第28卷,第2期
2008年2月

光 谱 学 与 光 谱 分 析
Spectroscopy and Spectral Analysis

Vol. 28, No. 2, pp285-290
February, 2008

可见/近红外光谱技术在液态食品检测中的应用研究进展

林 涛, 于海燕, 应义斌*

浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029

摘 要 可见/近红外光谱作为一种快速、无损的新型检测技术, 在农产品与食品品质检测领域获得越来越广泛的应用。日本和欧美很多国家在近红外光谱对农产品与食品品质检测方面已经取得了很大的进展, 国内在这一领域的研究虽有一定的成果, 但与国外相比仍有一定的差距, 有待加强。文章从酒类、奶制品、果汁、食用油等方面综述了近几年国内外可见/近红外光谱技术在液态食品品质检测中的最新应用研究进展, 分析了可见/近红外光谱技术应用于液态食品品质检测的种种优势, 思考了应用中存在的一些问题并尝试提出了相应的解决方法, 最后对进一步的研究提出了展望。

关键词 可见/近红外光谱; 液态食品; 品质; 检测

中图分类号: S123 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-0593(2008)02-0285-06

引 言

为提高液态食品品质评审的客观性、可靠性、重复性, 减少人为评定差异, 国内外研究人员利用高效液相色谱[1]、气相色谱[2]、电化学分析法[3]、电子鼻/电子舌技术[4]等对液态食品的不同成分进行了检测。而近红外光谱技术作为一种无损、快速的检测手段被越来越多的研究人员所利用[5,6]。国内外学者在近红外光谱对液态食品品质检测方面已经进行了许多研究, 日本和欧美很多国家已经取得了很大的进展, 国内在这一领域的研究虽然取得了一定的成果但仍有待加强。

1 可见/近红外光谱技术在酒类品质检测中的应用

自2003年以来, 澳大利亚酒检测中心的Cozzolino等进行了大量的可见/近红外光谱分析技术在酒品质检测中的应用试验研究。Cozzolino[7]等利用可见/近红外光谱技术对澳大利亚市售的两种葡萄酒(霞多丽和雷司令)进行了鉴别分析。结果表明综合可见和近红外波长区域的光谱信息可以使区分模型获得最佳建模数据, 而且在偏最小二乘判别回归模式下对雷司令和霞多丽的判别正确率分别为100%和96%。但由于样品数量和品种的局限性, 将这一技术应用到其他品种的葡萄酒判别仍存在一定局限性。2004年, 采取可见/近红外光谱技术检测葡萄酒中有色聚合体、三甲聚合体和单宁酸三个成分的浓度[8]。结果表明: 在利用近红外结合偏最小二乘法的预测值与利用液相色谱测量值有着较好的相关性, 近红外光谱分析方法可以用来作为一种快速、无损检测葡萄酒中各种酚类物质浓度的检测。2005年, 通过对120瓶两个品种的澳大利亚白葡萄酒感官评价和可见/近红外光谱分析, 结合感官评价和光谱分析这两种方法的分析数据建立模型, 发现近红外光谱信息与酒中的感官评价之间存在着某种联系, 可以进行不同类型葡萄酒的感官评价[9]。但这一研究也存在着一定局限性: 样品酒的品种和数量有限, 对于偏最小二乘校正模型的预测稳定性有待通过新的独立的样品集来验证。在以后的分析中, 应收集更多的葡萄酒品种结合更大范围的感官评价来分析及验证这一方法的可行性。2006年, 结合电子鼻, 可见/近红外光谱分析方法进行了不同葡萄酒的感官品质评价的探索性研究[10]。研究结果表明相对于单一的检测方式, 综合几种检测方式的方法对于快速评价不同葡萄酒的感官品质有着一定的优势, 可以帮助辨别特定的挥发物质, 选择更适合于检测葡萄酒品质的波长范围以提高检测的准确性。在2007年进行了关于温度变化对酒的近红外光谱的影响以及相应确定化学组成成分计量模型表现影响的研究[11]。研究结果显示波长在970和1 400 nm处的光谱图像有差异, 相对应的O—H键是导致这一变化的原因。基于偏最小二乘法的交叉验证标准差随着温度的升高而减小。这一研究的实际应用表现在利用1 mm光程长的比色皿来扫描分析酒的品质的适宜温度应该在30～35 ℃之间。

