

近红外光谱快检技术在口岸安全监管领域的应用展望

饶敏¹, 桂家祥^{2*}, 王晓娟³, 张岑¹, 乔宁¹

(1. 赣州海关, 江西 赣州 341000; 2. 南昌海关学会, 江西 南昌 330000; 3. 宁波海关, 浙江 宁波 315012)

摘要: 近红外快速检测技术在全球范围内作为一项新兴的快速检测手段, 已在农业、食品、饮料、石油、材料、制药、医学、动植物检疫及其工业化过程等领域得到了广泛应用。该文结合近红外光谱快速检测原理及其应用现状, 针对口岸安全监管中的商品智能归类、材料成分快速鉴定、动植物产品快速检疫鉴定、商品装卸过程的在线监测等需求, 提出引入近红外光谱检测技术应用于口岸安全监管领域的设想, 力求为实现口岸贸易安全与贸易便利化双重目标奠定科技基础, 并给出了近红外在口岸安全监管研究方面的应用展望。

关键词: 口岸安全监管; 近红外光谱技术; 快速检测; 快速检疫; 综述

中图分类号: O657.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2020)10-1225-0006

Application Prospect of Near Infrared Spectroscopy Rapid Detection in Port Safety Supervision

RAO Min¹, GUI Jia-xiang^{2*}, WANG Xiao-juan³, ZHANG Cen¹, QIAO Ning¹

(1. Ganzhou Customs, Ganzhou 341000, China; 2. Nanchang Customs Society, Nanchang 330000, China; 3. Ningbo Customs, Ningbo 315012, China)

Abstract: At present, as a new rapid detection method, near infrared spectroscopy rapid detection has been widely used in the fields of agriculture, food, beverage, oil, material, pharmacy, medicine, animal and plant quarantine and its industrial process. Based on the introduction of the principle and application of near-infrared rapid detection, an idea is put forward in this paper to introduce the near-infrared spectroscopy detection into the technical field of port safety, aiming at the application requirements such as intelligent classification of commodities, rapid identification of material composition, rapid quarantine identification of animal and plant products, as well as online monitoring of the loading and unloading process of commodities in port safety supervision. Meanwhile, a scientific and technological foundation is laid for the realization of the dual goals of port trade security and trade facilitation, and the research and application prospects of near infrared spectroscopy detection in port security supervision are presented.

Key words: port safety supervision; near infrared spectroscopy; rapid detection; rapid quarantine; review

随着中国参与全球一体化竞争的深入, 社会各界对贸易便利化的呼声日高, 这对海关快捷通关提出了新的要求。与此同时, 口岸安全防控也成为各国关注的焦点。我国口岸正面临保障口岸安全与贸易便利化的双重要求, 且执法难度和复杂程度越来越高。检验检疫融入海关使口岸安全管控的职能得以有效整合, 口岸安全监管能力和通关效率得到大幅提高, 但与实现口岸安全严密监管与贸易便利化的双重目标仍有差距, 究其原因, 监管手段和技术能力不足是制约口岸安全监管能力和整体通关效率的最主要因素。主要表现为: ①面对巨量的进出口货物, 商品归类、商品组分、产地确立的技术能力尚不满足快速通关的特殊要求; ②对进出口商品及其关联的运输工具是否携带有毒有害物质、有害生物或病媒生物的精准鉴定的快速判断技术不足, 从而存在口岸安全管控对贸易便利化带来的障碍。

近红外光谱快速检测技术是近年来分析领域发展较为迅猛的高新技术, 具有“操作简便、便携、商品定性归类和成分指标一键式秒测”的特点, 不但可用于常规离线检测, 还可用于流动物料的在线

检测。随着近红外光谱仪器技术、计算机技术和化学计量学方法的不断融合与发展,近红外快速检测技术已较为成熟,并广泛应用于农业、制药、食品、石化、疫情疫病快速诊断等领域,为现代生活带来了巨大的经济和社会效益。笔者认为,以快速检测和快速诊断、鉴定为特征的近红外快速检测技术是适应口岸安全管控的一项新型技术,但其在传统的口岸安全监管实践中尚未开展应用研究,在传统的检验检疫实践中的运用也刚刚起步。鉴于近红外快速检测技术的诸多优点,将其应用于商品智能归类、材料成分快速鉴定、动植物产品快速检疫鉴定、产品原产地鉴定、商品装卸过程的在线监测领域,将显著提高口岸安全的监管能力和监管效率。

