

应用振动光谱技术检测鉴定微生物的研究进展

路春霞 刘源 孙晓红 潘迎捷 赵勇

(上海海洋大学食品学院 上海市临港新城沪城环路 999 号 201306)

摘要 振动光谱(红外光谱和拉曼光谱)技术与化学计量学相结合的方法对微生物进行分类、鉴定和无损检测,该方法快速简便、准确度高、仅需微量样品和少量化学试剂,对样品本身没有损害。介绍了振动光谱技术在微生物鉴定检测中的工作原理、关键技术和应用,并对该方法存在的问题和研究前景进行了分析和展望。

关键词 红外光谱;拉曼光谱;微生物

中图分类号:O 657. 33;O 657. 37

文献标识码:A

文章编号:1004-8138(2009)06-1431-06

1 引言

传统的微生物检测鉴定方法是根据菌落的形态及其生理生化反应来判断的,但是该方法通常耗时耗力,涉及的实验较多,需要比较繁琐的过程和复杂的操作,而且对于一些表现特征相似的微生物难以实现准确识别。利用分子生物学、免疫学和遗传学方法鉴别微生物的技术虽然具有较高的特异性、敏感性和准确性,但是此类技术操作复杂,需要专业人员,而且仪器和试剂费用较高,难以在常规实验室中实现广泛应用^[1]。

光谱分析是现代仪器分析的重要组成部分,作为一种确定有机化合物结构的方法,该方法具有微量、快速、准确等特点。随着科学技术的发展,光谱分析已经成为了一种重要的分析技术。目前,在农业、食品工业、石油化工、珠宝鉴定、生物科学、制药和医学等众多领域内,红外光谱和拉曼光谱技术作为一种测定分子结构的工具已经得到了较广泛的应用。另外,作为一种快速、简便、准确、高效和无损的创新型工具,振动光谱技术在微生物的分类、鉴别和检测上的研究也逐渐兴起。

振动光谱技术作为一种检测鉴定微生物的新方法只需要微量样品,因此可以减少微生物培养时间,提高鉴定速率;样品前处理过程简单,可对完整的微生物细胞进行测定,不需要破坏细胞结构;化学试剂使用量少,花费较低;鉴定过程自动化程度高,结果重现性好、准确度高。红外光谱应用于微生物检测鉴定中的研究较早,但是由于早期的红外光谱仪和数据处理工具的落后,限制了该技术的应用^[2]。傅里叶变换红外光谱(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)出现后,联合数理统计学的方法可以在不同的属、种水平上很好的区分微生物,对有些菌种的鉴别甚至达到了菌株的水平。拉曼光谱(Raman Spectroscopy)应用于微生物研究是最近才兴起的一种技术,但是已有的报道表明作为微生物分类、鉴定和检测的工具,该技术具有很高的潜力和可能性^[3]。

上海市青年科技启明星计划(07QA 14047); 国家 863 计划(2008AA 100804); 国家自然科学基金项目(30901125)

联系人, 电话: (021) 61900379; E-mail: yzhao@shou.edu.cn

作者简介: 路春霞(1984—), 女, 河北省张家口市人, 硕士, 主要研究方向为微生物快速检测光谱分析。

收稿日期: 2009-06-22; 接受日期: 2009-08-04

2 振动光谱技术检测鉴定微生物的工作原理和关键技术

红外光谱仪和拉曼光谱仪可以测定样品分子振动所引起的光的吸收和散射,通过对谱图中官能团和指纹区等灵敏区内的主要吸收峰进行判别及归属,比较峰的位置、强度和峰型,判断出分子基本结构^[4]。在对微生物的研究中,振动光谱技术可以作为一种化学分析的方法收集完整的菌体细胞信息,尤其是官能团的信息。根据菌体细胞壁、细胞膜、细胞质甚至细胞核中的蛋白质、多糖、脂质、核酸及其他生物大分子、水分等混合成分的分子振动信息来鉴别检测微生物^[1,5-8]。目前许多研究机构正在从事的工作和努力的方向,是根据微生物菌株和种的特性建立光谱数据库,从而达到对微生物快速检测和鉴定的目的。