收稿日期: 2007-02-06, **修订日期**: 2007-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671197)和教育部"新世纪优秀人才支持计划"基金项目(NCET-04-0524)资助

作者简介: 林 涛, 1985年生, 浙江大学生物系统工程与食品科学学院本科生 *通讯联系人 e-mail: ybying@zju.edu.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Cuadrado[12]等利用近红外反射光谱法分析检测葡萄酒酿造过程中的 15 个参数，用偏最小二乘法和交互验证法等多变量校正方法，建立了光谱模型，其中酒精度、质量密度、总酸、pH 值、色强度、乳糖、色调和总酚类化合物的判别系数高于 0.8，但挥发酸、有机酸、还原糖和总二氧化硫的判别系数较低，因为这些物质在葡萄酒中的含量较低(低于近红外的检测限)，但总的来讲，近红外反射光谱法可以作为过程中主要参数的检测。在 2005 年又综合利用近红外/中红外光谱技术对葡萄酒的几个因素进行了检测[13]。由于近红外光谱分析的信噪比较低，相比较傅里叶变化中红外检测，近红外分析的结果更为准确，其中它对酒精度和容积重量两个指标测定值的交叉验证标准误差(SECV)与标准方式下十分接近，分别为 0.19 %(v/v)和 0.33 kg·L^{-1}。另外，结合两个光谱区域检测的方法提高了对甘油和总二氧化硫的检测精度，并免除了标准方法关于对时间，试剂消耗量和操作失误的限制。

Nieuwoudt[14]等利用傅里叶变换红外光谱和主成分分析相结合的方法对葡萄酒酵母在发酵过程中的主要发酵产物进行分析，建立一个校正方程。对基酒和勾兑酒的挥发性酸度、甘油、乙醇、还原糖和葡萄糖的含量进行检测，研究表明傅里叶变换红外光谱分析可以快速检测葡萄酒酵母的发酵程度，并且可以加快发酵初期的评价进程。

Soriano[15]等利用傅里叶变换近红外检测方法对葡萄酒的色素成分进行了检测，结果表明：定标样品中的标准分析误差(SEC)在 0.15～23.79 mg·L^{-1}之间，为了将参考方法和傅里叶变换近红外检测方法关联起来，作者开发了一个校正方程，但这却导致系统误差的产生，不过这一误差可通过一个校正因子来去除。另外实验表明傅里叶变换近红外光谱检测技术可以作为对葡萄酒色素成分的检测并可以提供相关的红酒颜色的信息。

国内在酒方面的研究虽然开展的较早，但研究成果不是很多。肖璞[16]等 2004 年首次采用衰减全反射(HATR 附件)傅里叶变换红外光谱法并结合二阶微分光谱对市售不同厂家葡萄酒的酒精含量和糖含量进行了快速无损分析。对于含糖量低的葡萄酒，其酒精度越高，1 010～1 120 cm^{-1}处酒精的 C═O 键的峰值越大，用酒精的 C═O 键的特征峰来判断酒精的含量非常准确；对于含糖量高的葡萄酒，成分中的多种糖的特征峰多在 830～1 200 cm^{-1}区段，可以用此波段的糖峰的吸收度强度和峰的个数来判断含糖量的高低。2006 年浙江大学生物图像与生物光电工程实验室[17]探讨了近红外光谱分析技术用于黄酒酒龄定性鉴别的可行性。其中 1 年、3 年和 5 年的样本分类正确率分别为 88.3 %，100 %和 100 %。同年，该实验室利用傅里叶变换近红外光谱对黄酒中的微量金属进行了检测[18]，其中对于钾、钙、镁这三种元素，模型的准确性是高的。另外对于同批样品，还进行了近红外光谱分析技术用于黄酒产地的鉴别方面的研究[19]。试验结果表明，近红外光谱分析可较好地用于黄酒产地鉴别，其鉴别正确率可达到 100 %。2007 年，利用可见/近红外光谱技术实现了对瓶装黄酒酒龄的判定[20]，对于酒龄为 1 年、2 年、3 年的样本分类正确率为 100 %，酒龄为 4 年和 5 年的样本分类正确率为 92.9 %。