1 近红外快速检测技术简介

1.1 近红外光谱分析技术的应用及发展

近红外(NIR)是最早发现的不可见光,距今已有 200 多年历史,但真正对其展开研究却是在 20 世纪初采用摄谱的方法首次获得了有机化合物的近红外光谱,并对有关基团的近红外光谱特征进行了解析^[1]。但 20 世纪 50 年代以前,由于缺乏基础仪器,近红外光谱的研究为数不多,且未得到实际应用。此后,随着简易近红外光谱仪器的出现,对近红外光谱的应用达到一个小高潮,其在农副产品(包括谷物、饲料、水果、蔬菜、肉、蛋、奶等)的品质(如水分、蛋白、油脂含量等)测定方面得到了一定应用^[2]。20 世纪 80 年代后期,随着化学计量学方法在近红外光谱技术上的应用,近红外光谱分析技术才真正为人们所注意,加之在快速检测技术方面积累的经验,使其迅速得到推广并成为一门独立的分析技术。尤其是近十年来,近红外在仪器、软件和应用上获得了高度发展,以高效、快速的特点异军突起,倍受人们关注^[3]。

1.2 近红外快速检测技术应用现状

近红外光谱分析技术在几十年的发展过程中,不断扩大其涉足领域以及应用的实效性,除应用于农业和食品分析外,还涉及生物、高分子、制药、石油化工、纺织、纤维等学科,只要是对有机物检测分析的行业基本上均可使用近红外分析技术。在我国,近红外光谱分析研究始于 20 世纪 80 年代初,已逐步涉及谷物等农产品分析、饲料分析、石油化工、药物分析、疫情疫病诊断等,并有专著出版和仪器制造、软件开发。随着软硬件的发展,NIR 还有望应用于其他许多方面,以下为近红外光谱技术在几个典型领域运用的现状。

近红外光谱技术在石油领域的应用较早且广泛,发展迅速,涉及石油加工的各个环节,如学者们将近红外光谱技术用于汽油的族组成^[4-5]、辛烷值^[6]、调和汽油中芳烃和烯烃含量^[7]、汽油硫含量^[8]测定,实现了对石油产品的定性定量检测。在化工产品的应用上,明晶等^[9]利用近红外光谱结合支持向量机算法(SVM)等多种化学计量学方法建立了定性模型用于正品琥珀与掺松香伪品的鉴别。在纺织纤维成分判别方面,桂家祥等^[10-17]实现了对纺织品常用混纺产品的定性定量检测,并陆续发布了 6 项 SN/T3896.1-6^[18-23]近红外法纺织品纤维含量检测行业标准,为近红外在纺织品成分识别和成分检测方面的应用奠定了基础。在木材材种鉴定方面,崔宏辉等^[24]及赣州市检验检疫科学研究院对不同种类木材进行快速无损检测,并将 200 多种已知种类木材光谱信息导入预测模型,进一步评估预测模型的性能,验证通过率为 100%,获得了较理想的预测结果,表明该技术可实现珍稀木材的快速、在线和无损鉴别。在产地溯源方面,研究者实现了近红外光谱技术对柑橘^[25]、葡萄酒^[26]、橄榄油、茶油^[27]、粮谷、食品产地溯源^[28]等原产地辨识。在毒品检测方面,邱晖等^[29]采用红外光谱技术实现了海洛因、乙酰吗啡、乙酰可卡因、氯胺酮等大部分毒品及混合物的准确识别。在危险化学品及爆炸物鉴别方面,刘晨等^[30]利用红外光谱技术对各爆炸物分离组分进行定性,可识别鉴定出爆炸物的种类;王明等^[31]利用红外光谱技术在未知爆炸物鉴定方面也取得了较好效果。在废旧塑料和塑料种类判别方面,已用近红外光谱技术实现了 6 种废旧混合塑料(ABS、PET、PP、PS、PE)的分类识别^[32-35];谭曜等^[35]利用近红外漫反射光谱法获取不同种类废旧塑料的近红外光谱图,运用近红外 OPUSIDNET 软件进行处理并建立了定性鉴别分析模型,该模型可有效判别废旧塑料的类别,定性分析结果良好,为区分不同种类废旧塑料提供了客观的评价方法。在植物及其产品病虫害识别方面,Cunningham 和 Floyd^[36]应用近红外光谱技术成功地对不同害虫危害程度(高和高等级)的红椿叶进行了划分。2009 年,刘占宇等^[37]

