

## 红外光谱技术在蜂蜜质量检测中的研究进展

屠振华<sup>1</sup>, 朱大洲<sup>2</sup>, 籍保平<sup>1</sup>, 孟超英<sup>3</sup>, 王林舸<sup>1</sup>, 庆兆坤<sup>1\*</sup>

1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083
2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097
3. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083

**摘要** 蜂蜜的品质检测和掺假判别对于保证产品质量、保障其食用安全性具有重要意义。传统的化学分析、抽样检测方法限于成本较高、操作复杂等原因, 已不能满足生产实践中大范围检测的需求。近年来, 蜂蜜检测技术正向快速化、高通量方向发展。光谱分析技术具有快速、非接触测量的优点, 已在石化领域获得了广泛应用, 在蜂蜜品质检测方面具有较大的应用潜力。并综述了近红外光谱分析技术和中红外光谱分析技术在蜂蜜定量和定性检测研究中的进展。主要包括这两种光谱分析技术在蜂蜜产品的品质检测、掺假判别、植物源判别、产地判别等方面的研究进展, 通过这几方面的介绍, 对红外光谱技术在蜂蜜分析检测中的检测原理、技术路线、准确度、影响因素及发展方向进行了综合分析。

**关键词** 蜂蜜; 近红外光谱; 中红外光谱; 检测; 掺假; 植物源; 产地

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)11-2971-05

### 引言

蜂蜜作为一种由蜜蜂采集植物的花蜜或者分泌物经自身含有的特殊物质进行充分酿造而成的甜味物质, 蜂蜜中含有糖类、水分、矿物质、维生素、蛋白质、氨基酸乙酰胆碱、生物类黄酮等 180 余种不同物质成分<sup>[1]</sup>, 因此蜂蜜具有独特的食疗保健功效。目前由蜂蜜的组成引出的对于蜂蜜质量评价的指标, 无论是国内还是国外基本体现在对感官指标和理化指标等评价上, 也就形成了相关的检测技术, 而蜂蜜的安全卫生指标检测在蜂蜜的产品质量控制中也是非常重要的。我国一直是蜂产品出口大国, 但蜂蜜质量参差不齐, 国内蜂蜜掺假现象也较严重。检测技术的落后不仅影响到蜂蜜产品的质量安全和食用安全性, 也影响了我国蜂蜜的出口创汇。2002 年初, 欧盟以我国产蜂蜜含有氯霉素等抗生素超标为由, 中止进口中国的蜂蜜, 日本、加拿大、美国等国家也加强对中国蜂蜜的检验。因此, 加强蜂蜜的检验和新型检测技术的研究具有重要意义。

以化学反应为基础, 通过分析化学方法来得出被测成分含量的经典化学分析方法和现代仪器分析化学方法是对蜂蜜内部品质检测及掺假判别检测的国际标准方法。虽然这些方

法敏感性较高, 但限于设备成本高、检测速度慢、对样品有破坏、操作过程复杂, 只能序后抽检等缺点, 已不能满足生产实践中对蜂蜜产品品质及掺假判别进行大批量、快速、无损检测的需求。红外检测技术(包括近红外和中红外), 就是以红外光作为光源, 照射在蜂蜜的内部, 利用红外光在蜂蜜中发生吸收、反射、漫反射和透射等物理现象, 应用光学检测器采集携带蜂蜜品质信息的光谱, 并利用该信息结合化学计量学对蜂蜜的产品品质、掺假方面等进行快速检测。目前, 对于蜂蜜的检测一般分为 5 个方面: 根据产品标准的产品品质检测、掺假判别检测、植物源判别检测、产地判别检测和蜂蜜中兽药残留等卫生标准检测。红外光谱检测技术作为一种快速、无损、新型的分析测试技术在除了蜂蜜中兽药残留等卫生标准检测外的其他 4 个方面均得到了研究和应用, 其重点主要如下: (1) 蜂蜜产品品质检测, 包括对蜂蜜中水分、葡萄糖、果糖、酸度、电导率、淀粉酶、羟甲基糠醛等理化指标进行快速检测, 可以有效地避免经典化学分析方法及现代仪器分析化学方法限于设备成本高、检测速度慢、对样品有破坏、操作过程复杂, 只能序后抽检等缺点; (2) 蜂蜜掺假判别检测, 主要是判别向蜂蜜中掺入蔗糖、转化糖、果糖、葡萄糖、葡糖糖浆、果葡糖浆等现象, 可避免在采用国标中蜂蜜中碳-13 植物糖含量测定方法稳定碳同位素比例