2 可见/近红外光谱技术在奶制品品质检测中的应用

Schmilovitch[21]等研究认为，利用近红外光谱对非均质液态农产品进行成分分析，尤其在线检测中，很难实现建模要求。在液态农产品流交叉部位，其本身可能产生被测成分浓度不均匀分布的情况。他们对新鲜的原牛奶进行试验和近红外光谱扫描建立了一个修正的脂肪含量分布离散模型，考虑了成分浓度分布的影响。作者认为检测液态农产品时，在模型传递中应考虑被测样品成分浓度的分布。

由于体细胞数的含量高低通常被用来检测奶牛是否感染乳腺炎，因而在对奶制品品质的检测中，许多学者对于体细胞的数量进行了研究。Pravdova[22]等应用近红外光谱技术建立起一个基于偏最小二乘法的预测模型对非均脂牛奶中体细胞数(SCC)进行了预测。原乳样品收集于奶牛泌乳期前，在 400～1 100 nm 范围对其进行近红外光谱测量，利用偏最小二乘法来剔除无信息变量，结果表明用基于偏最小二乘法的预测模型来预测原乳的体细胞数是可行的。

Tsenkova[23]等分析了牛奶中体细胞数量对于非均质牛奶中的脂肪，蛋白质和乳糖含量检测的影响。通过对 258 个牛奶样品的检测，表明建模样品数据来源于体细胞数低的牛奶样品的校正模型，对牛奶中脂肪，蛋白质和乳糖这三个成分检测精度最高。但是将体细胞数低的牛奶样品校正模型用于检测体细胞数高的牛奶时，标准预测差值增大，相关系数减少。因而作者认为校正模型中体细胞数高的牛奶样品对于牛奶中脂肪，蛋白质和乳糖成分的检测有着很大的影响，可以通过建立一个包含体细胞数多的牛奶样品和体细胞数少的牛奶样品的综合建模样品集来提高校正模型的稳定性。

随着近红外光谱技术对牛奶品质检测实验室研究的不断深入，不少学者开始探讨将这一技术应用到在线检测的可能性。Brennan[24]等建立了一个近红外光谱系统用来在线检测牛奶处理过程中的脂肪含量。该系统是利用 LIGA (lithographie, galvanoformung and abformung)技术由光学元件构建的微系统，他们将其用于牛奶处理过程中，在 800～1 100 nm 波长范围内，对牛奶中脂肪含量变化的检测系统响应敏感。但是这只是对这一设备的初步应用，进一步工作应着眼于在过程控制环节中如何引入成本低的光学系统以及对检测进程和装置设计的改善，以期提高系统的稳定性。Navratil[25]等综合利用近红外光谱技术和电子鼻技术对工业环境下的酸奶发酵过程进行在线品质检测(见图 1)。作者分别对光谱图象数据和电子鼻信号数据进行主成分分析，将其第一主成分的分值用来建立一个可以观察酸奶发酵过程轨迹的图表。而且近红外光谱信号通过偏最小二乘法处理，建立了对于酸奶 pH 值和总酸的校正模型。研究的结果表明：综合使用近红外光谱技术和电子鼻技术可以对酸奶发酵情况进行在线检测和评价。

