

## 基于太赫兹光谱的氨基酸检测

唐忠锋<sup>1,2,3</sup>, 林海涛<sup>1</sup>, 陈晓伟<sup>1</sup>, 张增芳<sup>1,3</sup>

1. 广西工学院生物与化学工程系, 广西 柳州 545006
2. 中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800
3. 柳州市圣诺化工有限责任公司, 广西 柳州 545006

**摘要** 太赫兹是指频率从 0.1 到 2.0 THz 之间的远红外波。与傅里叶红外相比, 太赫兹时域光谱能量低, 信噪比高, 并且无辐射损伤。氨基酸分子的低频振动模式(扭转, 集体振动模式和氢键)处在 THz 波段。氨基酸是一类重要的生物分子, 是组成蛋白质最基本的物质。氨基酸分子以分子间氢键相互连接构成晶体。氨基酸在 THz 波段比在红外波段体现更多独特吸收特征。到目前为止, 已经获得了 20 种氨基酸分子的太赫兹吸收谱, 包括利用太赫兹技术对部分氨基酸的定量分析。氨基酸的太赫兹光谱研究, 有利于深层次理解蛋白质/DNA 的低频振动模式及相关生物反应和活性。文章综述了 20 种氨基酸分子的太赫兹吸收光谱并建立了吸收光谱数据库。总结了太赫兹技术在氨基酸应用方面存在的问题, 并对未来发展方向进行展望。

**关键词** 太赫兹; 氨基酸; 氢键; 振动模式; 定量分析

中图分类号: O434.3, Q517

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)09-2351-06

## 引言

氨基酸是蛋白质的基本组成单位, 大约有 200 多种, 但在动物的营养中起重要作用而且被人们广泛认识的只有 20 多种, 称之为标准氨基酸。除甘氨酸外, 所有  $\alpha$ -氨基酸中的碳原子均是手性碳, 故有 D 型与 L 型两种构型。天然氨基酸均为 L-氨基酸。氨基酸根据侧链基团的性质, 分为脂肪族氨基酸、芳香族氨基酸和杂环氨基酸。天然存在的  $\alpha$ -氨基酸常根据其分子中所含氨基和羧基的数目分为中性氨基酸、碱性氨基酸和酸性氨基酸。根据氨基位置分为  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -氨基酸。

氨基酸是蛋白质大分子构成的基本单位, 是构建细胞、修复组织的基础材料, 是一切生命之元。氨基酸常用的检测方法有<sup>[1]</sup>: 化学分析法, 电化学方法, 分光光度法等, 上述方法虽各具特点, 但均属于有损检测。而最近基于飞秒超快激光技术发展起来的太赫兹光谱检测, 对物质能够做到高灵敏, 无损伤, 属于无损检测。由于分子间的弱相互作用及大分子的骨架振动(构型弯曲)、偶极的旋转和振动跃迁以及晶体中晶格的低频振动吸收对应于太赫兹波段, 分子结构及相关环境信息在太赫兹波段不同位置和强度上有明显响应, 因此利用太赫兹技术研究生物大分子的结构、构型与环境状态

成为可能<sup>[2]</sup>。大量实验已经证实, 太赫兹对危险品、蛋白质、糖类物质结构的探测存在的微小差异和变化非常灵敏, 具有反映化合物结构与环境的指纹特性<sup>[3]</sup>。氨基酸振动光谱是研究蛋白质结构和功能的基础, 到目前为止, 20 种氨基酸的太赫兹光谱基本齐全, 本文按照不同分类方式对这些氨基酸在太赫兹方面的相关研究进行了总结和展望。