采用可见光-近红外光谱仪获取了受飞虱、穗颈瘟的危害而倒伏的水稻光谱反射率,对此类倒伏的水稻验证数据的识别率分别为100.0%和90.9%。2010年,孙红等^[38]对水稻稻纵卷叶螟虫害进行探索,通过构建样本总体修正曲线,提供了直观判别广域水稻是否受稻纵卷叶螟虫害侵扰的依据,对受害区的识别准确率达70%。Erukhimovitch等^[39]采用近红外光谱技术对正常和受到早期炭疽病感染的马铃薯进行了识别检测,并对小麦条锈病、水稻穗颈瘟病进行了研究。饶敏等^[40]建立了快速检测柑橘黄龙病的近红外光谱方法。这些研究为近红外快速检测技术在植物病害识别诊断方面提供了强有力的理论依据和技术借鉴。在病媒生物识别方面,澳大利亚昆士兰大学的科学家发现采用近红外光谱(NIR)的非侵入性技术可识别携带寨卡病毒的蚊子,识别感染的埃及伊蚊准确率达94%~99%。在转基因产品识别方面,我国学者^[41-42]利用近红外光谱法建立了转基因大米定性判别模型,最优模型的正确识别率为97.50%,有望成为转基因食品快速鉴别的一种辅助方法。在食用油成分判别方面,刘福莉、李昌等^[43-44]以8种食用油纯油共43个样品为对象,研究了近红外透射光谱结合聚类分析法快速鉴别食用油种类的可行性,发现近红外透射光谱结合聚类分析法可为快速无损鉴别食用油种类提供一种准确可靠的方法。

2 近红外光谱技术在口岸安全监管应用展望

随着科学技术的迅速发展,以近红外快速检测技术为代表的无损快速检测技术的应用越来越广泛,在货物有效监管、快速放行等方面有着不可替代的优势。将近红外光谱技术应用于口岸安全监管是实现口岸安全监管和贸易便利化目标的需要,根据近红外光谱技术原理及发展应用现状,笔者提出在口岸安全监管领域引入近红外检测技术的设想。

2.1 在口岸治税安全领域的应用

口岸治税安全是指对进出口商品征税的要求是否得到满足的一项合格评定活动,而合格评定的核心是对进出口商品进行科学归类。因此,科学治税的先决条件是对进出口货物这一特定的应税对象进行商品归类快速化与智能化,包括确立商品名称、组分含量、产地鉴定,从而为确立税则号提供依据。近红外光谱技术对商品定性定量分析具有现场、快速、无损的特点,在实现上述技术要求方面具有突出优势。对定性、定量等利用图像技术(如辐射成像技术)无法识别的领域使用箱外辅助检测手段(包括拉曼光谱、近红外光谱等),可克服光谱电磁波穿透(包装、集装箱)技术不足的难题,丰富“多维智能探测”技术在商品智能归类上的应用。如在石油产品归类应用^[45]中,润滑剂中石油含量不同则归类不同,石油含量超过70%归入2710税目(税率14%~20%),低于70%归入3403(税率0%)。利用近红外光谱技术可实现润滑剂结构组成信息的检测,从而实现润滑剂现场快速归类。在木材材种鉴定上也可运用近红外快检技术进行现场木材材种的判定,为执法提供依据。

2.2 在口岸公共卫生安全领域的应用

口岸公共卫生安全是通过口岸合格评定对交通工具、人员、集装箱、尸体、骸骨以及行李、货物、邮包、特殊卫生制品实施卫生检疫查验,防止传染病传入传出,保护人类健康。确保口岸公共卫生安全,需要对进出境人员是否携带传染病及其运输工具、货物是否携带病媒生物等进行快速检测与鉴定。人体携带某些特定传染病一般是人体感染了某种特定的病菌或病毒,此时人体的血液、唾液或组织一般形成某种特定的新的蛋白表达,对特定的蛋白表达建立近红外检测模型,能实现分秒级病原体的快速鉴定。同样,随运输工具和货物携带的病媒生物,利用近红外光谱技术也可以判断病媒生物的来源地及是否携带病原体。近红外的技术特点使之成为可实现上述要求的技术基础。