Shuso 等在实验基础上构建了在线近红外光谱牛奶品质检测系统。这一系统由近红外光谱装置、牛奶流量计、牛奶

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

样品池和附加的奶桶组成(见图 2)。该系统在 600～1 050 nm 波长范围内在挤奶过程中获得非均脂牛奶的近红外光谱，建立了牛奶的 3 个主要成分脂肪、蛋白质和乳糖，体细胞个数 SCC 和牛奶尿素氮 MUN 的标定模型，结果表明这一在线检测系统可以对单个牛奶在挤奶过程中进行牛奶品质评价，但仍需通过提高校正模型的稳定性来提升牛场的生产管理水平。因而对如何提高在线近红外光谱牛奶检测模型的稳定性做了进一步的研究。研究表明当建立的校正模型被用来判断与校正模型数据来源相同牛群的牛奶品质时，模型的准确性是高的；但当被用来预测不同牛群的牛奶品质时，除脂肪外的所有牛奶品质因素的判别准确性都处于较低水平。为了提高模型的稳定性，作者认为很有必要要结合不用牛群的数据来建模。

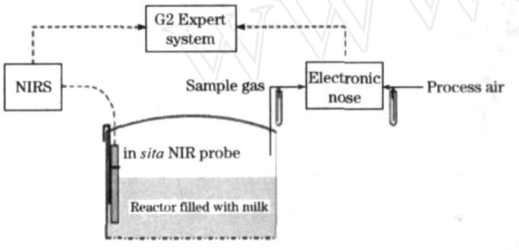

Fig. 1　Experimental setup for on-line monitoring of yogurt fermentation

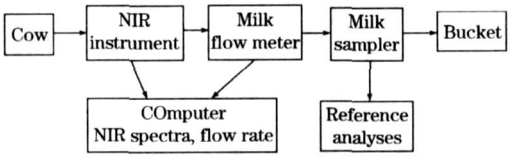

Fig. 2　Flow chart of the on-line near-infrared spectroscopic sensing system for assessment of milk quality during milking

Chang[26]等研究表明傅里叶变换中红外光谱技术(FT-IR)和傅里叶变换近红外光谱技术都可用于监测液态脂肪的酶法酯交换的进程。作者比较了基于傅里叶变换中红外光谱技术的衰减漫反射模式和基于傅里叶变换近红外光谱技术的透射模式的检测，结果表明这两种检测方式得出的结果同传统检测方式得出的结果相关性很高($r > 0.96$)，其中基于傅里叶变换近红外光谱技术的透射模式下的检测结果最优，而且检测更快速更简单。但同时作者指出由于在线过程中样品状态不均匀将大大影响光谱检测的准确性，将这一技术应用实际生产中还有一定的挑战。

在国内研究进展方面，刘蓉[27]等综合利用半数重采样法(resampling by half-mean，RHM)和最小半球体积法(smallest half-volume，SHV)对牛奶成分测量的近红外光谱进行了奇异点的剔除实验。结果表明，RHM 可以快速准确地挑选出奇异点，而 SHV 距离是对 RHM 算法的一种验证，有助于判断 RHM 算法中概率较低的样品是否为奇异点，因此两种算法的结合是提出奇异点的一条有效途径，其效果远优于传统的奇异点剔除方法，并且该方法具有简单快速、计算量小、数值稳定等特点，非常适用于在线分析和其他类型的光谱数据中奇异点的检测。