## 1 杂环氨基酸

杂环氨基酸包括脯氨酸和组氨酸两种。脯氨酸的太赫兹光谱研究相对较少, 可能是在 0.1 ~ 2.0 THz 范围内没有明显吸收。而组氨酸的太赫兹研究较多。王卫宁等<sup>[4,5]</sup>得到组氨酸在 0.2 ~ 3.0 THz 范围的特征吸收位于 0.90, 1.64, 2.25, 2.38 THz 处。半经验理论模拟结果与实验值符合较好, 太赫兹光谱的特征吸收对应的振动模式, 为分子基团的骨架振动和扭转为主要特征。Rungsawang<sup>[6]</sup>比较了组氨酸不同角度的单晶和不同温度的粉末太赫兹光谱, 并且借助 Hartree-Fock 计算发现单晶谱中 1.71 THz 吸收归于分子内氢键; 粉末谱中, 随着温度降低, 大于 1.50 THz 的吸收出现蓝移, 而 0.77 THz 吸收峰位基本不变。

收稿日期: 2008-10-05, 修订日期: 2009-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(10675158)和柳州市高新开发区项目(2007010109)资助

作者简介: 唐忠锋, 1976 年生, 广西工学院生物与化学工程系讲师

e-mail: zftang2005@163.com

\*通讯联系人 e-mail: zftang2005@163.com

## 2 芳香族氨基酸

芳香族氨基酸包括苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸，它们的侧链基团中皆有苯环结构，在结构上有很大的相似性，是氨基酸中比较有特点的。早在 2003 年，日本科学家<sup>[7]</sup>就研究了 L-苯丙氨酸和 L-酪氨酸在 0.1~3.5 THz 的光谱特征，L-苯丙氨酸在 2.72 THz 处呈现宽吸收，L-酪氨酸在 0.96, 1.91, 2.08, 2.70 THz 有明显吸收，L-苯丙氨酸和 L-酪氨酸不同的吸收特征可能是由于它们不同的晶体结构。岳伟伟等<sup>[8]</sup>得到了三种芳香族氨基酸在 0.1~1.6 THz 波段的吸收谱，酪氨酸和色氨酸分别在 0.976 和 1.465 THz 有明显的吸收峰，而苯丙氨酸则没有明显的吸收峰。理论初步计算表明，氨基酸在 THz 波段的吸收是由分子转动或扭动造成的，氨基酸的不同结构造成了它们在 THz 波段不同的吸收峰位。最近，李元波等<sup>[9]</sup>对苯丙氨酸开展了实验和理论研究，发现样品在 0.2~2.2 THz 范围内有两个明显吸收峰，分别位于 1.23 和 1.99 THz。结合从头算法，对实验光谱峰位进行了归属。

Yu<sup>[10]</sup>利用 THz-TDS 研究了色氨酸在 0.2~2.0 THz 范围内 1.435 和 1.842 THz 的扭转振动模式，并与密度泛函理论相互佐证。此外，徐慧等<sup>[11]</sup>利用 THz-TDS 对手性对映体 D-色氨酸，L-色氨酸和外消旋化合物 D,L-色氨酸和 D-酪氨酸，L-酪氨酸和外消旋化合物 D,L-酪氨酸在 0.1~2.0 THz 频谱范围内进行了光谱测量，结果发现，氨基酸不仅在此波段有特征吸收峰，而且 THz-TDS 能够鉴别色氨酸与酪氨酸的对映异构体。

酪氨酸引起了广泛关注。王卫宁等<sup>[5]</sup>采用 THz-TDS 探测到了酪氨酸在 0.2~3.0 THz 波段的特征吸收峰位于 0.97, 1.90, 2.08, 2.66 THz，与前人<sup>[7, 12]</sup>的结果 (0.96, 1.91, 2.08, 2.70 THz) 十分接近。实验中首次观察到 0.23 和 2.46 THz 附近存在吸收峰。用密度泛函等方法计算了酪氨酸单分子和二聚体的太赫兹频谱，并和实验所获得的太赫兹频谱进行对比，分析了实验观察和计算结果产生偏离的原因。最近，Yan<sup>[13]</sup>确认了酪氨酸在 0.95, 1.93 THz 附近的吸收特征，并且得到其平均折射率为 1.47。