不同微生物的振动光谱图存在着肉眼无法区分的差别,为了比较清晰、明确的分析实验数据,比较实验结果,需要结合计算机技术对光谱图和实验数据进行适当的处理。一般,由于基线偏移或样品量不同导致的谱图差异,可以对光谱图进行基线校正、归一化处理并计算一阶二阶导数。另外,可以提取光谱图中的特殊信息,采用统计学处理,并结合不同的化学计量学方法进行分析。主成分分析(Principal Component Analysis, PCA),分级聚类分析(Hierarchical Cluster Analysis, HCA),人工神经网络法(Artificial Neural Network, ANNs),这一类方法可以揭示微生物光谱的相似性,并选择合适的算法描绘树枝状分支图进行判别^[9-12]。MengshiLin 等人应用 PCA 的方法分析了八株脂环酸芽孢杆菌(*Alicyclobacillus spp.*)的傅里叶变换红外光谱指纹区(1500—800 cm^{-1})的数据,不同菌株样品的光谱数据形成了有差别的簇组,非常相近的菌株也能被顺利区分,而且使用簇类独立软模式法(Soft Independent Modeling of Class Analog, SIMCA)的方法还可以区别产甘油醚和不产甘油醚的菌株,成功率可达 89%^[12]。判别因子分析(Discriminant Function Analysis, DFA),标准差分析(Canonical Variate Analysis, CVA)则常用来判别不同的菌株或同菌种的不同菌株群,这两类方法都可以用来预测未知样品^[9]。

3 振动光谱技术在微生物检测和鉴定中的应用

1951 年 Rand 等提出可以对细菌的整体进行红外检测,1959 年 Norris 首次指出细菌的红外特征吸收可用于细菌鉴定^[13]。但是由于仪器条件的限制,早期的研究还局限在属的水平上。1972 年, Kuroda 和 Arai 利用了红外光谱技术成功的区分了链霉菌属、放线菌属、诺卡氏菌属和分枝杆菌属^[13]。我国的慈云祥等人也在研究发现了酵母菌、大肠杆菌、谷氨酸菌,和金黄色葡萄球菌的 FTIR 光谱图呈现出的明显的差异,但并没有对所得的数据进行深入的分析,只是简单的比较了谱图的不同^[14]。随着光谱技术的发展和计算机技术的推广,利用红外光谱和拉曼光谱对微生物进行鉴定的研究也逐渐深入。其中以德国的 Dieter Naumann 为主的研究小组,在近 30 年来对振动光谱技术在微生物中的应用进行了深入、系统的探索^[15]。目前,利用振动光谱技术鉴定细菌和酵母的报道较多,对于大型真菌、放线菌、藻类的研究还较少,而对于病毒,振动光谱的应用主要还是集中在对其组成和结构的分析上。

3.1 振动光谱技术在细菌鉴定中的应用

利用振动光谱技术,尤其是红外光谱技术对细菌进行分类、鉴定和检测的研究较早也较为深入。目前已有报道证实使用 FTIR 可以在种、菌株和血清型等不同的分类学水平上区分细菌^[15-20]。Cecilia A. Rebuffo-Scheer 和 Astrid Oust 所在的研究小组分别对李斯特菌属细菌的傅里叶变换红外光谱进行了较为细致的研究^[5,16-18]。其中,在 2008 年, Cecilia A. Rebuffo-Scheer 等人利用 5 种不同的李斯特菌,其中一种为单增李斯特菌,并且每一种菌选定了 5 株不同的菌株分别用傅里叶变换红外光谱常量取样和微量取样的方法进行鉴定。结果发现,利用参考菌株的谱图数据可以做到李斯特菌种间和种内的鉴别,而且认为该方法可以区分非常相似的微生物^[16]。Murad A. Al-Holy 等人使用 FTIR 与 PCA 相结合的方法从接种于苹果汁中的 4 株菌(*Escherichia coli* O157:H7