3　可见/近红外光谱技术在果汁品质检测中的应用

Rodriguez[28]等利用傅里叶变换近红外光谱技术对苹果汁和橘子汁中的糖份进行了检测。结果表明：透射模式下的光谱检测结果比反射模式下更精确，它的标准预测差小于 0.10 %而且相关系数达到 99.99 %，但是应该注意的是环境温度的变化对于糖份的近红外检测也有着一定的影响。这一研究表明傅里叶变换近红外光谱技术可以对果汁中的糖分含量进行检测，而且该技术可以应用到饮料的质量控制并基于糖分的区别来实现果汁掺假和污染的鉴别。Roussel[29]等对未发酵的葡萄汁分别利用傅里叶变换近红外光谱、电子鼻和紫外光谱技术进行葡萄汁品种的鉴别。研究表明傅里叶变换近红外光谱分析技术的鉴别错误率最低达到 30.7 %，而电子鼻和紫外光谱技术的错误率分别为 41.3 %和 47.7 %。进一步利用遗传算法对光谱进行预处理，结果提高显著：FT-NIR 的鉴别错误率降低至 9.6 %，紫外光谱的鉴别错误率降低至 22.9 %。

Reid[30]等对中红外光谱和近红外光谱技术判别苹果汁品种的可能性进行了评价，结果表明：通过对样品进行微波的热处理和原始光谱的偏最小二乘法处理，能更有效地区分不同品种的苹果汁，正确分类百分比达到 82.4 %。进一步的研究应该着眼于对不同等级和不同次数的微波热处理进行分析，来探讨微波热处理技术对光谱分析结果的影响，以及如何将这一分析检测手段应用到别的果汁品质鉴定上。

Chen[31]等利用近红外光谱技术对日本梅子汁进行了柠檬酸和苹果酸的含量检测。作者采取 1 mm 光程长度在长波范围内对样品采集光谱，并对校正模型采用偏最小二乘法处理。结果表明利用近红外光谱技术检测的结果同采用毛细管电泳法得到的结果十分接近：相关系数达到 0.96，标准预测差达到 0.22 %。

陆辉山[32]等利用傅里叶变换近红外(FT-NIR)光谱透射方式对新鲜苹果汁溶性固形物含量(SSC)进行了快速订量分析。研究对比了不同光谱范围内建立的检测模型的性能，就预测平方根误差(RMSEP)和决定系数(r^2)进行不同模型的预测性能，最好的新鲜苹果汁 SSC 预测模型的 RMSEP = 0.603 %，$r^2 = 0.997$。结果表明 FT-NIR 可以作为一种可靠、准确、快速的无损检测方法来评价新鲜水果的可溶性固形物含量。

4　可见/近红外光谱技术在食用油品质检测中的应用

Steuer[34]等利用近红外光谱对柑橘油进行了品质检测，结果表明近红外光谱可以快速、准确得检测柑橘油中的醛、酮等主要成分，这些主要成分的相关系数都在 95 %以上。并

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

且根据光谱图的分析得到，对分析有价值的吸收峰位置主要受 C—H 和 C═O 基频、倍频的影响。通过这一研究作者认为若采用光纤传输，近红外光谱技术可以应用到蒸馏、提取等工业过程检测。

Lankmayra[35]等利用可见光、近红外光谱和傅里叶变换近红外光谱三种光谱技术对 186 瓶市售的南瓜油进行品质判别，结果表明：利用光谱技术可以快速鉴别南瓜油的品质，免去了分析前期光谱预处理所需要的费时的理化成分分析，这一应用大大减少了实验室的仪器分析的工作量。同时，作者认为进一步的研究应该着眼于：(1) 确定影响南瓜油产品品质的主要因素；(2) 分析产地和生长气候对产品品质的影响；(3) 鉴定能确定产品产地和真伪的成分；(4) 探讨能建立食品质量控制的方法。

Yasushi[35]等利用近红外光谱技术对鱼油中的碘值和皂化值进行了快速检测，通过验证表明，基于偏最小二乘法的近红外光谱分析技术对鱼油中的碘值和皂化值检测较之传统方法更快速、更准确。另外由于可食用鱼油比非食用鱼油有较高的碘值和皂化值，作者发现可以利用近红外光谱技术来鉴别可食用鱼油与非食用鱼油，而且每一样品的检测时间只需 2 min。

