

纺织品中邻苯二甲酸酯的表面增强拉曼光谱快速检测

黄艺伟¹, 林嘉盛¹, 谢堂堂^{2*}, 温宝英¹, 李剑锋^{1*}

1. 厦门大学固体表面物理化学国家重点实验室, 化学化工学院, 福建 厦门 361005
2. 深圳出入境检验检疫局工业品检测技术中心, 广东 深圳 518067

摘要 随着绿色纺织理念的不断深入, 国际上对于纺织品中的有毒有害化学品越来越重视。纺织品中常用的邻苯二甲酸酯(PAEs)具有生殖毒性、致突变和致癌性, 可通过空气、水、食物三大途径进入人体, 干扰人体的内分泌系统。由于PAEs对生态系统和公共卫生环境潜在不利的影响, 近年来引起越来越多人们的关注。目前, 检测PAEs的方法主要是色谱法和色-质联用法, 这些方法虽然灵敏度高, 但是存在着前处理繁琐复杂, 耗时久, 检测成本高, 需要专业技术人员等缺点, 不适合生产过程中的快速分析。而其他方法如, 酶联免疫法研究较少, 且存在样品基质干扰, 易出现假阳性等问题。因此, 建立纺织品中邻苯二甲酸酯的快速分析技术具有重要意义。表面增强拉曼光谱(SERS)作为一种分子振动光谱可提供丰富的分子结构信息, 具有极高的灵敏度, 广泛应用于食品安全、环境监测和国家安全等领域。研究中提出并建立了一种结合便携式拉曼光谱仪, 利用SERS实现纺织品中邻苯二甲酸酯的快速定量检测方法。首先利用水合肼将非水溶性的邻苯二甲酸酯类化合物转化为水溶性的邻苯二甲酰肼。同时, 利用纳米金溶胶作为SERS基底, 使转化后的邻苯二甲酰肼吸附于金溶胶表面, 从而实现其拉曼信号的放大与检测。结果表明, 通过这种方法, 可实现多种邻苯二甲酸酯的快速检测。进一步研究还表明, 在 $5\sim 150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内, 邻苯二甲酸酯浓度与其拉曼光谱强度呈线性关系, 线性方程为 $Y=139.04X+5465.32$, 相关系数为 0.9930 , 检出限为 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。利用该方法, 还实现了不同纺织品中多种邻苯二甲酸酯的快速检测, 加标回收率达 80% 以上, 且不受纺织品中其他成分的干扰。所建立表面增强拉曼光谱检测方法操作简便、成本低且结果准确, 适用于纺织品中邻苯二甲酸酯类增塑剂的快速定量检测。

关键词 表面增强拉曼光谱; 便携式拉曼光谱仪; 邻苯二甲酸酯; 邻苯二甲酰肼; 快速检测

中图分类号: O657.37 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)03-0760-05

引言

邻苯二甲酸酯类增塑剂(PAEs), 在工业中被广泛用于塑料、橡胶、黏合剂和纺织品等, 以增加产品的柔韧度。然而, 研究表明, PAEs具有生殖和发育毒性, 一些PAEs甚至具有致癌性^[1]。基于PAEs对人类健康及环境的危害, 许多国家及组织对纺织品中PAEs含量作了严格的限定, 一般不得高于 0.1% ^[2]。

检测PAEs的主要方法有: 色谱法及色-质联用法(包括GC, GC-MS, HPLC, HPLC-MS)^[3-6]、酶联免疫法(ELISAs)^[7]等。无论是色谱法还是酶联免疫法, 都存在着样品前

处理复杂、检测时间长等缺点, 不适合生产过程中的现场快速分析。

表面增强拉曼光谱(SERS)技术具有极高的灵敏度, 甚至可以实现单分子的极限检测。近年来, 随着激光技术、纳米科技和计算机技术的迅猛发展, SERS已经在界面和表面科学、材料分析、生物、医学、食品安全、环境监测和国家安全等领域得到了广泛应用^[8-11]。