A TCC 35150, *E. coli* A TCC 25522, *B. acillus cereus* A TCC 10876, *L. isteria innocua* A TCC 51742) 中明显的成功区分了 *Escherichia coli* O 157: H7 (如图 1), 并认为该方法可用于鉴别致病性和非致病性的大肠杆菌, 而且通过 SMCA 分析, 其可信度均可达到 77% 以上的水平^[7]。

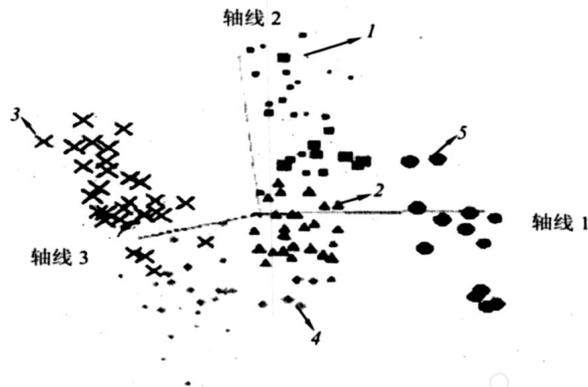


图 1 区分了 1) *L. innocua* A TCC 51742, 2) *B. cereus* A TCC 10876, 3) *E. coli* O 157: H7 A TCC 35150, 4) *E. coli* A TCC 25522 和 5) 离心后的苹果汁上清液的 PCA 三维立体投射图^[7]

拉曼光谱应用于细菌鉴定的研究相对较晚, 但已有研究表明共振拉曼光谱可以对种水平以下的细菌进行很好的区分, 而且准确率可达 95% 以上^[21]。近年来, 相继有报道使用 SERS 和紫外共振拉曼光谱 (UV Resonance Raman, UVRR) 鉴定细菌, 虽然这些方法都不同程度的增强了样品的拉曼散射效应, 提高了仪器检测的灵敏度^[22-24], 但是, 在研究的过程中也发现了一些问题, 例如使用 UVRR 在分析细菌时, 由于光源能量过高, 包括光化学效应在内的反应会导致样品降解, 而且对被测样品具有选择性, 局限了该方法的使用。另外, 2004 年 Roger M. Jarvis 和 Royston Goodacre 用 SERS 鉴定从泌尿感染中分离出来的临床细菌时, 发现该方法的重现性差, 而且在样品浓度较低时, 检测受到了限制^[22]。这可能是由于拉曼光谱作为一种化学分类法, 它的重现性和分类结果受到细胞分子组成的影响, 而细胞的分子组成又取决于其生长条件, 不同的培养基和培养时间, 以及不同的培养温度都会对实验结果的重现性产生影响。2007 年, Jacob Grun 等人第一次将扫描波长光学共振拉曼装置 (Swept wavelength optical resonant-Raman device, SWORRD) 应用于对表皮葡萄球菌 (*Staphylococcus epidermidis*)、蜡状芽孢杆菌 (*Bacillus cereus*)、苏云金杆菌 (*Bacillus thuringiensis*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 和耶尔森氏菌 (*Yersinia rohdei*) 的鉴定, 该设备可以使用不同波长的紫外线连续照射细菌, 通过其产生的二维空间谱图结合光学实时适应谱的识别系统 (Optical Real-time Adaptive Spectral Identification System, ORASIS) 的方法可以区分两种在基因上非常相似的细菌^[21]。目前用于鉴定研究的微生物多是使用纯培养的方法, 在真实样品和复杂环境中的研究较少, SWORRD 设备也为这一领域的发展提供了新的途径。