Houmoller[36]等利用近红外光谱技术对奶油油脂的脂化程度进行了检测，结果表明近红外光谱技术可以代替传统方法对菜油中的自由脂肪酸和固体脂肪含量进行检测。而且研究表明可以通过光谱分析来预测等效反应时间，以此来检测脂化过程中酶的反应活性，从而决定何时除去反应酶。

Galtier[37]等利用近红外光谱技术对法国的轻质橄榄油的脂肪酸和甘油脂成分进行了检测。表明橄榄油的产地鉴别可以不通过理化分析，直接通过分析近红外光谱图的区别来区分；近红外光谱技术可以广泛应用于橄榄油的质量管理、流程控制以及产地的快速鉴定等方面。作者认为接下来的研究应着眼于如何设计在线近红外检测设备，将其技术应用实际生产管理。

Choo[38]等利用近红外光谱技术对煎炸油中的两种降解成分总极性物质(total polar materials，TPMs)和自由脂肪酸(free fatty acids，FFAs)的含量进行检测。通过对校正模型进行向前逐步多元线性回归和偏最小二乘法的模型改进后，模型可以被用来从近红外光谱图中直接确定总极性物质和自由脂肪酸的含量，但是对光谱进行微分处理对于结果没有明显改进。研究结果表明在长波范围中(1 100～2 500 nm)的预测结果好于在短波范围中(700～1 100 nm)的预测结果，对于总极性物质的预测结果好于自由脂肪酸。作者认为进一步的研究应着眼于煎炸过不同食物的油是否会影响这一校正模型对于煎炸油中总极性物质和自由脂肪酸成分检测的稳定性。

由于近红外光谱对脂肪和油的检测存在着一些不可控制的误差来源(仪器、环境和样品准备过程的改变)的影响，而且这些误差对检测精度有着很大的影响，因此不少学者对此进行了研究。Fernandez[39]等对猪油中的脂肪含量进行了检测，通过比较各种光谱数学预处理方式，表明采用数学预处理方式，预测模型的表现没有发生特别显著的变化。但是由于猪油脂肪的光谱图存在比较尖的波峰，因而对光谱图进行有效的微分处理对保证模型的稳定性是必要的。Perez[40]等通过利用重复性数据算法(Repeatability file algorithm)对猪油中的脂肪酸含量进行了检测。用于建立重复性数据的样品是代表着建模样品中的脂肪酸含量平均值的样品，而且重复性数据的样品数不需要包括大量的样品。重复性数据的样品被保存在 - 20 ℃的环境中，每一星期采集一次光谱，反映整个研究过程中的变化情况。研究表明利用重复性数据并不能提高校验统计的精度，但是采用这一方法可以提高预测模型在两个月后对新样品的预测能力，可以提高模型的稳定性。

5 研究中存在的问题及研究展望

从国内外的研究可以看到，关于近红外光谱技术对液态食品的品质检测存在一些共性问题，下面是作者对有关问题的探讨，希望对今后的研究有所启发。

(1) 由于样品光谱易受样品状态、测量条件等的影响而导致光谱的不确定性较大，因此光程长度的选择、环境的温度与液态食品样品的本身温度对于检测精度的影响是我们在研究关于近红外光谱技术对液态食品品质检测这一课题时要解决的问题之一。

(2) 对近红外光谱区域而言，水是一种极强的吸收体，它掩盖了其他成分吸收近红外光谱的信号。既要降低光谱检测的误差，又要获得较强的待测成分的信号，是液态食品检测中需要解决的问题。

(3) 由于液态食品的色、香、味等指标也是评价液态食品品质好坏的重要标准，单一的近红外光谱分析技术只是对酒的化学成分进行了检测，缺少对它的感官成分的分析，如何综合利用电子鼻/电子舌和多种光谱分析技术进行品质检测是需要解决的问题。