2.3 在口岸动植物生物安全领域的应用

口岸生物安全即通过口岸合格评定防止动植物及其制品疫情疫病、有害生物的传入传出,保护生态环境与人类健康。动植物产品被感染或导入外源基因后,会在生物体内形成新的蛋白表达。采用近红外光谱技术对新生成的蛋白进行检测从而推断病害疫种或基因品系,并可由此形成基于近红外的动植物源性产品病害疫情(转基因)种类智能快速筛查识别技术。由于近红外光谱分析具有测试简单、无需样本前处理、测试速度快、对测试人员无严格专业化要求、重现性好、可随模型优秀数据的累积模型不断优化、不会对人体及周边生态环境造成伤害等优点,因此可在口岸生物安全合格评定中用于

动植物及其制品疫情疫病、有害生物(包括昆虫、线虫、病菌、病毒、杂草种类、来源)的快速鉴定。

2.4 在口岸进出口食品安全领域的应用

口岸进出口食品安全即通过口岸合格评定保障进出口食品质量分别符合我国和输入国的法规性要求。如对食品安全所涉及的营养标签(脂肪、蛋白质、碳水化合物、热量、糖、酸、钠)、微生物、转基因、成分含量、有毒有害物质等进行现场快速检测。我国每年需进口大量食用油,但有些进口油存在“掺假”、“以次充好”等问题。掺假食用油不仅影响卫生品质和营养成分,且严重危害国民健康,因此,有必要对食用油种类进行鉴别。近红外光谱技术可在该方面有效发挥现场、快速检测的重要作用^[46]。

2.5 在口岸进出口商品质量安全领域的应用

2.5.1 非法携带物 非法携带物监管主要指对毒品、危险品、文物、濒危物种及其制品、文化用品、影像制品、出版物和其他禁止携带品等非法携带物实施符合性把关。目前,已有文献报道通过近红外光谱技术对毒品、危险品等进行归类^[47-49]。特别是在毒品识别方面,将近红外技术应用于疑似毒品的现场快速识别,能有效提升口岸缉毒能力和效率。

2.5.2 危险化学品 危险化学品是指具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等性质,对人体、设施、环境具有危害的剧毒化学品和其他化学品。危险化学品监管就是通过口岸合格评定保障危险品的进出口符合国际危规所规定的运输、储存、警示、标记和使用要求,其关键在于确立危险品的种类。将质谱、离子迁移、红外光谱等多维技术、多源数据融合技术的联合采用,可实现危险化学品的快速、准确识别。红外光谱技术在危险化学品及爆炸物快速识别方面具有突出优势,能现场快速地将这些危及口岸安全监管的进境物品拒之门外。

2.5.3 可用作原料的固体废物 可用作原料的固体废物监管是通过合格评定管控固体废物进出,并禁止洋垃圾入境。近红外光谱因可高效、快速、准确地对固体粉末、颗粒等多种物质进行无损检测而广泛应用于废旧塑料的快速鉴别^[32-35],因此,近红外光谱技术可以实现用作原料的固体废物的商品归类,并具有很好的应用前景。同时,商品装卸过程中的在线监测技术能发挥较好的管控作用,实现对疑似固体废物在线快速识别,为监管提供技术参考。

2.5.4 重要战略物资 重要战略物资监管主要是针对重要的资源性产品(如矿产品和资源型农产品)是否符合环保和品位实施合格评定;除矿产品外,近红外光谱技术可对大宗的农产品特别是资源型农产品(如大豆、棉花、粮食、肉类等)是否符合检疫要求和品位实现现场鉴定。

3 结论

随着研究的深入以及相关专用检测设备的研发完善,近红外光谱快检技术有望在不久的将来全面应用于商品智能归类、材料成分快速鉴定、动植物产品快速检疫鉴定、产品原产地鉴定、商品装卸过程的在线监测等多个口岸安全监管领域,并将大大提高口岸安全的监管能力和监管效率,为口岸贸易安全与贸易便利化双重目标提供强有力的科技支撑。

参考文献:

- [1] Lu W Z, Yuan H F, Chu X L. *Proceedings of the First National Near Infrared Spectroscopy Conference*. Beijing: Sinopec Press(陆婉珍,袁洪福,褚小立. 全国第一届近红外光谱学术会议论文集. 北京:中国石化出版社), 2006.
- [2] Norris K H, Rowan J D. *Food Technology, Chicago Inst Food Technologists*, 1957: 11-374.
- [3] Chu X L, Shi Y Y, Chen P, Li J Y, Xu Y P. *J. Instrum. Anal.* (褚小立,史云颖,陈瀑,李敬岩,许育鹏. 分析测试学报), 2019, 38(5): 603-611.
- [4] Yin Z L, Li K Z, Wu W H. *Mod. Instrum.* (殷宗玲,李克忠,武文华. 现代仪器), 2004, (1): 42-44.
- [5] Lei M, Feng X L. *J. Instrum. Anal.* (雷猛,冯新沪. 分析测试学报), 2009, 28(5): 529-534.
- [6] Shi Y H, Lu Y, Xu G M, Xu Y Z, Xu Z D, Cai D X, Lu W Q, Ma J T. *Chin. J. Anal. Chem.* (史月华,陆勇,徐光明,徐元植,徐铸德,蔡大雄,陆文琼,马竞涛. 分析化学), 2001, (1): 87-91.
- [7] Chu X L, Xu Y P, Lu W Z. *J. Instrum. Anal.* (褚小立,许育鹏,陆婉珍. 分析测试学报), 2008, 27(6): 619-622.
- [8] Xu J S, Zhang J. *Chem. Res. Appl.* (许家胜,张杰. 化学研究与应用), 2013, 25(3): 355-358.
- [9] Ming J, Chen L, Chen K L, Huang B S. *Chin. Med. Mat.* (明晶,陈龙,陈科力,黄必胜. 中药材), 2017, 40(1): 32-37.