3.2 振动光谱技术在真菌鉴定中的应用

应用振动光谱技术对真菌的分类鉴定主要集中在酵母菌和大型食用真菌的研究上。1998 年, Michael Kummerle 等人利用 332 株确定的酵母菌建立了光谱数据库, 另外的 722 株未知酵母菌分别用传统方法和 FTIR 结合系统发育树的方法进行分类鉴定。发现其中有 5 个菌株不能被这两类方法鉴别, 余下的 717 个菌株中 699 株酵母菌可以同时被传统方法和 FTIR 方法识别, 应用 FTIR 技术识别的正确率可达 97.5%, 而所花费的时间仅为 24—26h^[25]。由此可见 FTIR 可以作为一种优质、快速、便利的检测食源性酵母的方法。但是同时指出该方法的最大局限性在于数据库全面和准确的建立^[25]。2002 年, Mareike Wenning 等人将显微傅里叶变换红外光谱 (Fourier-Transform Infrared Microspectroscopy) 应用于酵母菌的鉴定, 结果表明该方法对 21 株德巴利酵母

(*Debaryomyces hansenii*) 和 9 株啤酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 在菌株水平上鉴定的正确率可达到 92% 和 91%, 而且, 与普通傅里叶变换红外光谱相比, 由于之前不需要对样品进行分离纯化的前处理, 从而节省了时间^[26]。因此显微傅里叶变换红外光谱可以作为一种工具快速的分析混合菌群中的微生物。2005 年 Petra Rosch 等人利用微拉曼 (Micro-Raman) 结合分级簇分析 (Hierarchical Cluster Analysis) 的方法在单细胞水平上鉴定了不同种类的酵母菌^[27]。但是, 目前拉曼光谱在酵母鉴定中的研究还较少。

在大型食用菌鉴定的研究中, 我国的刘刚等人利用傅里叶变换红外光谱技术成功的鉴别了不同种类的野生菌、同一种食用菌的不同部位以及不同产地的同一种食用菌^[28-30]。并且结合曲线拟合分析对外观比较相似的灰疣鹅膏菌、灰绒鹅膏菌和灰褶鹅膏菌进行研究, 结果表明, 根据傅里叶变换红外光谱技术所提供的蛋白质二级结构信息, 可以对以上 3 种菌进行很好的区分^[31]。

除了酵母菌和食用菌, 振动光谱技术在真菌鉴定研究的其他方面也取得了一些进展。聂明等人利用 FTIR 结合多元统计方法测定了镰刀菌属 5 种 6 株镰刀菌, 分析了吸收峰的归属, 确定了镰刀菌红外谱图 3000—2800 cm^{-1} , 1800—1600 cm^{-1} 与指纹 3 个分析灵敏区, 发现该方法可以鉴别镰刀菌及种间相似程度, 但不适合用于镰刀菌遗传亲缘关系的反映^[32]。

3.3 振动光谱技术在放线菌和病毒鉴定中的应用

从细胞结构上来说, 放线菌较细菌更为复杂一些。利用振动光谱技术来鉴定放线菌的研究还较少。Hubert Haag 等人 1996 年第一次报道了 FTIR 可以在经典分类学水平上鉴定放线菌, 并且认为该方法有将菌株鉴定到亚种水平上的可能性。但是, 与细菌细胞相比, 试验结果的重现性相对较差^[33]。

对病毒的结构解析是当前振动光谱在病毒研究中的主要方向。根据不同病毒的结构在光谱图上所表现出来的差异区分和鉴定不同种的病毒和同种病毒的不同株。Yiping Zhao 等人使用 OAD (Oblique-Angle deposition) 制造的银纳米柱阵列 (Silver nanorod array) 作为非常灵敏的 SERS 基底, Driskell 等人则将免疫学的技术应用于 SERS 的测定中, 使待测的基质形成一种由金纳米颗粒, 病毒的抗体和硫酸盐等组成的三明治结构, 这些创新的方法都可以在很大程度上提高仪器检测的灵敏度和特异性^[34-36], 并且通过银纳米柱阵列为基底的 SERS 分析区分了腺病毒 (Adenovirus)、鼻病毒 (Rhinovirus) 和人体免疫缺陷病毒 (Human immunodeficiency virus, HIV) (如图 2) 以及流感病毒的不同菌株 (如图 3)^[34]。但是由于病毒非常容易发生变异, 遗传物质结构不稳定, 也给这一领域的工作带来了挑战。