收稿日期: 2010-01-18, 修订日期: 2010-04-22

基金项目: 国家“十一五”重大科技专项项目(2006BAD05A06-Z1)和国家自然科学基金项目(30901127)资助

作者简介: 屠振华, 1983 年生, 中国农业大学食品科学与营养工程学院博士生 e-mail: tzh2323@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: qingzhaoshen@cau.edu.cn

法<sup>[2]</sup>时费用较高的问题；(3)蜂蜜产地和植物源的判别，由于不同产地不同植物源的蜂蜜含有不同物质成分，特别是一些特殊的功能成分，因此，对于蜂蜜产地和植物源的快速判别有利于打击市场上以次掺好、以次充好等现象。

因此，研究红外光谱分析技术对蜂蜜进行内部品质检测及掺假、产地、植物源判别，具有重要的理论价值和广阔的市场应用前景。本文综述了近红外和中红外光谱检测法在蜂蜜产品标准的产品品质检测、掺假判别检测、植物源判别检测、产地判别检测等方面国内外最新研究进展。

## 1 近红外光谱检测法在蜂蜜快速检测中的研究进展

近红外光谱技术作为一种较为成熟的光谱技术，应用于蜂蜜内部品质检测及掺假判别的历史不长。蜂蜜中含有 180 余种不同物质成分，且因受来源植物不同、成熟度不同等多种因素的影响，不同品种的蜂蜜所含成分也存在一定的差异。在各种蜂蜜标准中，蜂蜜中不少成分指标均有明确要求，因此在诸多的研究中，蜂蜜内部品质的检测中近红外分析技术的研究是最早开展的领域。同时，蜂蜜是一种易于掺假的商品，近年来，如何快速实现蜂蜜的掺假判别一直是一个研究热点，近红外光谱分析技术在这方面也有了一些探索性研究。此外，近红外光谱分析技术在蜂蜜的产地和植物源判别上也有了初步研究。

### 1.1 基于近红外光谱的蜂蜜主要成分检测

在蜂蜜中内部品质的检测中方面，在国外早在 1998 年，Ha 等和 Cho 等就已经利用近红外光谱技术尝试分析了蜂蜜成分。Ha 等进行了近红外光谱检测蜂蜜的化学成分的可行性分析，研究表明近红外光谱法可较好地预测蜂蜜中的水分、果糖、葡萄糖含量和果糖/葡萄糖比例等指标<sup>[3]</sup>。Cho 等对超过 1 600 个蜂蜜样品采集近红外光谱并用标准方法测定了化学值，利用偏最小二乘法分别建立了蜂蜜中主要指标如糖类、脯氨酸、水分含量、HMF、pH 值，电导率等的校正模型，预测得到大部分指标模型相关系数( $R^2$ )范围是 0.84~0.98 研究表明，蜂蜜中大部分指标用近红外法检测可以得到令人接受的预测结果<sup>[4]</sup>。

Qiu 等对于来自 11 个不同国家的 74 个蜂蜜样品分别采集了 1, 2, 4, 10 mm 光程的反射和透射光谱来分析最佳采集条件，通过比较光谱形状和波形可以看到透射较反射光谱更佳，同时模型的预测性能要高 30%~70%。同时通过对光程的分析，得到在透射条件下 1 mm 光程的光谱为最佳采集条件。在研究多个样品处理方法和回归模型对校正的影响后，选择改进的偏最小二乘法(MPLS)校正所有的蜂蜜成分。模型验证结果表明，光谱技术能准确鉴定蜂蜜的水分、果糖、葡萄糖、蔗糖和麦芽糖的含量，模型相关系数( $R^2$ )分别为 1.0, 0.97, 0.91, 0.86, 0.93，而蜂蜜的酸度、内酯、羟甲基糠醛(HMF)预测效果均不佳<sup>[5]</sup>。

Garcia-Alvarez 等分别收集了 1992 年, 1995 年, 1996 年这 3 年的 161 个蜂蜜样品，然后采集了近红外光谱来预测蜂蜜中水分，果糖和葡萄糖含量。实验首先建立了 3 个指标不