(4) 在模型算法优化和光谱预处理方法方面还有待开展深入的探索，另外许多液态食品是非均质产品，静态检测下建立的稳定模型可能在实际生产中变得不稳定。因此，如何建立性能稳定的数学模型是近红外光谱研究的一个重要课题。

(5) 在实验室检测取得成功的基础上，着眼于开发可以适应工厂化生产的在线近红外光谱检测装置，将这一快速、无损检测技术应用到实际生产中，提高工厂管理控制水平，从源头上来控制食品的安全问题。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参 考 文 献

[1] Cheong Tae Kim, Eun-Sun Hwang, Hyong Joo Lee. Food Chemistry, 2007, 101: 401.
[2] Braga J W B, Bottoli C B G, Jardin C S F, et al. Journal of Chromatography A, 2007, 1148: 200.
[3] Zacco E, Adrian J, Galve R, et al. Biosensors and Bioelectronks, 2007, 22: 2184.
[4] Cynker W, Cozzolino D, Dambergs B, et al. Sensors and Acruators B-Chemical, 2007, 124(1): 167.
[5] XU Guang-tong, YUAN Hong-fu, LU Wan-zhen(徐广通, 袁洪福, 陆婉珍). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2000, 20(2): 134.
[6] WANG Duo-jia, ZHOU Xiang-yang, JIN Tong-ming, et al(王多加, 周向阳, 金同铭, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(4): 447.
[7] Cozzolino D, Smith Heather Eunice, Gishen Mark. J. Agric. Food Chem., 2003, 51(26): 7703.
[8] Cozzolino D, Kwiatkowski M J, Parker M, et al. Analytica Chimica Acta, 2004, 513: 73.
[9] Cozzolino D, Heather E Smytha, Kate A Lattey, et al. Analytica Chimica Acta, 2005, 539: 341.
[10] Cozzolino D, Heather E Smytha, Kate A Lattey, et al. Analytica Chimica Acta, 2006, 563: 319.
[11] Cozzolino D, Liu L, Cynkar W U, et al. Anal. Chim. Acta, 2007, 588(2): 224.
[12] Urbano-Cuadrado M, Luque de Castro M D, Perez-Juan P M, et al. Analytica Chimica Acta, 2004, 527: 81.
[13] Urbano-Cuadrado M, Luque de Castro M D, Perez-Juan P M, et al. Talanta, 2005, 66: 218.
[14] Helene H Nieuwoudt, Isak S Pretorius, et al. Journal of Microbiological Methods, 2006, 67: 248.
[15] Soriano A, et al. Food Chemistry, 2006, 96(2): 173.
[16] XIAO Pu, SUN Su-qin, ZHOU Qun, et al(肖 璞, 孙素琴, 周 群, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(11): 1352.
[17] Yu Haiyan, Ying Yibin, Fu Xiaping. Journal of Food Quality, 2006, 29: 339.
[18] Yu Haiyan, Xu Huirong, Ying Yibin, et al. Transactions of the ASABE, 2006, 49(5): 1463.
[19] Yu Haiyan, Zhou Ying, Fu Xiaping. Eur. Food Res. Technol., 2006, 225: 313.
[20] Yu Haiyan, Ying Yibin, Sun Tong. Journal of Food Science, 2007, 72: 125.
[21] Schmilovitch Z, Shmulevich I, Notea A, et al. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 29: 195.
[22] Pravdova V, Walczak B, Massart D L, et al. Analytica Chimica Acta, 2001, 450: 131.
[23] Tsenkova R, Atanassova S, Ozaki Y, et al. International Dairy Journal, 2001, 11: 779.
[24] Brennan D, Alderman J, Sattler L, et al. Measurement, 2003, 33: 67.
[25] Navratil M, Cimander C, Mandenius C. J. Agric. Food Chem., 2004, 52(3): 415.
[26] CHANG Ting-hong, LAI Xu-xin, ZHANG Hong et al. J. Agric. Food Chem., 2005, 53(26): 9841.
[27] LIU Rong, CHEN Wen-liang, XU Ke-xin, et al(刘 蓉, 陈文亮, 徐可欣, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2005, 25(2): 207.
[28] Rodriguez-Saona L E, Fry F S, Mclaughlin M A, et al. Carbohydrate Research, 2001, 336: 63.
[29] Roussel S, Bellon-Maurel V, Grenier P, et al. Journal of Food Engineering, 2003, 60: 407.
[30] Reid L M, Woodcock T, O'Dommell C P, et al. Food Research International, 2005, 38: 1109.
[31] CHEN Jie-yu, ZHANG Han, Ryuji Matsunaga. J. Agric. Food Chem., 2006, 54(26): 7437.
[32] LU Hui-shan, YING Yi-bin, FU Xia-ping, et al(陆辉山, 应义斌, 傅霞萍, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(3): 494.
[33] Steuer B, Schulz H, et al. Food Chemistry, 2001, 72: 113.
[34] Lankmayr E, Mocak J, Serdt K, et al. J. Biochem. Biophys. Methods, 2004, 61: 95.
[35] Yasushi Endo, Misako Tagiri-Endo, Kenichiro Kimura. J. Food Science, 2005, 70(2): 127.
[36] Houmller L P, Kristensen D, Rosager H. Talanta, 2007, 71: 868.
[37] Galtier O, Dupuya N, Le Dreaua Y, et al. Anal. Chim. Acta, 2007, 595: 136.
[38] Choo Lum Ng, Randy L Wehling, Susan L Cuppett. J. Agric. Food Chem., 2007, 55(3): 593.
[39] Fernández-Cabanás V M, Garrido-Varo A, García Olmo J, et al. Chemometr. Intell. Lab. Syst., 2007, 87(1): 104.
[40] Pérez-Marín D, Garrido-Varo A, De Pedro E, et al. Chemometr. Intell. Lab. Syst., 2007, 87(2): 241.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Review of Progress in Application Visible/ Near-Infrared Spectroscopy in Liquid Food Detection