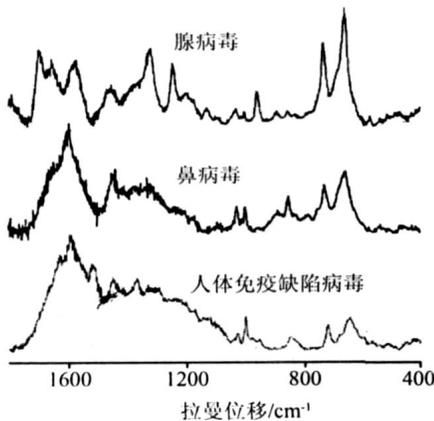


图 2 不同种类病毒的 SERS 光谱^[34]

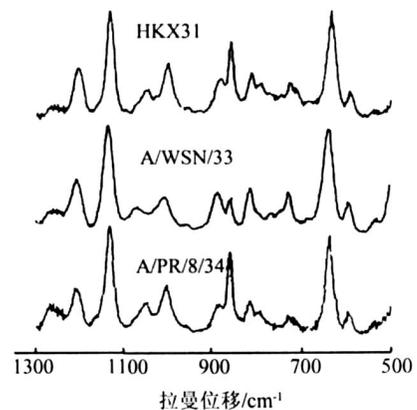


图 3 流感病毒不同菌株的 SERS 光谱^[34]

4 前景与展望

利用振动光谱快速无损检测和鉴定微生物作为一种新兴的方法,在诸多方面显示出了独特的优势,目前的文献报道也基本证实了该方法的可行性,对有些微生物的鉴别还做到了血清型的水平。但是,在该研究领域也存在着一些问题,例如试验多是在一种相对理想的情况下进行,人为的排除了真实环境中一些变量的干扰;而且,振动光谱法和表型法、遗传学法相关性的报道较少。在未来的研究中,可以将振动光谱法与传统的微生物鉴定方法、分子生物学方法相结合,做到更为快速、准确、高效的应用。

如果作为一种推广的技术,应该还可以在以下几点做深入的探索。首先,进一步的进行研究,评价振动光谱技术鉴定检测微生物的灵敏度及准确度。为了提高该方法的准确度,探索一种比较可行的,规范的样品前处理标准和操作过程是前提条件。这就需要对微生物不同的生长条件,不同的生长时期的波谱数据进行比对分析,选择合适的标准。另外,要通过试验进一步的完善微生物的波谱数据库,这也是为了做到快速检测所必需的。还可以选择微生物群落复杂的纯培养和实际样品进行鉴定检测,分析该方法效果的优劣。

随着现代物理学、电子学、计算机技术、信息处理技术等学科的基础进一步发展,仪器的推陈出新,以及计算机分析能力的提高,利用振动光谱技术快速无损鉴定和检测微生物必将得到快速的发展和广泛的应用。

