱数据进行预测和分析,即可得出其细度、强力、含杂率等各项品质指标。这种方法不仅提高了检测效率,降低了检测成本,还为棉花纤维品质的快速、准确评估提供了有力的技术支持和保障。同时,近红外光谱技术还具有非破坏性、快速、准确等优点,适合在线检测和实时监控。

3 近红外光谱技术的优势与不足

3.1 近红外光谱技术的优势

3.1.1 快速性

近红外光谱技术在棉花纤维品质检测中的快速性是其显著优势之一。传统的棉花纤维品质检测方法往往涉及复杂的化学处理步骤和耗时的物理测量过程,而近红外光谱技术则可以在几分钟内完成对整个棉花样品的光

谱采集和数据处理。这得益于近红外光谱仪器的高灵敏度和高效的数据处理算法,使得检测过程大大简化,检测时间显著缩短。对于棉花加工企业来说,这种快速性意味着可以更快地获取棉花纤维的品质信息,从而及时调整生产工艺,提高生产效率和产品质量。

3.1.2 无损性

近红外光谱技术的无损性也是其在棉花纤维品质检测中的重要优势。传统的检测方法往往需要对棉花样品进行破坏或预处理,这不仅浪费了样品,还可能引入额外的误差。而近红外光谱技术则可以在不破坏棉花纤维的情况下直接进行测量,实现了真正的无损检测^[3]。这对于珍贵的棉花品种或难以获取的样品来说尤为重要,同时也有助于保持棉花的原有品质,避免因检测而造成的损失。

3.1.3 准确性

近红外光谱技术通过测量棉花样品对近红外光的吸收光谱,能够直接获取样品中各种成分的信息,如纤维素、半纤维素、木质素等,具有较高的准确性和可靠性。这些成分与棉花纤维的品质密切相关,通过近红外光谱技术可以快速地评估棉花的强度、长度、细度等关键指标。同时,结合先进的化学计量学方法,如偏最小二乘回归、支持向量机等,可以从复杂的光谱数据中提取出有用的信息,建立预测模型,进一步提高品质分析的精度和稳定性。

3.2 近红外光谱技术的不足

3.2.1 受样品状态影响

尽管近红外光谱技术在棉花纤维品质检测中具有诸多优势,但它也存在一些不足之处。其中之一就是检测结果可能受到样品状态的影响。棉花的温度、湿度、压实程度等状态因素都可能对近红外光谱的测量结果产生影响。因此,在检测过程中需要严格控制样品状态,确保样品在相同的条件下进行测量,以确保检测结果的准确性。这要求检测人员具备一定的专业知识和操作经验,以确保样品状态的稳定性和一致性。

3.2.2 模型适应性

近红外光谱技术的检测精度高度依赖于所建立的数学模型。在棉花纤维品质检测中,模型的适应性可能受到棉花品种、生长环境、加工工艺等多种因素的影响。如果模型没有充分考虑到这些因素,就可能导致预测结果的偏差。因此,在实际应用中,需要对模型进行不断的验证和优化,以确保其适应性和准确性。这要求研究人员持续收集和分析新的棉花样品数据,不断更新和完善预测模型,以适应不同品种、不同生长环境和不同加

工工艺的棉花纤维品质检测需求。

4 未来发展方向

4.1 优化光谱预处理和波长选择方法

光谱预处理和波长选择是影响近红外光谱技术检测精度的重要因素。在未来的发展中,我们可以通过优化光谱预处理方法和波长选择策略,进一步提高近红外光谱技术的检测精度和稳定性。在光谱预处理方面,传统的预处理方法如基线校正、平滑处理、导数处理等虽然能有效去除光谱中的噪声和干扰,但也可能引入额外的信息损失或变形。因此,未来可以探索更加智能、自适应的光谱预处理方法,如基于小波变换、经验模态分解等先进信号处理技术,以更好地保留光谱中的有用信息,同时去除噪声和干扰^[4]。在波长选择方面,近红外光谱区域包含了大量的光谱信息,但并不是所有波长都对检测目标有贡献。因此,选择合适的波长范围对于提高检测精度和效率至关重要。未来可以研究更加高效、准确的波长选择方法,如基于遗传算法、粒子群优化等智能优化算法,以自动搜索最优的波长组合,进一步提高近红外光谱技术的检测性能。

4.2 开发新型检测仪器

随着科技的不断进步,未来可以开发更加高效、精准、便携的近红外光谱检测仪器。例如,可以开发基于微型光谱仪的便携式检测设备,以满足现场快速检测的需求。这种设备可以集成先进的光谱预处理和波长选择算法,实现实时、在线的光谱数据采集和分析,为农业生产、食品加工、质量控制等领域提供更加便捷、高效的检测手段。此外,还可以探索将近红外光谱技术与其他检测技术相结合的新型仪器开发。例如,可以将近红外光谱仪与图像传感器相结合,实现光谱信息和图像信息的同步采集和分析,为农产品的品质检测提供更加全面、准确的信息。

4.3 拓展应用领域

除了棉花纤维品质检测外,近红外光谱技术还可以拓展应用于其他农产品和食品的质量检测领域。例如,在粮食作物方面,可以利用近红外光谱技术检测稻谷、小麦等作物的蛋白质含量、水分含量、淀粉含量等指

标,为农业生产和粮食加工提供有力的技术支持。在食品工业方面,近红外光谱技术可以应用于肉制品、乳制品、果蔬制品等的质量检测,如检测肉类的脂肪含量、新鲜度、添加剂含量等,确保食品的安全和质量。

4.4 结合其他技术

近红外光谱技术可以与其他技术相结合,以进一步提高检测精度和效率。例如,可以结合图像处理技术对棉花纤维的形态特征进行分析。通过图像处理技术,可以提取棉花纤维的长度、细度、卷曲度等形态特征参数,结合近红外光谱技术获取的化学成分信息,可以更加全面地评估棉花纤维的品质。此外,还可以结合机器学习技术对光谱数据进行更深入的挖掘和处理。机器学习技术具有强大的数据处理和模式识别能力,可以从复杂的光谱数据中提取出有用的特征信息,建立更加准确、稳定的预测模型。通过结合机器学习技术,可以进一步提高近红外光谱技术的检测精度和稳定性,拓宽其应用领域。

结语

近红外光谱技术在棉花纤维品质快速检测中展现出了显著的优势和广阔的应用前景。通过不断优化技术方法和开发新型检测仪器,可以进一步提高近红外光谱技术的检测精度和稳定性。同时,拓展应用领域和结合其他技术也将为近红外光谱技术的发展带来新的机遇和挑战。相信在不久的将来,近红外光谱技术将在棉花纤维品质控制及其他领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]王静,刘超子,王铭,等.同位素质谱及近红外光谱技术在棉花产地溯源中应用进展[J].中国棉花,2023,50(12): 42-46.
- [2]马怡婷,李鲁侨,石钊琦,等.基于近红外光谱的棉花毛籽蛋白质和油分含量快速检测[J].棉花学报,2023,35(03): 211-219.
- [3]李鲁侨.棉花毛籽植酸含量近红外光谱快速无损测定方法的建立及其应用[D].浙江大学,2023.
- [4]文煜超.基于近红外光谱的棉花种子活力与品种检测[D].武汉轻工大学,2024.