同年份的局部模型，局部模型不同指标的预测效果都较好。然后，对不同年份的局部模型开始交叉预测，研究结果表明局部模型交叉预测效果有时较差，这表明蜂蜜中水分，果糖和葡萄糖含量不一定适用不同年份的样品的交叉预测。最后，在对 3 年样品全局模型验证结果表明，光谱技术能准确鉴定蜂蜜的水分、果糖、葡萄糖含量，模型相关系数( $R^2$ )分别为 0.98, 0.97, 0.96<sup>[6]</sup>。

Cozzolino 等对来自乌拉圭的 110 个蜂蜜样品采集了 0.2 mm 光程、400~2 500 nm 波段的反射可见/近红外光谱，利用 PLSR 分别建立了校正模型。在对水分含量、pH 值、电导率、颜色值、羟甲基糠醛(HMF)预测值效果显示，模型相关系数( $R^2$ )分别为 0.96, 0.88, 0.94, 0.98, 0.67; SECV 分别为 31 g·kg<sup>-1</sup>, 0.21, 0.07 mS·cm<sup>-1</sup>, 4.7 mm Pfund, 3.9 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[7]</sup>。Cho 等对于 1996 年, 1997 年, 1998 年采集的蜂蜜采用近红外光谱法预测蜂蜜中水分，果糖和葡萄糖含量。结果表明，水分含量的相关系数为 0.997, SEP 为 0.1%，果糖和葡萄糖的相关系数分别为 0.926 和 0.951; SEP 分别为 0.54% 和 0.52%<sup>[8]</sup>。

Kaspar 等采集了不同植物源的 421 个蜂蜜样品，利用傅里叶近红外光谱仪采集了其光谱后，建立了 24 个不同指标的预测模型。研究结果表明，水(SEP=0.3 g/100 g)、果糖(SEP=1.6 g/100 g)、葡萄糖(SEP=1.3 g/100 g)、蔗糖(SEP=0.4 g/100 g)、还原糖含量(SEP=2.6 g/100 g)以及果糖/葡萄糖比(SEP=0.09)、葡萄糖/水比(SEP=0.12)取得了良好的预测效果。HMF、脯氨酸、pH 值、电导率、酸度、及麦芽糖、海藻糖、曲二糖等各种糖含量的预测结果较差<sup>[9]</sup>。

国内在近红外技术在蜂蜜检测中应用研究开展较晚，目前尚处于探索性研究阶段。在近几年国内有些学者开展了利用红外分析技术在蜂蜜内部主要成分，如果糖、蔗糖等品质指标检测可行性研究。此外，有学者在最近也开始从事对于蜂蜜掺假判别方面的探索性以及蜂蜜的产地和植物源快速判别研究。

在红外分析技术在蜂蜜内部品质检测研究方面，侯瑞丽等利用近红外透射光谱快速测量蜂蜜中的蔗糖含量，在利用 50 个样品建立定标模型后对 10 个预测集样品的检测结果表明预测的相对误差在 0.88%~5.13%之间，探讨了近红外检测技术应用于蜂蜜中蔗糖分析的可能性<sup>[10]</sup>。同时，她还研究了近红外光谱技术测定蜂蜜品质参数的可行性，结果表明，在所研究的蜂蜜品质检测指标中，各指标近红外分析结果与常规化学测定结果之间有较好的相关关系，水分含量、蔗糖含量、还原糖含量、淀粉酶值检验集相关系数分别为 0.885 3, 0.893 1, 0.954 0 和 0.984 2，并具有较低的标准误差。陈兰珍等以 68 个蜂蜜样品为研究对象，利用傅里叶变换近红外光谱(NIR)结合偏最小二乘法(PLSR)，建立了蜂蜜中果糖含量的近红外光谱模型，结果表明，选择 11 065.36~7 857.90 cm<sup>-1</sup> 波数范围内的光谱，进行 S-G 平滑预处理方法建立的蜂蜜果糖含量模型效果最好，模型相关系数、校正均方差和预测均方差分别为 0.925 9, 1.21 和 1.64<sup>[11]</sup>。