参考文献

- [1] Kirschner C, Maquelin K, Pina P *et al* Classification and Identification of Enterococci: A Comparative Phenotypic, Genotypic, and Vibrational Spectroscopic Study[J]. *J. Clin Microbiol*, 2001, **39**(5): 1736—1770
- [2] Lefier D, Beccard B, Bradley M. 用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)进行细菌分类[J]. 新应用, 2008, **33**(1): 4—6
- [3] Hutsebaut D. *Evaluation of Raman Spectroscopy as Identification Tool for Bacteria*[D]. Brussels: GENT University, 2004—2005.
- [4] 徐宝成, 刘建学, 易军鹏等. 红外光谱技术在微生物研究中的应用进展[J]. 中国酿造, 2007, **168**(3): 8—10
- [5] Oust A, Moretro T, Naterstad K *et al* Fourier Transform Infrared and Raman Spectroscopy for Characterization of *Listeria Monocytogenes* Strains[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2006, **72**(1): 228—232
- [6] Buijtelts P C A M, Wilken se-Erix H F M, Petit P I C *et al* Rapid Identification of Mycobacteria by Raman Spectroscopy[J]. *J. Clin Microbiol*, 2008, **46**(3): 961—965
- [7] A Holy M A, Lin M S H, Gavinato A G *et al* The Use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Differentiate *Escherichia coli* O157:H7 from other Bacteria Inoculated into Apple Juice[J]. *Food Microbiology*, 2006, **23**(2): 162—168
- [8] Maquelin K, Kirschner C, Smith L P C *et al* Prospective Study of the Performance of Vibrational Spectroscopies for Rapid Identification of Bacterial and Fungal Pathogens Recovered from Blood Cultures[J]. *J. Clin Microbiol*, 2003, **41**(1): 324—329
- [9] 蔡飞, 陆峰. 傅里叶变换红外光谱结合化学计量学在微生物判别、分类、鉴定中的应用[J]. 药学实践杂志, 2002, **20**(4): 238—240
- [10] Preisner O, Lopes J A, Guimaraes R *et al* Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy in Bacteriology: Towards a Reference Method for Bacteria Discrimination[J]. *J. Natl Biotechnol*, 2007, **387**(5): 1739—1748
- [11] Moutouen D J M, Capita R, Calleja C A *et al* Artificial Neural Network Based Identification of Campylobacter Species by Fourier Transform Infrared Spectroscopy[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2006, **67**(1): 131—140
- [12] Lin M S H, A Holy M A, Chang S S *et al* Rapid Discrimination of *Listeria monocytogenes* Strains in Apple Juice by Fourier Transform Infrared Spectroscopy[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2005, **105**(3): 369—376
- [13] 睬彦长, 张惠纯. 利用傅里叶变换红外光谱技术检测病原菌[J]. 微生物学通报, 1991, **18**(5): 301—307
- [14] 慈云祥, 臧凯赛, 高体玉等. 几种微生物的红外光谱研究[J]. 高等学校化学学报, 2002, **23**(6): 1407—1409
- [15] Naumann D, Helm D, Labischinski H. Microbiological Characterizations by FT-IR Spectroscopy[J]. *Nature*, 1991, **351**: 81—82
- [16] Rebuffo-Scheer C A, Dietrich J, Wenning M *et al* Identification of Five *Listeria* Species Based on Infrared Spectra (FT-IR) Using Macro-samples is Superior to a Micro-sample Approach[J]. *J. Natl Biotechnol*, 2008, **390**(6): 1629—1635
- [17] Rebuffo-Scheer C A, Schmitt J U, Scherer S. Differentiation of *Listeria Monocytogenes* Serovars by Using Artificial Neural Network Analysis of Fourier-Transformed Infrared Spectra[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2007, **73**(3): 1036—1040
- [18] Lin M S H, Holy M A, Qadiri H A *et al* Discrimination of Intact and Injured *Listeria Monocytogenes* by Fourier Transform