目前利用拉曼光谱对PAEs的检测主要停留在纯品的分析^[12], 而对于纺织品中痕量PAEs的拉曼光谱快速检测仍鲜有报道。本文结合便携式拉曼光谱仪建立了一种利用表面增强拉曼光谱定量检测纺织品中PAEs的方法, 具有灵敏度高、耗时短、操作简便等优点, 为实验室和工厂对纺织品的

收稿日期: 2018-09-10, 修订日期: 2019-01-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(21522508)和国家重点研发计划(2017YFF0108900)资助

作者简介: 黄艺伟, 1988年生, 厦门大学化学化工学院硕士研究生

e-mail: zjhyw2011@163.com

林嘉盛, 1994年生, 厦门大学化学化工学院硕士研究生

e-mail: jackson_js17@163.com

黄艺伟, 林嘉盛: 并列第一作者 * 通讯联系人

e-mail: Li@xmu.edu.cn; tangtangxie@139.com

质量控制提供了有利的工具。

1 实验部分

1.1 试剂

邻苯二甲酸二丁酯 (DBP)、邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯 (DEHP)、邻苯二甲酸二甲酯 (DMP)、邻苯二甲酸二壬酯 (DNP)、邻苯二甲酸二辛酯 (DNOP)、邻苯二甲酸二乙酯 (DEP)、邻苯二甲酸二环己酯 (DCHP)、水合肼 (85%) 购于国药集团化学试剂有限公司。氯金酸 ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 99.99%) 及柠檬酸钠 (99%) 购于阿法埃莎 (中国) 化学有限公司。实验中所用的水均为超纯水 ($>18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, 3 ppb)。

1.2 仪器

超纯水仪 (Heal-force, smart-N 系列), 便携式拉曼光谱仪 (B&W Tek Opto-Electronics, 激发光波长 785 nm, 最大激光功率为 500 mW), 高速离心机 (上海安亭科学仪器厂)。

1.3 纳米粒子的制备

将 200 mL 浓度为 0.01 Wt% 的氯金酸溶液煮沸, 一次性快速加入 1.5 mL 柠檬酸钠溶液 (浓度为 1 Wt%), 约 3 min 溶液变为红棕色, 之后保持煮沸 30 min, 冷却待用。图 1 (a, b) 分别为实验室制备的金溶胶的透射电镜图和紫外-可见吸收光谱图。由图 1 (a) 可知, 金纳米粒子呈球形, 直径约 55 nm。同时, 在 550 nm 处出现特征吸收峰图 1 (b)。

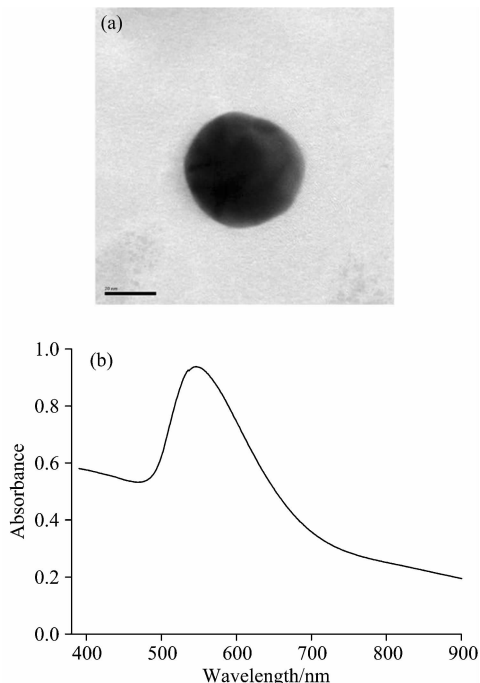


图 1 55 nm 金纳米粒子的透射电镜图 (a) 和紫外可见吸收光谱图 (b)

Fig. 1 (a), (b) TEM image and UV-Vis spectrum of 55 nm Au NPs

1.4 拉曼光谱测试

取两支试管, 一支加入 PAEs 标准液或待测液, 另一支做空白。分别加入水合肼溶液, 调节 pH, 水浴加热 10 min,

氮气吹干, 纯净水复溶, 取 100 μL 复溶液于样品管中, 加入 100 μL 氯化钠溶液 ($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), 300 μL 金纳米溶胶, 混合均匀, 在激发光源 785 nm, 功率 500 mW, 扫描时间 5 s 条件下, 获取拉曼图谱。