## 3 脂肪族氨基酸

### 3.1 酸性氨基酸

酸性氨基酸有天冬氨酸和谷氨酸。Miyamaru 等<sup>[7]</sup>报道了 D-天冬氨酸，L-天冬氨酸和外消旋化合物 D,L-天冬氨酸的太赫兹光谱，其中 D-天冬氨酸，L-天冬氨酸在 2.6 THz 附近有一宽吸收，而 D,L-天冬氨酸在 1.52 和 1.84 有两个吸收峰，并且认为不同的晶体结构导致太赫兹吸收峰位不同。谷氨酸的太赫兹研究较多。Taday<sup>[14]</sup>首次报道了 L-谷氨酸分别在 5 和 300 K 的太赫兹脉冲光谱，在 5 K 出现 1.74, 2.24, 2.53 THz 三个明显吸收，而在 300 K, 2.53 THz 的吸收移向 2.46 THz，并且吸收变宽。Nagai<sup>[15]</sup>研究了 L-谷氨酸与丙酮之间的相互作用，当丙酮滴在 L-谷氨酸上 19 min 后，在 1.24 THz 的吸收强度达到最大；而在 0.6 THz 的吸收强度

随时间延长逐渐减小，可能是由于丙酮的挥发所致，这说明溶剂能显著的影响分子间的振动。Chen 等<sup>[16]</sup>报道谷氨酸的两个特征吸收位于 1.21 和 1.97 THz。Yan 等<sup>[13]</sup>得了 L-谷氨酸在 0.2~2.0 THz 有两个特征吸收，1.21 和 1.97 THz。结合理论计算指出，主要是由于分子骨架的振动和扭转。

### 3.2 碱性氨基酸

碱性氨基酸是指赖氨酸和精氨酸。未发现赖氨酸的太赫兹相关研究，精氨酸<sup>[5]</sup>在 0.99, 1.47, 2.60 THz 处存在吸收峰。文献<sup>[4]</sup>运用半经验法对精氨酸模拟，与实验结果较为符合，理解为分子基团的骨架振动和扭转。对 L-(+)-精氨酸盐酸盐与不同溶剂相互作用的研究显示，滴加水后，观察到五处吸收峰 (0.79, 0.88, 0.99, 1.34, 1.65 THz)，30 min 后，只有 1.34 THz 吸收消失，说明此处的吸收源于 L-(+)-精氨酸与盐酸间的振动；而滴加乙醇后，1.34 THz 吸收强度基本不变，0.99 THz 的相对强度发生变化，这说明 L-(+)-精氨酸盐酸盐与乙醇相互作用并且影响精氨酸分子间的振动，而不是精氨酸与盐酸间的振动。

### 3.3 中性氨基酸

甘氨酸又名氨基乙酸，是氨基酸系列中结构最为简单，人体非必需的一种氨基酸。在甘氨酸的三种多晶型中，-和-晶型是较稳定的，而-晶型很难在空气中稳定存在。在 0.5~3.0 THz 波段内，-甘氨酸 (2.4, 2.7 THz) 和-甘氨酸 (1.9, 2.5 THz) 的谱图截然不同<sup>[18]</sup>，且折射率的变化与吸收光谱的吸收峰位置相对应，证明这是分子间氢键不同振动模式的远红外响应。

丙氨酸有-丙氨酸和-丙氨酸两种同分异构体。-丙氨酸的 THz 光谱在 0.2~2.4 THz 波段的吸收峰位于 2.23 THz，其重水合物 L-丙氨酸-d<sub>7</sub> 的吸收谱证实，-丙氨酸在 2.23 THz 处吸收是由于分子间的相互作用引起的<sup>[18]</sup>。同时，Yamaguchi<sup>[18]</sup>研究了 D-, L-和 D,L-丙氨酸在 0.3~2.70 THz 频段的吸收光谱，观察到对映体 (2.23, 2.57 THz) 与外消旋化合物 (1.26 THz) 明显不同的吸收峰，由此可以对不同含量的 D-, L-丙氨酸进行定量分析，证明 THz-TDS 可以识别同种氨基酸的对映异构体和外消旋化合物。-丙氨酸在 0.2~2.4 THz 波段的吸收峰位于 2.11 THz，根据量化计算的结果，-丙氨酸分子在 0.2~2.4 THz 波段的吸收是分子内的转动引起的，而分子间的相互作用在此波段没有体现<sup>[19]</sup>。-丙氨酸和-丙氨酸在 THz 波段引起的吸收峰的位置和吸收的机理不同，因此，利用 THz 光谱技术鉴别具有微小结构差异的构造异构体是可行的。