- Infrared Spectroscopy and Principal Component Analysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, **52**(19): 5769—5772
- [19] Dziuba B, Babuchowski A, Nalecz D *et al*. Identification of Lactic Acid Bacteria Using FT-IR Spectroscopy and Cluster Analysis[J]. *International Dairy Journal*, 2007, **17**(3): 183—189.
- [20] Ellis D L, Broadhurst D, Goodacre R. Rapid and Quantitative Detection of the Microbial Spoilage of Beef by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Machine Learning[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, **514**(2): 193—201.
- [21] Grun J, Manka C K, Nikitin S. Identification of Bacteria from Two-Dimensional Resonant Raman Spectra[J]. *Anal. Chem.*, 2007, **79**(14): 5489—5493.
- [22] Jarvis R M, Goodacre R. Ultra-Violet Resonance Raman Spectroscopy for the Rapid Discrimination of Urinary Tract Infection Bacteria[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2004, **232**(2): 127—132.
- [23] He L L, Liu Y, Lin M SH *et al*. Detecting Single Bacillus Spores by Surface Enhanced Raman Spectroscopy[J]. *Sens & Instrument Food Qual*, 2008, **2**(4): 247—253.
- [24] Jarvis R M, Goodacre R. Discrimination of Bacteria Using Surface-Enhanced Raman Spectroscopy[J]. *Anal. Chem.*, 2004, **76**(1): 40—47.
- [25] Kummerle M, Scherer S, Seiler H. Rapid and Reliable Identification of Food-Borne Yeasts by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1998, **64**(6): 2207—2214.
- [26] Wenning M, Seiler H, Scherer S. Fourier-Transform Infrared Microspectroscopy, a Novel and Rapid Tool for Identification of Yeasts[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2002, **68**(10): 4717—4721.
- [27] Rosch P, Harz M, Schmitt M. Raman Spectroscopic Identification of Single Yeast Cells[J]. *Raman Spectroscopy*, 2005, **36**(5): 377—379.
- [28] 时有明, 刘刚, 刘剑虹等. 不同产地黑木耳的傅里叶变换红外光谱鉴别[J]. *光学学报*, 2007, **21**(1): 129—132.
- [29] 周继国, 刘刚, 刘剑虹等. 毛头鬼伞的红外光谱研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, **28**(2): 321—323.
- [30] 刘刚, 刘剑虹, 杨爱明等. 食用菌的傅里叶变换红外光谱鉴别[J]. *光谱学与光谱分析*, 2004, **24**(8): 941—945.
- [31] 时有明, 刘刚, 周湘萍等. 基于曲线拟合的形态相似鹅膏菌的傅里叶变换红外光谱研究[J]. *分析化学*, 2008, **36**(8): 1105—1108.
- [32] 聂明, 罗江兰, 包衍等. 镰刀菌的傅里叶变换红外光谱鉴别[J]. *光谱学与光谱分析*, 2007, **27**(8): 1519—1522.
- [33] Haa H, Grenlich H U, Bergmann R *et al*. Characterization and Identification of Actinomycetes by FT-IR Spectroscopy[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 1996, **27**(2—3): 157—163.
- [34] Zhao Y P, Shanmukh S, Liu Y J *et al*. Silver Nanorod Arrays Can Distinguish Virus Strains. *The International Society for Optical Engineering, SPIE Newsroom* [P]. DOI: 10.1117/2.1200610.0438. 2006-11-01.
- [35] Shanmukh S, Jones L, Zhao Y P *et al*. Rapid and Sensitive Detection of Respiratory Virus Molecular Signatures Using a Silver Nanorod Array SERS Substrate[J]. *Nano Lett*, 2006, **6**(11): 2630—2636.
- [36] Driskell J D, Kwarta K M, Lipton R J *et al*. Low-level Detection of Viral Pathogens by a Surface-Enhanced Raman Scattering Based Immunoassay[J]. *Anal. Chem.*, 2005, **77**(19): 6147—6154.

Review of Applications of Vibrational Spectroscopy for Identification of Microorganisms

LU Chun-Xia LU Yuan SUN Xiao-Hong PAN Ying-Jie ZHAO Yong
(College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P. R. China)

Abstract The microorganisms was identified and classified by vibration spectrum (infrared and raman spectroscopy) combined with the method of chemometrics. This method is simple, rapid, accurate, and it need little sample, little chemical reagent and no damage to the sample. The working principle, key technology and its applications in the identification of microorganisms of vibration spectral technology are introduced in this paper. The existing problems and application prospect of the technology are analyzed and forecasted.

Key words Infrared Spectra; Raman Spectra; Microorganisms