2 结果与讨论

2.1 检测方法的确立

PAEs 难溶或不溶于水, 在水溶性的 Au 纳米粒子溶胶中很难吸附到纳米粒子的表面并进入“SERS 热点”, 因此无法获得有效的增强拉曼信号。查阅文献可知 PAEs 在水合肼作用下易转化为水溶性的邻苯二甲酰肼 (图 2)^[13-14]。并建立了利用表面增强拉曼光谱检测 PAEs 的方法。

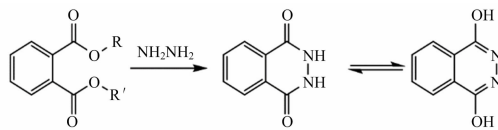


图 2 PAEs 与水合肼反应式

Fig. 2 The reaction equation between PAEs and hydrazine hydrate

以乙醇为空白, 分别取 2 mL 的 DBP 乙醇溶液 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、DEHP 乙醇溶液 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、PAEs 混合乙醇溶液 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (由 DBP, DEHP, DMP, DNP, DNOP, DEP 和 DCHP 随机比例混合), 加入 10 μL 水合肼溶液, 用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 调节 pH 至 11, 80 $^{\circ}\text{C}$ 反应 10 min, 氮气吹干, 加入 2 mL 纯净水复溶, 按上述方法进行检测, 结果如图 3 所示。由图可知, DBP 和 DEHP 纯品的拉曼谱图与其相应的 SERS 谱图存在一定差异, 表明它们与水合肼反应后, 分子结构发生了变化。同时, 将 DBP, DEHP 及 PAEs 混合样的 SERS 谱图与邻苯二甲酰肼标准样进行对比, 发现它们的谱图非常相似, 均可在 720, 1 025 及 1 376 cm^{-1} 处观察到相应的特征谱峰。这些结果表明, 所提出的通过将 PAEs 转化为邻苯二甲酰肼再进行表面增强拉曼光谱测试的方法是可行的。

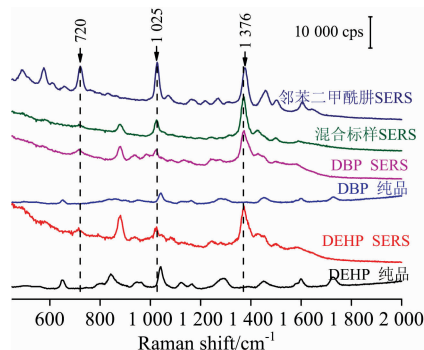


图 3 不同 PAEs 的常规拉曼和 SERS 光谱及邻苯二甲酰肼的 SERS 光谱

Fig. 3 Normal Raman and SERS spectra of several PAEs and phthalhydrazide

2.2 SERS 谱图分析

通过上述研究,利用水合肼将 PAEs 转化为邻苯二甲酰肼后,可实现 PAEs 的 SERS 检测。为了对所获得的 SERS 谱图进行详细分析,进一步对比了邻苯二甲酰肼的常规拉曼谱图与 SERS 谱图。如图 4 所示,得到的邻苯二甲酰肼水溶液的表面增强拉曼谱图在 490, 574, 720, 1 025, 1 167, 1 219, 1 265, 1 376, 1 458, 1 502 及 1 607 cm^{-1} 处可观察到明显的特征拉曼谱峰。对比常规拉曼谱图与 SERS 谱图可知,这些峰可归属为邻苯二甲酰肼的特征谱峰。其中在 1 376 cm^{-1} 处出现很强的表面增强拉曼峰,可归属为 2,3-二氮杂萘类化合物的环伸缩振动峰;在 1 458 cm^{-1} 处的表面增强拉曼峰,可归属为 C—H 伸缩振动峰;在 1 607 cm^{-1} 处表面增强拉曼峰,可归属为 C=N 与苯环 C=C 伸缩的振动峰。这些峰的位置、相对强度与固体邻苯二甲酰肼的常规拉曼峰存在一定差异,且与分子的羰基以双酚式异构体的理论拉曼特征峰类似。实验结果表明在水溶液中,邻苯二甲酰肼分子呈双酚式通过两个氮原子吸附在纳米粒子表面,从而导致其化学键强度发生改变。