天冬酰胺是天冬氨酸的-羟基酰胺化合物。天冬酰胺<sup>[20]</sup>在光谱范围 (0.5~2.4 THz) 内有 2 个吸收峰，一个是位于 1.642~1.758 THz 的宽带峰，另一个是位于 2.266 THz 的吸收峰。密度泛函理论模拟的结果 1.67 和 2.05 THz 与实验值较为接近，对应两种基团的集体振动模式。

含硫氨基酸共有蛋氨酸、半胱氨酸和胱氨酸三种，胱氨酸是由两个半胱氨酸通过他们侧链上的-SH 氧化成共价的二硫键连接成的。虽然胱氨酸和半胱氨酸结构类似，但它们的太赫兹谱明显不同，胱氨酸在 0.71, 1.49, 2.07 THz 处出现明显吸收，半胱氨酸在 1.37, 1.65 THz 有两个宽吸收，蛋

氨酸的两个较宽吸收在 1.02, 1.89 THz 处<sup>[21]</sup>。WANG 等<sup>[22]</sup>测量半胱氨酸吸收率峰位分别位于 1.40, 1.70, 2.33 和 2.61 THz, 蛋氨酸的 THz 吸收率分别位于 1.06, 1.88 和 2.70 THz。其中, 半胱氨酸的吸收与 Korter 等<sup>[23]</sup>在 0.1~3.0 THz 的前两个吸收(1.38, 1.68, 2.13, 2.40 THz)基本相同。而 Rungsawang 等<sup>[6]</sup>观察到半胱氨酸在 300 K 吸收出现在 1.38, 1.70, 2.79 THz, 在 77 K 低温条件下 2.40 THz 的吸收非常明显, 同时  $HF/6-31G^*$  计算结果只得到 1.65 THz, 对应实验值 1.70 THz。

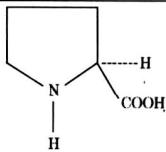
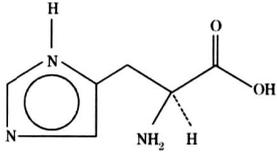
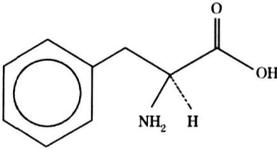
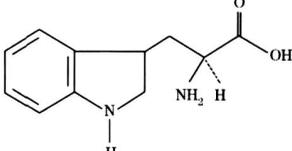
丝氨酸是脑等组织中的丝氨酸磷脂的组成部分。其结构虽然与半胱氨酸类似, 但太赫兹谱明显不同。Korter 等<sup>[23]</sup>观察到丝氨酸的吸收峰位于 2.01, 2.22, 2.55, 2.70, 2.90 THz, 并且比较了密度泛函理论的单分子和使用经验力场的固相理论计算, 结果显示密度泛函理论能较好地揭示高频率的分子内模式, 而固相理论能更好地理解低频分子间振动模式和声子模式。

谷氨酰胺是人体中含量最多的一种氨基酸。谷氨酰胺<sup>[6]</sup>在 0.2~2.8 THz 呈现四个吸收峰: 1.67, 2.14, 2.31, 2.46 THz, 平均折射率为 1.60。缬氨酸、苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸属于必须氨基酸, 其太赫兹研究虽然没有查到文献报道, 但可以预测其在该波段具有不同吸收峰位。太赫兹光谱之间的相互差异, 可以利用来鉴别不同种类的氨基酸。