LIN Tao, YU Hai-yan, YING Yi-bin*
College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract As a rapid, non-destructive new testing technology, Vis/ near-infrared spectroscopy is increasingly widely used in agriculture products and food quality evaluation research. The United States, Japan and many European countries have made a great deal of progress in the Vis/ near-infrared spectroscopy for agriculture products and food quality evaluation. Although our country has got some fruits in this area, in comparison with foreign countries, there is still a lot of work to strengthen. In the present paper, from aspects of alcohol, dairy products, fruit juices and edible oil, the authors reviewed the latest research progress in Vis/ near-infrared spectroscopy in the quality evaluation of liquid food with the emphasis on the recent 5 years, analyzed the advantages of this technique's application to the quality evaluation of liquid foods. Finally, problems existing in the applications were analyzed and solutions to them were proposed. Based on a study of the issue, this article outlined the further study and made a number of recommendations.

Keywords Visble/ near-infrared spectroscopy; Liquid food; Quality; Detection

(Received Feb. 6, 2007; accepted May 16, 2007)

* Corresponding author

《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者，本刊要求作者重写，这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文，要求言简意明、确切地论述文章的主要内容，突出创新之处。

2. 应拥有与论文同等量的主要信息，包括四个要素，即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素，例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下，英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围，以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据，如检测限、相对标准偏差等；结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。

3. 句型力求简单，尽量采用被动式，通常应有 2000 个印刷字符，300 个英文单词为宜，不能太短；也不要太长。用 A4 复印纸单面隔行打印。

4. 摘要不应有引言中出现的内容，换言之，摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论，不得简单重复题名中已有的信息；不用非公知公用的符号和术语；不用引文，除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号，除相邻专业的读者也能清楚地理解外，在首次出现时必须加以说明，例如用括号写出全称。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net