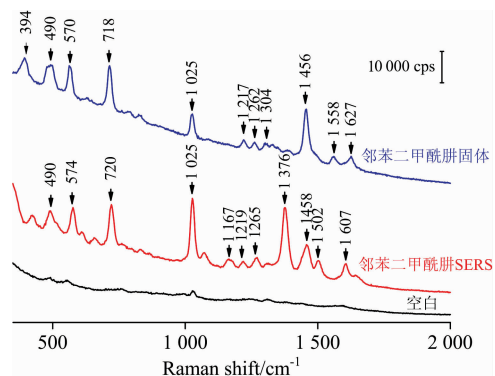


图 4 邻苯二甲酰肼的常规拉曼光谱及其 SERS 光谱

Fig. 4 Normal Raman and SERS spectra of phthalhydrazide

2.3 PAEs 的定量分析

为了研究表面增强拉曼光谱在 PAEs 定量分析中的可行性,进一步对不同浓度 PAEs 的混合标准溶液进行了 SERS 测试,结果如图 5(a)所示。由图可知,水合肼在 879 cm^{-1} 处的特征拉曼峰,对样品的分析不产生干扰。随着 PAEs 浓度的降低,其拉曼特征峰也在不断减弱。当浓度为 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,仍然可明显观察到 PAEs 反应产物的特征拉曼谱峰,表明 SERS 在 PAEs 的检测中有较高的检测灵敏度。利用环伸缩振动特征峰(1 376 cm^{-1})的强度,对 PAEs 进行了定量分析。如图 5(b)所示,在 5~150 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,PAEs 浓度

与其拉曼强度具有良好的线性关系,线性方程为 $Y = 139.04X + 5\ 465.32$,相关系数为 0.993 0,表明该方法适用于 PAEs 的定量分析。

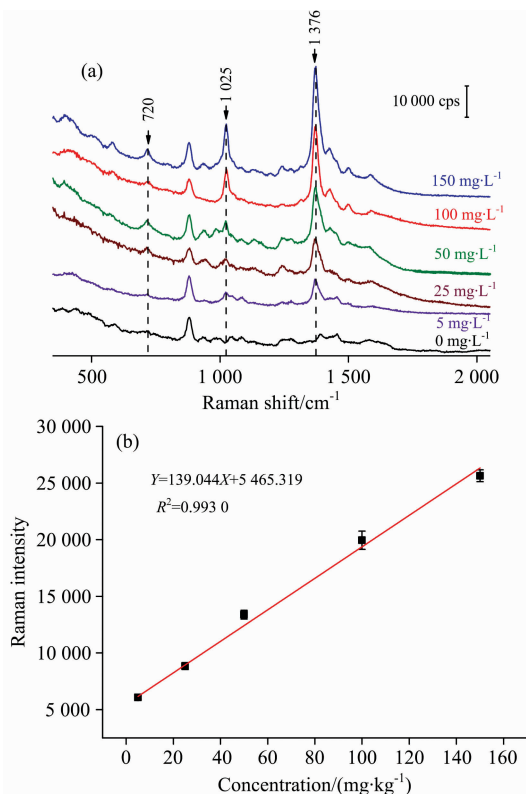


图 5 (a)不同浓度 PAEs 处理后产物的 SERS 光谱图及 (b) 其浓度与 1 376 cm^{-1} 特征峰强度间的关系

Fig. 5 (a) SERS spectra of treated PAEs solutions with different concentrations; (b) The relationship between PAEs concentration and the Raman intensity of the peak at 1 376 cm^{-1}