### 1.2 基于近红外光谱的蜂蜜掺假识别

在蜂蜜掺假判别方面, Downey 等采集了爱尔兰的 75 个天然蜂蜜样品, 取其中 25 个用来作为可行性分析, 对这 25 个样本, 按葡萄糖和果糖比例 0.7 : 1, 1.2 : 1 和 2.3 : 1  $\omega/\omega$  比例配制果葡糖浆, 然后按浓度梯度比例 7%, 14%, 21% 分别加入 25 个天然蜂蜜中, 这样就得到了 225 个掺假蜂蜜样本。然后用 Foss 6500 型近红外光谱仪采集样品光谱。在对实验样品使用 SIMCA, K-NN 和判别偏最小二乘法 (DPLS) 进行定性判别并比较判别效果后, 得到 DPLS 对掺假判别效果较好, 对掺假蜂蜜判别准确率达到 99%, 对天然蜂蜜掺假准确率达到 96%<sup>[12]</sup>。

国内也有学者把近红外光谱法用于蜂蜜掺假判别方面进行探索性研究, 张萍等利用高果糖浆与杨槐花蜜混合配制成果糖含量不同的样品来模拟市售品质较差的蜂蜜样品, 通过采集分析其近红外光谱, 得出一阶导数处理后的光谱可以准确判别蜂蜜是否掺假<sup>[13]</sup>。陈兰珍等利用傅里叶变换近红外光谱结合 DPLS 对掺假蜂蜜进行快速鉴别, 结果表明用 DPLS 法建立了 5 组蜂蜜样本的真伪鉴别模型, 5 组校正模型中真蜂蜜和掺假蜂蜜的总体识别准确率分别达到 91.49%, 94.68%, 92.98%, 93.86%, 94.87%, 预测样本的识别准确率为 86.96%~93.75%, 其中模型 2, 3, 4 组中掺假蜜的识别准确率达 100%。

### 1.3 基于近红外光谱的蜂蜜产地鉴别

在蜂蜜的产地和植物源判别研究方面, Daviesa 等对 NIR 用于鉴别蜂蜜植物和地理来源的可能性进行评价, 在 1100~2498 nm 处, 以透射的方式测定不同温度下不同来源的洋槐蜜、板栗蜜、石南蜜、油菜蜜样品, 对其近红外光谱图进行一阶和二阶倒数处理, 用主成分分析 (PCA) 和典型变量分析 (CVA) 鉴定蜂蜜的种类。结果表明, 洋槐蜜和油菜蜜聚合度比其他两种蜂蜜好。同时他还提出应加大样品量及来源进行进一步研究<sup>[14]</sup>。Corbella 等研究了利用可见/近红外光谱分析技术作为对于来自乌拉圭不同植物源蜂蜜的分类判别的可行性。研究共采集了 2 种不同植物源蜂蜜共 50 个样品, 采用了 PCA, LDA, DPLS 等 3 种不同的分类算法。研究结果表明, LDA 和 DPLS 法均取得了较好的分类效果, 其中当使用二阶倒数光谱时分类正确率达到 100%<sup>[15]</sup>。Ruoff 等对 364 个蜂蜜样品在采集了 FT-NIR 光谱后采用化学法、花粉法、感官分析法等进行了分类, 区分为八种不同植物源。然后采用 PCA 和 LDA 模式识别方法, 采用贝叶斯原则来计算错误分类率。结果表明, 近红外光谱法可以可靠的从样品集中分出板栗、杉树等 3 种植物源的蜂蜜。错误分类率分别为从小于 0.1%~6.3%。研究同样指出近红外光谱法可以很好判别不同花期的蜂蜜<sup>[16]</sup>。

国内在蜂蜜的产地和植物源快速判别方面的研究中, 邵咏妮等采用独立组分析方法获取蜂蜜的可见/近红外光谱载荷图, 将载荷图中相关性最大的波段, 作为人工神经网络的输入建立蜂蜜品牌的鉴别模型。在建立 3 个品牌共 75 个样本 BP 神经网络模型后, 利用 3 个品牌各 5 个样本进行预测, 鉴别准确率达 100%<sup>[17]</sup>。陈兰珍等对利用蜂蜜傅里叶近红外光谱进行蜂蜜植物源判别进行了可行性研究。在采集了荆条、枣花、魁花 3 个品种的 150 个蜂蜜样品 4000~12000