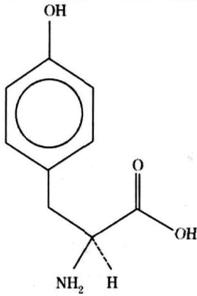
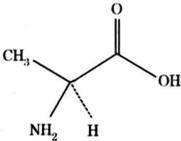
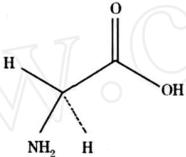
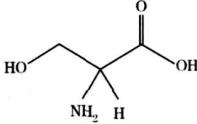
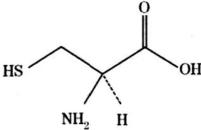
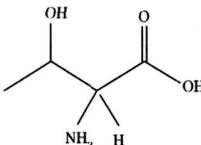
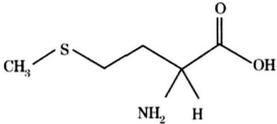
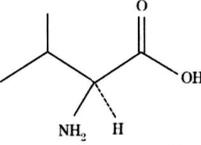
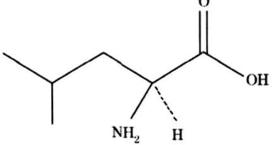
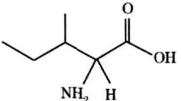
## 4 总结展望

短短几年来, THz 光谱技术广泛用于糖类, 核苷酸, 蛋白质, DNA, 氨基酸等不同类别的生物分子的研究。结果表明, 它们在 THz 波段具有各自的吸收特征, 可以作为鉴别它们的技术手段。到目前为止, 人们已经获得了 20 种氨基酸的太赫兹光谱<sup>[24]</sup>, 初步理解其低频振动模式, 对于进一步研究生物大分子集体振动模式有重要指导意义。虽然不同氨基酸在 THz 波段有不同的吸收峰位(见表 1), 可以利用 THz 光谱来区分它们。但只是取得一些初步的研究结果, 还有大量工作要做, 还有很多机遇和挑战。一是国际上还没有统一和权威的太赫兹光谱数据库可供参考, 比如, 同一种氨基酸, 不同研究者得到的吸收峰位不一致, 无法作为判别的唯一根据。二是对实验的理论解释机制主要限于单分子量子化学计算, 如密度泛函, 从头算法等, 主要归于分子内振-转模式。单分子理论模型有很大的局限性, 不能反应固态氨基酸的太赫兹光谱机理, 而理想的理论模拟应该考虑晶体内分子间相互作用和温度的影响<sup>[23]</sup>。作为太赫兹应用的两个主要技术之一的太赫兹光谱技术在氨基酸应用较广, 无论是定性, 还是定量研究<sup>[25, 26]</sup>但利用太赫兹成像技术研究并不多。总之, THz 技术丰富了氨基酸的光谱数据, 对于更好的研究蛋白质等生物大分子的结构和构象有重要借鉴意义。

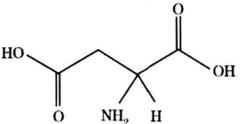
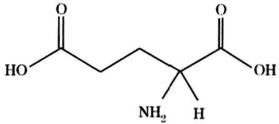
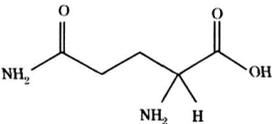
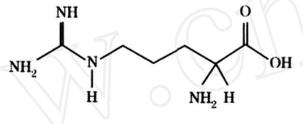
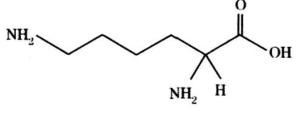
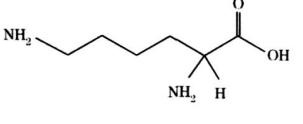
Table 1 Structure and THz absorption band of twenty kinds of amino acids

名称	结构	吸收峰位
脯氨酸 Proline(Pro)		
组氨酸 Histidine(His)		0.90, 1.64, 2.25, 2.38 [4,5]
苯丙氨酸 Phenylalanine(Phe)		1.23, 1.52, 1.99 [9] 2.72 [7]
色氨酸 Tryptophan(Try)		1.43 [11] 1.465 [8] 1.435, 1.842 [10]