2.4 纺织品中的 PAEs 含量分析

本研究意在将表面增强拉曼光谱应用于纺织品中 PAEs 的实际检测。因此,选取了 3 种未受邻苯二甲酸酯污染的布料样品(棉质、化纤、人造皮革)。前处理方法按国标 GB/T 20388—2016 的前处理方法稍加修改,分别取 0.3 g 剪碎的样品,加入 10 mL 四氢呋喃,于 60 $^{\circ}\text{C}$ 超声振荡 1 h,冷却至室温,加入 20 mL 正己烷,振荡 30 s, 2 500 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取上清液做为基质,分别添加 PAEs 混合标准溶液,得到浓度为 0, 25, 50 和 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的残留溶液,取 2 mL 用氮气吹干,再用 2 mL 无水乙醇复溶,按上述方法进行检测。

表 1 不同加标纺织品中 PAEs 的检测结果

Table 1 The detection result of treated PAEs in different textiles

样品名称	加标浓度 25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	回收率 /%	加标浓度 50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	回收率 /%	加标浓度 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	回收率 /%	平均回收率/%
棉质	21.88	87.52	46.58	93.16	93.36	93.36	91.35
化纤	20.24	80.96	49.21	98.42	96.65	96.65	92.01
皮革	22.12	88.48	47.63	95.26	97.84	97.84	93.86

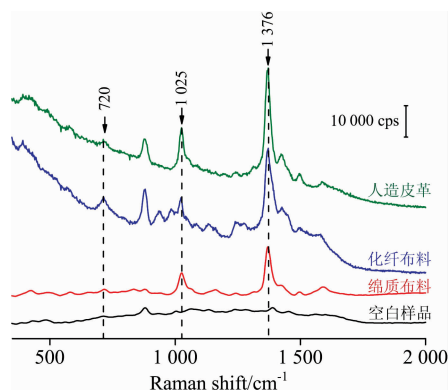


图 6 纺织品提取液为基质的 SERS 光谱

Fig. 6 SERS spectra of treated PAEs in textiles

结果表明, PAEs 以布料提取液为基质的 SERS 谱与标准样一致, 均在 720 , 1025 和 1376 cm^{-1} 有较强特征峰(图 6)。而在空白布料中未观察到这些特征峰, 表明利用 SERS 方法

可以排除布料中其他成分对 PAEs 检测的干扰。结合上述标准曲线, 进一步计算得到样品中 PAEs 的含量, 结果如表 1 所示, 前处理可能有部分损失, 但平均回收率均可达到 90% 以上, 证明了该方法在检测纺织品中 PAEs 含量的可行性。

3 结 论

研究中探索了一种结合便携式拉曼光谱仪, 利用表面增强拉曼光谱快速检测纺织品中 PAEs 含量的方法。通过将 PAEs 转化为邻苯二甲酰肼, 并吸附于金纳米粒子表面, 大大增强了拉曼信号, 从而建立定量检测纺织品中 PAEs 含量的方法。该方法在 $5\sim 150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内, PAEs 的浓度与其拉曼强度具有良好的线性关系, 相关系数为 0.993 0。方法具有灵敏度高、操作简便、耗时短等优点, 达到国家对 PAEs 总量的检测标准, 为纺织品中 PAEs 总量的快速检测提供了一种新方法。

References

- [1] Han Y, Diao D L, Lu Z W, et al. *Analytical Chemistry*, 2017, 89(10): 5270.
- [2] JU Jing-xia, YIN Gui-bo(居静霞, 尹桂波). *Jiangsu Silk(江苏丝绸)*, 2012, 40: 2.
- [3] Insuan W, Khawmodjod P, Whitlow H J, et al. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(16): 3287.
- [4] Xie Q L, Liu S H, Fan Y Y, et al. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2014, 406: 4563.
- [5] Yilmaz P K, Ertas A, Kolak U. *Journal of Separation Science*, 2014, 37: 2111.
- [6] Liu Y P, Wang S H, Wang L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61: 1160.
- [7] Sun R Y, Zhuang H S. *Analytical Methods*, 2014, 6: 9807.
- [8] Craig A P, Franca A S, Irudayaraj J. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2013, 4: 369.
- [9] Xie W, Schlücker S. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2013, 15(15): 5329.
- [10] Halas N J, Moskovits M. *MRS Bulletin*, 2013, 38: 607.
- [11] Simoncelli S, Roller E M, Urban P, et al. *ACS Nano*, 2016, 10(11): 9809.
- [12] Ji Li-jun, XIE Yun-fei, YAO Wei-rong, et al(纪丽君, 谢云飞, 姚卫蓉, 等). *Food Industry Technology(食品工业科技)*, 2012, 33(15): 297.
- [13] Kaseyama, T, Furumi S, Zhang X, et al. *Angewandte Chemie International Edition*, 2011, 50(16): 3684.
- [14] Deshmukh M S, Sekar N. *Dyes and Pigments*, 2015, 117: 49.