$\text{cm}^{-1}$  的近红外光谱, 经过一阶导数和 S-G 平滑处理后, 用 PCA 进行数据压缩后, 用 BP-ANN 建立了蜂蜜品牌鉴别模型, 对 135 个样本建立校正模型, 余下 15 个样本用于预测。研究结果表明, 预测识别准确率达到 100%<sup>[18]</sup>。

## 2 中红外光谱检测法在蜂蜜快速检测中的研究进展

中红外光谱主要是有机分子的分子振动基频的信息, 与近红外光谱一样, 这个谱区也能够得到分子的结构、组成、状态的信息。相对于近红外区, 中红外区用于定量分析其检测限的要好 1~2 个数量级, 同时因信息量相对较大及谱峰重迭没有近红外区严重, 中红外区常被用于结构分析。在国内外蜂蜜快速检测中研究中, 利用中红外光谱分析技术的研究主要集中在掺假判别和植物源判别等定性判别研究领域, 也有学者尝试利用中红外光谱分析技术检测了蜂蜜产品的品质指标。

### 2.1 基于中红外光谱的蜂蜜掺假识别和植物源判别

Sivakesava 和 Irudayaraj 首先研究了中红外光谱分析技术检测了蜂蜜掺假的可行性。他们对天然蜂蜜, 按葡萄糖, 果糖和蔗糖不同比例, 按浓度比例 5%~25% 的比例配制了一个掺假蜂蜜样品集, 同时对 3 种不同撞物源的蜂蜜, 按浓度比例 2%~27%, 梯度 0.5% 加入玉米糖浆配置另一个掺假蜂蜜样品集, 之后对其进行用中红外进行采集, 然后对其运用 PLS 和 PCA 对其进行预测来判别, 结果表明 SEP 在 1.99%~2.22%<sup>[19]</sup>。其后, 他们于 2002 年又对蜂蜜掺假问题进行了进一步的研究, 在采用了上文同样的方法配置了 2 个掺假蜂蜜样品集后, 对其进行用中红外进行采集, 先利用 PCA 和 PLS 进行压缩, 用 LDA 进行定性判别, 结果表示, 对第一个样品集, 和第二个样品集的 3 种蜂蜜单独判断, 正确率达到 100%, 第二个样品集 3 种蜂蜜混合判断正确率也能达到 95% 以上<sup>[20]</sup>。

Irudayara 等开展了利用带 ATR 附件的傅里叶红外光谱仪结合多变量分析技术来尝试判别掺入不同比例还原糖 (质量比为 1%~25%) 的掺假蜂蜜的研究。在利用 PCA 和 PLS 等方法对变量压缩后利用了 LDA 和 CVA 等分类技术, 同时 BPN 和 RBFN 等两种人工神经网络用于掺假判别。研究结果表明, 对于验证集各种方法均取得了较好的判别率, 其中 LDA (93.75%) 和 BPN (93.75%) 效果要好于 CVA (87.50%) 和 RBFN (81.25%)<sup>[21]</sup>。

在国内最近也有学者开始研究利用中红外光谱分析技术进行掺假判别。梁奇峰等运用中红外光谱对不同品种的纯蜂蜜及各种掺假蜂蜜进行鉴别, 结果表明, 不同品种的纯蜂蜜红外光谱基本相同。掺有葡萄糖、蔗糖、黄糖等物质的掺假蜂蜜, 其红外光谱在波数 1200~900  $\text{cm}^{-1}$  和波数 600~400  $\text{cm}^{-1}$  与纯蜂蜜有突出的区别特征, 可据此鉴定纯蜂蜜与掺假蜂蜜<sup>[22]</sup>。

Bertelli 等研究了利用中红外漫反射光谱结合多变量分析技术来对不同植物源蜂蜜进行鉴定和分类的可行性。在对 82 个不同植物源蜂蜜采集了 4000~6000  $\text{cm}^{-1}$  中红外漫反射光谱后, 对其进行一阶、二阶导数变换, 然后利用 PCA,

LDA 和聚类分析方法进行分析。结果表明,采用 LDA 和聚类分析方法可以获得将近 100% 的判别正确率<sup>[23]</sup>。

从国内外蜂蜜快速检测中研究中,我们可以看到利用中红外光谱分析技术研究蜂蜜掺假判别中对于掺入果糖、葡萄糖、还原糖、玉米糖浆等现象,利用中红外光谱信息结合 LDA 和 ANN 等化学计量学方法,判别均取得了较高的正确率,表明中红外光谱分析技术可以用于蜂蜜掺假现象的判别上。同时,在对植物源的判别的研究表明,中红外漫反射光谱结合多变量分析技术来对不同植物源蜂蜜进行鉴定和分类具有可行性。