- [10] Gui J X, Geng X, Yao L, Li H, Liao Y Y, Chen B. *J. Text. Res.* (桂家祥, 耿响, 要磊, 李慧, 廖燕燕, 陈斌. 纺织学报), **2012**, 33(4): 55–59.
- [11] Gui J X, Geng X, Zhou L P, Yao L, Wang J L, Li H. *J. Inspect. Quarantine* (桂家祥, 耿响, 周丽萍, 要磊, 王京力, 李慧. 检验检疫学刊), **2013**, 23(1): 1–6.
- [12] Geng X, Gui J X, Yao L, Zhou L P. *Shanghai Text. Technol.* (耿响, 桂家祥, 要磊, 周丽萍. 上海纺织科技), **2013**, 41(4): 25–27, 33.
- [13] Geng X, Gui J X, Zhou L P. *China Text. Leader* (耿响, 桂家祥, 周丽萍. 纺织导报), **2016**, (1): 92–94.
- [14] Geng X, Gui J X, Sun T, Liu X H, Wang J L. *Shanghai Text. Technol.* (耿响, 桂家祥, 孙通, 刘秀红, 王京力. 上海纺织科技), **2015**, 43(8): 80–82.
- [15] Geng X, Zhou L P, Gui J X, Zhu J X. *Infrared* (耿响, 周丽萍, 桂家祥, 祝建新. 红外), **2017**, 38(12): 1–5, 12.
- [16] Geng X, Gui J X, Liu X H, Zhou L P, Zhu J X. *Infrared* (耿响, 桂家祥, 刘秀红, 周丽萍, 祝建新. 红外), **2015**, 36(9): 30–34.
- [17] Wang J L, Gui J X, Geng X, Zhang X L. *Shanghai Text. Technol.* (王京力, 桂家祥, 耿响, 张晓利. 上海纺织科技), **2013**, 41(9): 51–53, 64.
- [18] SN/T 3896.1–2014. Textiles for Import and Export – Quantitative Analysis of Fibres – Near Infrared Method – Part 1: Mixtures of Polyester and Cotton. Industry Standards of Entry – Exit Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (进出口纺织品 纤维定量分析 近红外法 第1部分: 聚酯纤维与棉的混合物. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准).
- [19] SN/T 3896.2–2015. Textiles for Import and Export – Quantitative Analysis of Fibres – Near Infrared Method – Part 2: Mixtures of Polyester and Polyurethane Elastic Fibres. Industry Standards of Entry – Exit Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (进出口纺织品 纤维定量分析 近红外法 第2部分: 聚酯纤维与聚氨酯弹性纤维的混合物. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准).
- [20] SN/T 3896.3–2015. Textiles for Import and Export – Quantitative Analysis of Fibres – Near Infrared Method – Part 3: Mixture of Polyamide Fiber and Polyurethane Elastic Fiber. Industry Standards of Entry – Exit Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (进出口纺织品 纤维定量分析 近红外法 第3部分: 聚酰胺纤维与聚氨酯弹性纤维的混合物. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准).
- [21] SN/T 3896.4–2015. Textiles for Import and Export – Quantitative Analysis of Fibres – Near Infrared Method – Part 4: Mixtures of Cotton and Polyurethane Elastic Fibres. Industry Standards of Entry – Exit Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (进出口纺织品 纤维定量分析 近红外法 第4部分: 棉与聚氨酯弹性纤维的混合物. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准).
- [22] SN/T 3896.5–2015. Textiles for Import and Export – Quantitative Analysis of Fibres – Near Infrared Method – Part 5: Mixtures of Polyester and Viscose Fibres. Industry Standards of Entry – Exit Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (进出口纺织品 纤维定量分析 近红外法 第5部分: 聚酯纤维与粘胶纤维的混合物. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准).
- [23] SN/T 3896.6–2017. Textiles for Import and Export – Quantitative Analysis of Fibres – Near Infrared Method – Part 6: Mixtures of Polyester and Wool. Industry Standards of Entry – Exit Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (进出口纺织品 纤维定量分析 近红外法 第6部分: 聚酯纤维与羊毛的混合物. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准).
- [24] Cui H H, Fang G G, Liang L, Wu T, Liu W W. *Mod. Chem. Ind.* (崔宏辉, 房桂干, 梁龙, 吴珽, 刘雯雯. 现代化工), **2015**, 35(2): 169–171, 173.
- [25] Wei Y L, Yin C H, Chen G P, Huang J, Zhang W B, Du Y P. *Spectrosc. Spectral Anal.* (魏远隆, 尹昌海, 陈贵平, 黄洁, 张维冰, 杜一平. 光谱学与光谱分析), **2013**, 33(11): 3024–3027.
- [26] Liu W, Zhan J C, Huang W D, Li D M, Liu G J. *J. Agric. Eng.* (刘巍, 战吉成, 黄卫东, 李德美, 刘国杰. 农业工程学报), **2010**, 26(S1): 374–378.
- [27] Wen T, Zheng L Z, Gong Z L, Li L J, Xie J F, Ma Q. *J. Agric. Eng.* (文韬, 郑立章, 龚中良, 李立君, 谢洁飞, 马强. 农业工程学报), **2016**, 32(16): 293–299.
- [28] Guan X, Gu F Q, Yang Y J. *Biol. Process. Process* (管骁, 古方青, 杨永健. 生物加工过程), **2014**, 12(2): 77–82.
- [29] Qiu H, Le S, Wu F B. *Guangdong Chem. Ind.* (邱晖, 乐胜, 吴逢博. 广东化工), **2016**, 43(19): 178–180.
- [30] Liu C, Lü X W, Zhang S M, Cao H B, Xiao H. *Chem. Propellants Polym. Mater.* (刘晨, 吕小王, 张少民, 曹红宝, 肖恒. 化学推进剂与高分子材料), **2017**, 15(1): 82–84.
- [31] Wang M, Chen Z Q, Pan Q. *Collection of Papers on Fourier Infrared Spectroscopy and Its Application* (王明, 陈志群, 潘清. 傅里叶红外光谱技术及应用论文集), **2009**: 162–167.
- [32] Wang P. *Establishment of Identification and Classification Model of Waste Plastics Based on Near Infrared Spectroscopy*. Tianjin: Tianjin University (王鹏. 基于近红外光谱的废旧塑料识别分类模型的建立. 天津: 天津大学), **2016**.
- [33] Hao Y, Wen Q H, Rao M, Chen B. *Food and Machiner* (郝勇, 温钦华, 饶敏, 陈斌. 食品与机械), **2018**, 34(4): 124–127.