Rapid and Quantitative Detection of Phthalic Acid Ester in Textiles Using Surface-Enhanced Raman Spectroscopy

HUANG Yi-wei¹, LIN Jia-sheng¹, XIE Tang-tang^{2*}, WEN Bao-ying¹, LI Jian-feng^{1*}

1. State Key Laboratory of Physical Chemistry of Solid Surfaces, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China
2. Testing and Technology Center for Industrial Products, Shenzhen Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shenzhen 518067, China

Abstract With the development of the concept of green textile, more and more attention has been paid to the toxic chemicals used in textiles. Phthalic acid esters (PAEs) having reproductive toxicity, mutagenicity and carcinogenicity, which are frequently used as plasticizers in textiles, will enter the human body via air, water and food and jeopardize human health. Therefore, their potential and adverse impacts on ecosystem functioning and on public health have aroused considerable and growing attention in recent years. The determination of PAEs is largely based on chromatographic and chromatograph-mass spectrometer.

These methods are sensitive, accurate, but have some limitations including high costs, long detection time, and the need of trained personnel. Other methods, such as ELISAs are less studied, which have some limitations including interference of matrix and false positives. Therefore, developing efficient method for the analysis of PAEs is of significant importance. Surface-enhanced Raman spectrum(SERS) can provide rich molecular structure information and has a very high sensitivity, which has been widely used in food safety, environmental monitoring and national security and other fields. In this paper, using a portable Raman spectrometer, a rapid and quantitative SERS method has been developed for the detection of PAEs. In this method, PAEs are first converted into phthalhydrazide, which is then adsorbed on the SERS substrates (Au sols). Using such a method, various PAEs can be rapidly detected. Furthermore, a good linear relationship between the concentration of PAEs and their Raman intensity has been obtained in the range of $5\sim 150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. The linear regression equation is $Y=139.04X+5465.32$, with a correlation coefficient of 0.993 0 and a detection limit of $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Using such a method, various PAEs in textiles are quantitatively detected with a recovery of $>80\%$. The work demonstrates that the SERS method developed here is very simple, cost-effective and accurate thus is suitable for the rapid detection of the total amount of PAEs in textiles.

Keywords Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS); Portable Raman spectrometer; Phthalic acid esters(PAEs); Phthalhydrazide; Rapid detection

(Received Sep. 10, 2018; accepted Jan. 26, 2019)

HUANG Yi-wei and LIN Jia-sheng: joint first authors

* Corresponding authors

(上接 749 页)

1. 墙报尺寸: 高 110 公分 \times 宽 80 公分;

2. 墙报内容不包括中英文摘要和参考文献;

3. 墙报内容以图文为主, 层次分明, 主要体现研究工作的创新性, 主要结果和结论;

4. 墙报右上侧写上论文编号;

拟作墙报展示的代表, 在会议注册系统中提交墙报题目和编号。组委会将组织专家对青年学者、博硕士研究生墙报进行评审, 并对优秀墙报颁发优秀论文证书和奖金。

三、会议稿件

会议截稿日期为 12 月 30 日, 请大家按照会议第一轮通知的要求继续投稿。

<http://www.sinospectroscopy.org.cn/readnews.php?nid=94098>

四、会议注册

4.1 会议注册费

2020 年 4 月 20 日以前缴纳注册费: 正式代表: 1600 元/人; 学生代表: 1000 元/人; 2020 年 4 月 20 日后及现场缴纳注册费: 正式代表: 1800 元/人; 学生代表: 1200 元/人, 现场缴费将邮寄发票。由于酒店房间是预留, 2020 年 4 月 20 日后及现场缴纳注册费的代表将不能保证房间; 陪同家属 1000 元/人(没有发票)。