## 2.2 基于中红外光谱的蜂蜜主要成分检测

此外,也有学者研究了利用中红外光谱检测法蜂蜜品质的可行性研究。Ruoff 等采集了不同植物源的 144 个蜂蜜样品,利用傅里叶中红外光谱仪采集了其光谱后,建立了 20 个不同指标的预测模型。结果表明,水( $R^2=0.99$ )、果糖( $R^2=0.84$ )、葡萄糖( $R^2=0.84$ )、蔗糖( $R^2=0.91$ )、麦芽糖( $R^2=0.98$ )、还原糖含量( $R^2=0.82$ )以及果糖/葡萄糖比( $R^2=0.98$ )、葡萄糖/水比( $R^2=0.94$ )、pH 值( $R^2=0.87$ )、电导率( $R^2=0.98$ )、酸度( $R^2=0.96$ )取得了良好的预测效果。HMF、脯氨酸、及海藻糖、曲二糖等各种糖含量的预测结果较差<sup>[24]</sup>。

## 3 结 论

天然蜂蜜中掺假问题严重影响了产品质量和安全性,进而影响了我国蜂蜜产品的出口创汇,损害了蜂农的利益,也给国家造成不小的损失。由于传统蜂蜜中兽药残留的检测方法费时、费力,同时成本较高,无论是蜂蜜生产企业在原料的收取检验还是产品质量控制,还是执法部门的对市场产品质量检测和打击掺假有较大的影响。因此,发展红外光谱检

测法这一快速的蜂蜜检测方法具有极其重要的意义。

从国内外学者的研究结果来看,中红外光谱在蜂蜜快速检测中的研究主要集中在掺假判别和植物源判别等定性判别研究领域,研究结果表明中红外光谱分析技术对蜂蜜中掺入果糖、葡萄糖、还原糖、玉米糖浆等掺假现象进行掺假判别具有可行性。但现有研究中采用化学计量学方法多为 LDA 和 PCA,聚类分析方法等常规定性研究方法,如能运用在近年来在近红外光谱技术中采用化学计量学方法如 DPLS, SIMCA 以及 SVM 等方法来进行掺假判别,将能更好提高中红外光谱分析技术在蜂蜜快速检测中实用性。

相对于中红外光谱法,蜂蜜中内部品质的检测中近红外光谱分析技术的研究开展较早,研究也较为深入。国内外研究者不仅研究了近红外光谱分析技术快速检测蜂蜜中各种内部品质的可行性,还研究比较了不同采集方式和采集时不同光程的影响,同时对于蜂蜜品质检测模型在不同年份间的预测适应性和稳定性等应用领域展开了研究。研究表明,对于蜂蜜中含量较高且对产品质量控制较为重要的水分、果糖、葡萄糖、蔗糖、还原糖含量等检测中,近红外技术完全可以符合快速检测的精度要求,而对于 HMF、脯氨酸、pH 值、电导率、酸度等指标的预测精度较差,如要达到应用的要求还需要在有效提取和利用有效信息、提高预测精度方面开展进一步的研究。