- [34] Zhang Y M, Bai J R, Liu H S, Tang G L, Hu B. *Appl. Eng. Plast.* (张毅民, 白家瑞, 刘红莎, 汤桂兰, 胡彪. 工程塑料应用), **2014**, 42(5): 75–79.
- [35] Tan Y, Wang Q W, Wang H. *Plast. Ind.* (谭曜, 王群威, 王豪. 塑料工业), **2009**, 37(9): 57–60.
- [36] Cunningham S A, Floyd R B. *Can. J. Forest Res.*, **2004**, 34(3): 642–648.
- [37] Liu Z Y, Wang D C, Li B. *J. Infrared Millimeter Wave.* (刘占宇, 王大成, 李波. 红外与毫米波学报), **2009**, 28(5): 342–345.
- [38] Sun H, Li M Z, Zhou Z Y. *Spectrosc. Spectral Anal.* (孙红, 李民赞, 周志艳. 光谱学与光谱分析), **2010**, 30(4): 1080–1083.
- [39] Erukhimovitch V, Tsrer L, Hazanovsky M. *Appl. Spectrosc.*, **2007**, 61(10): 1052–1056.
- [40] Rao M, Gui J X, Lu Z J, Xiao Q Q, Zhang C. *Plant Prot.* (饶敏, 桂家祥, 卢占军, 肖青青, 张岑. 植物保护), **2017**, 43(6): 135–138.
- [41] Hao Y, Rao M, Chen B. *Food Ind. Technol.* (郝勇, 饶敏, 陈斌. 食品工业科技), **2017**, 38(22): 242–245.
- [42] Zhu S P. Commemorating the 30 th Anniversary of the Founding of the Chinese Society of Agricultural Engineering and the 2009 Annual Academic Meeting of the Chinese society of Agricultural Engineering(CSAE 2009). Beijing: China academic Journal Electronic Publishing House(祝诗平. 纪念中国农业工程学会成立30周年暨中国农业工程学会2009年学术年会(CSAE 2009)论文集. 北京: 中国学术期刊电子杂志社), **2009**: 4.
- [43] Liu F L, Chen H C, Jiang L Y. *J. Chin. Metrology Inst.* (刘福莉, 陈华才, 姜礼义. 中国计量学院学报), **2008**, 19(3): 279–282.
- [44] Li C, Shan L, Wang X G. *Agric. Eng. Technol.* (李昌, 单良, 王兴国. 农业工程技术), **2007**, 5(18): 30–35.
- [45] Bing S. *Study on Near Infrared Spectroscopy Analysis of Multicomponent Organic Mixtures and Petroleum Products.* Xi'an: Xi'an Petroleum University(邴珊. 多组分有机混合物及石油产品的近红外光谱分析方法研究. 西安: 西安石油大学), **2016**.
- [46] Li J, Huang M H, Yan Y B, Liang S Y. *Food and Machinery*(李娟, 黄木花, 燕一波, 梁漱玉. 食品与机械), **2020**, 36(6): 99–102.
- [47] Cao H, Lu F, Li H, Lian R Y, Zhao W S, Li L S, Zhao Y R, Yang H M, Feng Y. *Comput. Appl. Chem.* (曹槐, 路帆, 李虹, 练荣业, 赵文嵩, 李丽莎, 赵郁荣, 杨红梅, 冯宇. 计算机与应用化学), **2009**, 26(3): 287–291.
- [48] Wu G P, Zuo Y X. *J. Chin. Pharm. Univ.* (吴国萍, 左跃先. 中国药科大学学报), **2008**, (4): 321–323.
- [49] He L. *Sci. Educ. Guide*(贺岚. 科教导刊), **2013**, (5): 197–198.

(责任编辑: 周启动)

(上接第1224页)

- [30] Sim N, Konovalov D, Coomans D. *High-Performance GRID Computing in Chemoinformatics.* In Comprehensive Chemometrics. Elsevier: Oxford, **2009**.
- [31] Ankam V. *Big Data Analytics with Spark and Hadoop.* Wu J Z, translated. Beijing: Machinery Industry Press(文卡特·安卡姆. Spark与Hadoop大数据分析. 吴今朝, 译. 北京: 机械工业出版社), **2017**.
- [32] Chen F M, Han D Z, Bi K, Dai Y T. *J. Comput. Appl.* (陈付梅, 韩德志, 毕坤, 戴永涛. 计算机应用), **2017**, 37(3): 620–627.
- [33] Li L, Zhu Y L, Song Y Q. *J. Syst. Simul.* (李莉, 朱永利, 宋亚奇. 系统仿真学报), **2018**, 30(4): 1473–1481.
- [34] Dong J H, Wang G Y, Yong X, Shi X Y, Li Q L. *J. Zhengzhou Univ.: Eng. Ed.* (董建华, 王国胤, 雍熙, 史晓雨, 李庆亮. 郑州大学学报: 工学版), **2017**, 38(5): 7–12.

(责任编辑: 周启动)