会议注册费收缴方式:

银行汇款, 如网银、手机银行、支付宝、微信转账、银行柜台等。

收款单位: 四川大学(请注明: 2020 光谱+姓名);

帐号: 5100 1870 4690 5988 8666;

开户行: 建行成都川大支行;

汇款成功后请务必将姓名、参会编号、单位发票抬头、单位税号、汇款金额通过邮箱(atcpubs@scu.edu.cn)告知会务组, 以便核实会议注册费发票信息。(如果需要开具增值税发票, 请注明并提供单位名称、纳税人识别号、地址、电话、开户行及账号)

发票联系人: 张亮 联系邮箱: zhang.liang@scu.edu.cn 联系方式: 15902844473

4.2 会议注册系统

请登陆光谱网会议主页: <http://www.sinospectroscopy.org.cn/meeting/index.php?mid=24>

注册并提交您的参会信息, 包括个人信息、报告题目、墙报题目、住房预定等信息。

(下转 776 页)

tional properties of the two proteins showed that the surface sulfhydryl content of goat milk β -casein and bovine milk β -casein were basically consistent with $19\sim 20\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, but the total sulfhydryl content of goat milk β -casein ($28.35\pm 0.13\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$) was significantly lower than bovine milk β -casein ($46.72\pm 0.21\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$); the isoelectric point of goat milk β -casein was similar to bovine milk β -casein (pH 4~5), and the solubility of goat milk β -casein was lower than bovine milk β -casein near the isoelectric point, but higher than bovine milk β -casein far from the isoelectric point. The results showed that compared with the bovine milk β -casein, the disorder and flexibility of the goat milk β -casein were higher, and the internal structure of micelle was softer and looser.

Keywords Goat milk; Bovine milk; β -casein; Circular dichroism; Fourier transformation infrared spectroscopy; Secondary structure

* Corresponding authors

(Received Jan. 21, 2019; accepted Apr. 10, 2019)

(上接 764 页)

4.3 会议住宿

会议酒店:

1. 世外桃源酒店

地址: 四川省成都市武侯区科华北路 69 号

酒店房间价格: 标间 620 元/间天; 大床房 560 元/间天

2. 科华苑宾馆

地址: 四川省成都市武侯区科华北路 141 号

酒店房间价格: 标间 360 元/间天; 大床房 470 元/间天

由于会议期间住宿相对紧张, 涉及到房间预定、会议安排等因素, 务请各位专家、同学在截止日期前注册, 只有在收到注册费后, 才会进行会议相关安排, 务请体谅与协助。

五、会议组织机构

大会组委会人员组成请见如下链接: http://www.sinospectroscopy.org.cn/meeting/extend.php?mid=24&body_id=12

学术委员会人员组成见如下链接: http://www.sinospectroscopy.org.cn/meeting/extend.php?mid=24&body_id=13

有关会议的邀请报告、住房信息、交通路线、稿件编号等信息敬请登录会议主页查询。

六、组委会和会务组联系方式

组委会:

吴兰: 13688385033 Email: wulan@scu.edu.cn

会务组:

注册&住宿: 张亮 15902844473 Email: zhang.liang@scu.edu.cn

报告&论文: 李成辉 18980877825 Email: atcpubs@scu.edu.cn

厂商联络: 王香凤 13520034335 Email: xiangfeng@bnu.edu.cn

七、支持媒体

会议官网: 光谱网(<http://www.sinospectroscopy.org.cn>)

会议各类信息发布以光谱网信息为准。

主办单位:

中国光学学会

中国化学会

中国光学学会光谱专业委员会

承办单位:

四川大学分析测试中心

中国光学学会光谱专业委员会

四川大学分析测试中心

2019 年 11 月 18 日