续表 1

酪氨酸 Tyrosine(Tyr)		0.976 0.95, 1.93 0.96, 1.92 0.96, 1.91, 2.08, 2.70 0.97, 1.90, 2.08, 2.66 0.23, 0.977, 1.91 2.07, 2.46, 2.73	[8] [13] [11] [7, 12] [5] [13] [13]
丙氨酸 Alanine(Ala)		$\alpha$ -丙氨酸 2.23 $\beta$ -丙氨酸 2.11 D,L-丙氨酸 1.26	[18] [19] [18]
甘氨酸 Glycine			
丝氨酸 Serine(Ser)		2.01, 2.22, 2.55, 2.70, 2.90	[23]
半胱氨酸 Cysteine(Cys)		1.37, 1.65 1.38, 1.68, 2.13, 2.40 1.38, 1.70, 2.79	[21] [23] [6]
苏氨酸 Threonine(Thr)		1.40, 1.70, 2.33, 2.61	[26]
蛋氨酸 Methionine(Met)		1.02, 1.89 1.06, 1.88, 2.70	[21] [22]
缬氨酸 Valine(Val)			
亮氨酸 Leucine(Leu)			
异亮氨酸 Isoleucine(Ile)			

续表 1

天冬氨酸 Aspartic acid(Asp)		2.6	[7]
天冬酰胺 Asparagine(Asn)		1.642~1.758, 2.266	[20]
谷氨酸 Glutamic acid(Glu)		1.67, 2.22, 2.46 1.21, 2.05 1.21, 1.97	[14] [16] [13]
谷氨酰胺 Glutamine(Gln)		1.67, 2.14, 2.31, 2.46	[5]
精氨酸 Arginine(Arg)		0.99, 1.47, 2.60	[4,5]
赖氨酸 Lysine(Lys)			

## 参 考 文 献

- [1] DAI Hong, ZHANG Zong-cai, ZHANG Xin-shen(戴红, 张宗才, 张新申). *Leather Science and Engineering(皮革科学与工程)*, 2004, 14(3): 39.
- [2] Walther M, Plochocka P, Fischer B, et al. *Biopolymers*, 2002, 67: 310.
- [3] LIU Gui-feng, ZHAO Hong-wei, GE Min, et al(刘桂锋, 赵红卫, 葛敏, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2008, 28(5): 966.
- [4] WANG Wei-ning, LI Yuan-bo, YUE Wei-wei(王卫宁, 李元波, 岳伟伟). *Acta Physica Sinica(物理学报)*, 2007, 56: 781.
- [5] WANG Wei-ning, YUE Wei-wei, YAN Hai-tao, et al(王卫宁, 岳伟伟, 闫海涛, 等). *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 2005, 50: 1561.
- [6] Rungsawang R, Ueno Y, Tomita I, et al. *J. Phys. Chem. B*, 2006, 110: 21259.
- [7] Miyamaru F, Yamaguchi M, Hangyo M K, et al. *Conference on Lasers and Electro-Optics*, 2003 CLEO '03, 2003. 2.
- [8] YUE Wei-wei, WANG Wei-ning, ZHAO Guo-zhong, et al(岳伟伟, 王卫宁, 赵国忠, 等). *Acta Physica Sinica(物理学报)*, 2005, 54: 3094.
- [9] LI Yuan-bo, ZHENG Ying-ying, WANG Wei-ning(李元波, 郑盈盈, 王卫宁). *Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition)(首都师范大学学报·自然科学版)*, 2007, 28(3): 39.
- [10] Yu B, Zeng F, Yang Y, et al. *Biophys. J.*, 2004, 86: 1649.
- [11] XU Hui, YU Xiao-han, ZHANG Zeng-yan, et al(徐慧, 余笑寒, 张增燕, 等). *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences(中国科学院研究生院学报)*, 2005, 22: 90.
- [12] Mickan S P, Zhang X C. *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, 2003, 13(2): 601.
- [13] Yan Z, Hou D, Huang P, et al. *Measurement Science and Technol.*, 2008, 19: 015602.
- [14] Taday P F, Bradley I V, Arnone D D. *J. Biological Phys.*, 2003, 29: 109.