在蜂蜜中应用近红外光谱法掺假判别检测、植物源判别检测、产地判别检测等定性判别方面的研究中,研究结果表明,近红外光谱法不仅能很好的判别天然蜂蜜中掺入果糖、果葡糖浆等掺假现象,同时对于快速判别蜂蜜的植物源、品牌和产地等都具有较高的判别正确率。但对于蜂蜜中掺入不同物质和不同量的判别效果及对产地和植物源多个种类同时进行分类判别等方面需要开展进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] White J W, Riethof M L, Subers M H et al. Technical Bulletin, 1962, 1261: 1.
- [2] GB 18796—2005 Honey(蜂蜜). National Standards of the People's Republic of China(中华人民共和国国家标准).
- [3] Ha J, Koo M, Ok H. J. Near-Infrared Spectrosc., 1998, 6(5): A367.
- [4] Cho H J, Hong S H. J. Near-Infrared Spectrosc., 1998, 6: A329.
- [5] Qiu P Y, Ding H B, Tang Y K, et al. J. Agric. Food Chem., 1999, 47(7): 2760.
- [6] Garcia-Alvarez M, Huidobro J F, Hermida M, et al. J. Agric. Food Chem., 2000, 48(11): 5154.
- [7] Cozzolino D, Corbella E. Journal of Apicultural Research, 2003, 42(1-2): 16.
- [8] Cho H J, Ha Y L. Korean Journal of Food Science and Technology, 2002, 34(3): 356.
- [9] Kaspar R, Werner L, Stefan B, et al. Eur. Food Res. Technol., 2007, 225(3-4): 415.
- [10] HOU Rui-li, CHENG Yu-lai, CHONGTENG He-ming(侯瑞丽,程玉来,重腾和明). The Food Industry(食品工业), 2007, (2): 57.
- [11] CHEN Lan-zhen, SUN Qian, ZHAO Jing, et al(陈兰珍,孙 谦,赵 静,等). Apiculture of China(中国蜂业), 2008, 59(12): 17.
- [12] Downey G, Fouratier V, Kelly J D. J. Near-Infrared Spectrosc., 2003, 11: 447.
- [13] ZHANG Ping, YAN Ji-hong, ZHU Zhi-hua, et al(张 萍,闫继红,朱志华,等). Modern Scientific Instruments(现代科学仪器), 2006, (1): 60.
- [14] Daviesa M C, Radovic B, Fearn T, et al. J. Near-Infrared Spectrosc., 2002, 10(2): 121.
- [15] Corbella E, Cozzolino D. J. Near-Infrared Spectrosc., 2005, 13: 63.
- [16] Ruoff K, Luginbuhl W, Bogdanov S, et al. J. Agric. Food Chem., 2006, 54(18): 6867.
- [17] SHAO Yong-ni, HE Yong, BAO Yi-dan(邵咏妮,何 勇,鲍一丹). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(3): 602.

- [18] CHEN Lan-zhen, SUN Qian, YE Zhi-hua, et al(陈兰珍, 孙 谦, 叶志华, 等). Food Science and Technology(食品科技), 2009, 34(8): 287.
- [19] Sivakesava S, Irudayaraj J. Journal of Food Science, 2001, 66(6): 787.
- [20] Sivakesava S, Irudayaraj J. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37: 351.
- [21] Irudayaraj J, Xu F, Tewar J. Journal of Food Science, 2003, 68(6): 2040.
- [22] LIANG Qi-feng, PENG Meng-xia, LIN Juan(梁奇峰, 彭梦侠, 林 鹃). Journal of Anhui Agricultural Sciences(安徽农业科学), 2009, 37(1): 34.
- [23] Bertelli D, Plessi M, Sabatini A G, et al. Food Chemistry, 2007, 101: 1565.
- [24] Ruoff K, Iglesias M T, Luginbuhl W, et al. Eur. Food Res. Technol., 2006, 223: 22.

## Progress in Quality Analysis of Honey by Infrared Spectroscopy

TU Zhen-hua<sup>1</sup>, ZHU Da-zhou<sup>2</sup>, JI Bao-ping<sup>1</sup>, MENG Chao-ying<sup>3</sup>, WANG Lin-ge<sup>1</sup>, QING Zhao-shen<sup>1\*</sup>

1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

3. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

**Abstract** The detection of the quality of honey and the differentiation of adulteration are very important for quality and safety assurance. Traditionally used chemical methods were expensive and complicated, therefore they are not suitable for the requirement of wide-scale detection. In the past decade, the detection technology of honey developed with a trend of fast and high throughput detection. Spectroscopy has the fast and non-contact characteristic, and was widely used in petrification. This technology also has the potential for application in honey analysis. In the present study, the progress in quantitative and qualitative analysis of honey by near infrared spectroscopy (NIR) and mid infrared spectroscopy (MIR) is reviewed. The application of this two spectroscopy methods to honey detection refers to several aspects, such as quality control analysis, determination of botanical origin, determination of geographical origin and detection of adulteration. The detailed information of the detection of honey by NIR and MIR spectroscopy was analyzed, containing detection principle, technology path, accuracy, influence factors, and the development trend.

**Keywords** Honey; NIR; MIR; Quality control; Adulteration; Botanical origin; Geographical origin

(Received Jan. 18, 2010; accepted Apr. 22, 2010)

\* Corresponding author