- [15] Nagai N, Kumazawa R, Fukasawa F. Chem. Phys. Lett., 2005, 413: 495.
- [16] Chen Y, Liu H, Liu K, et al. THz Technology, Ultrafast Measurements and Imaging MBI-7 2005. Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves/ 13th International Conference on Terahertz Electronics, 54.
- [17] Shi YL, Wang L. J. Phys. D: Appl. Phys., 2005, 38: 3741.
- [18] Yamaguchi M, Miyamura F, Yamamoto K, et al. Appl. Phys. Lett., 2005, 86: 053903.
- [19] ZHENG Ying-ying, LI Yuan-bo, WANG Wei-ning(郑盈盈, 李元波, 王卫宁). Acta Chimica Sinica(化学学报), 2007, 65: 72.
- [20] MA Shi-hua, SHI Yu-lei, XU Xin-long, et al(马士华, 施宇蕾, 徐新龙, 等). Acta Physica Sinica(物理学报), 2006, 55: 4091.
- [21] Yamamoto K, Kabir M H, Tominaga K. Journal of Opt. Soc. Am. B, 2005, 22: 2417.
- [22] WANG Xue-mei, WANG Wei-ning(王雪美, 王卫宁). Acta Chemica Sinica(化学学报), 2008, 66: 2248.
- [23] Körtner T M, Balu R, Campbell M B, et al. Chem. Phys. Lett., 2006, 418: 65.
- [24] Nishizawa J, Sasaki T, Suto K, et al. Int. J. Infrared Millimeter Waves, 2007, 27: 779.
- [25] Ueno Y, Rungsawang R, Tomita I, et al. Anal. Chem., 2006, 78: 5424.
- [26] ZHANG Zhao-hui, L Ü Luo-dong, YIN Yi-xin, et al(张朝晖, 吕洛冬, 尹怡欣, 等). Journal of Analytical Science(分析科学学报), 2007, 23: 651.

## Detection of Amino Acids Based on Terahertz Spectroscopy

TANG Zhong-feng<sup>1,2,3</sup>, LIN Hai-tao<sup>1</sup>, CHEN Xiao-wei<sup>1</sup>, ZHANG Zeng-fang<sup>1,3</sup>

1. Department of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China

2. Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

3. Liuzhou Schennor Chemical Industry Limited Liability Corporation, Liuzhou 545006, China

**Abstract** Terahertz (THz) is the frequency region ranging from 0.1 to 2.0 THz, which lies in the far-infrared region. Compared to Fourier transform infrared spectra (FTIR), terahertz time-domain spectra (THz-TDS) has low energy, high signal-to-noise ratio (SNR) and is non-ionizing radiation. Low-frequency vibrational modes of some amino acids, such as torsional and collective vibrational modes and hydrogen-bond modes, exist in the THz region. Amino acids are important organic compounds and are the fundamental components of proteins. Amino acids can exist with a highly ordered crystal structure linked by hydrogen intermolecular bonds in the solid phase. The absorption spectra of amino acids in the THz region show marked differences while mid-infrared absorption spectra usually show very little difference. Up to now, absorption spectra of twenty kinds of amino acids have been studied by many researchers using THz technique; the quantitative analysis of amino acids by THz-TDS is also included. Investigation of THz spectra of amino acids are of fundamental interests, and will lead to further understanding of low-frequency vibrations of protein/DNA and relevant biological reactions and activities. In the present paper, the latest progress in absorption spectra of amino acids determined by THz spectroscopy is reviewed and a database is built. Some brief remarks on future developments in and prospects for THz application in amino acids are also provided.

**Keywords** Terahertz; Amino acids; Hydrogen bond; Vibrational modes; Quantitative analysis

(Received Oct. 5, 2008; accepted Jan. 8, 2009)

\* Corresponding author