

黑土长期定位施肥土壤富里酸的荧光特性研究

李艳平¹, 魏丹², 周宝库², 赵越¹, 张喜林², 魏自民^{1*}, 李书玲¹

1. 东北农业大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150030

2. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086

摘要 选取哈尔滨长期定位施肥对照处理(CK)、施用氮磷钾化肥(NPK)、有机肥马粪(OM)及有机肥与无机肥混施(MNPK)四个不同处理的土壤样品,利用荧光检测技术对土壤富里酸(Fulvic acid, FA)组分进行分析。荧光发射、激发与同步扫描主要特征峰及三维荧光图谱 Peak a, b, c 均显示:与 CK 比较, NPK 处理均出现明显蓝移,而 OM 与 MNPK 出现不同程度红移,表明 NPK 可使土壤 FA 结构趋于简单化,OM 与 MNPK 处理则使 FA 结构趋于复杂。通过对不同处理土壤 FA 荧光指数 $f_{450/500}$ 与 $A_{1\ 370-412\ \text{nm}}/A_{370-600\ \text{nm}}$, $A_{4\ 538-600\ \text{nm}}/A_{370-600\ \text{nm}}$, A_4/A_1 荧光面积积分比值等参数比较分析,进一步说明 NPK 处理土壤 FA 芳构化程度较低,而 OM 与 MNPK 长期施肥均使 FA 缩合度与芳构化程度升高。

关键词 长期培肥;黑土;富里酸;荧光光谱;积分

中图分类号: S158 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2758-05

引言

长期定位施肥试验是全面了解影响农田生态系统与土地生产力的各种因子及相互作用的重要场所,通过长期定位培肥试验,能够系统地研究土壤肥力演变和肥效变化规律,科学地评价轮作与施肥技术体系的效应。腐殖质作为表征土壤肥力的重要指标之一,对土壤理化性质、生物学特性具有深远的影响,长期以来一直是广大相关科研工作者研究的热点^[1-3]。根据腐殖质在酸碱性水溶液中的溶解度,可将其分为^[4]胡敏酸(humic acid, HA)、富里酸(fulvic acid, FA)、胡敏素(humin)。富里酸是一类既可溶于酸溶液又溶于碱溶液的腐殖质物质,其分子量比胡敏酸小,呈强酸性,移动性大,对促进矿物的分解和养分的释放具有重要的作用。对于长期定位实验国内外学者也进行了大量的研究报道,但主要集中在一般理化性质的研究,如土壤微生物量及酶活性^[5-7];土壤碳、氮、磷转化过程研究^[8-10];土壤有机质的常规指标变化^[11, 12]等。但采用光谱学分析手段,对长期培肥土壤腐殖质特性进行分析,从物质结构的角度了解长期培肥对土壤腐殖质结构演化影响的研究报道较少。基于此,本研究选取农业部“哈尔滨黑土生态环境重点野外科学观测试验站”长期培

肥 30 年的土壤样品,采用荧光光谱分析手段,对不同施肥方式土壤 FA 结构差异性进行分析,以为农业可持续栽培模式的选择提供科学的依据,具有十分重要的理论与实际意义。

1 实验部分

1.1 材料

土壤样品取自农业部“哈尔滨黑土生态环境重点野外科学观测试验站”,该站始建于 1979 年,土壤类型:黑土。实验于 2009 年 5 月选取其中的 4 个处理小区进行土壤样品采集。四个处理分别为对照不施肥处理(CK)、施用化肥氮磷钾处理(NPK)、施用有机肥马粪处理(OM)、有机肥马粪与无机肥氮磷钾混合施用处理(MNPK),每个处理采集土壤样品约 1 kg,风干过 1 mm 筛保存备用。

1.2 土壤富里酸的提取

1.2.1 腐殖质的提取

称取 30 g 土壤样品,用 $0.1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaOH}$)的混合液按固液比 1:5 振荡($150\ \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)浸提 24 h,过 $0.45\ \mu\text{m}$ 纤维树脂滤膜,收集滤液。

1.2.2 富里酸的分离纯化

收稿日期:2010-10-18, 修订日期:2011-02-20

基金项目:国家科技支撑计划课题项目(2006BAD25B05),黑龙江省杰出青年基金(JC200622)和哈尔滨市创新人才基金项目(2008RFXYN029)

作者简介:李艳平,女,1983年生,东北农业大学硕士研究生 e-mail: liyanping866@tom.com

* 通讯联系人 e-mail: weizm691120@163.com

将步骤 1.2.1 中的滤液用 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 将 pH 调至 1.0, 在 4°C 中静置过夜后, 过滤后过 $0.45 \mu\text{m}$ 纤维树脂滤膜, 得上清液及沉淀, 上清液过 XAD8-HP 大孔吸附树脂及氢型阳离子交换树脂后, 得 FA 组分, 所有 FA 样品浓度调至为 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 调至 7.0 ± 0.05 。

1.3 荧光光谱测定

荧光光谱测定采用仪器为 Perkin Elmer Luminescence Spectrometer LS50B。该仪器主要性能参数参照何小松等, 并将各扫描参数稍做修改: 荧光发射光谱: 发射波长扫描范围为 $\lambda_{\text{em}} = 370 \sim 600 \text{ nm}$, 固定 $\lambda_{\text{ex}} = 360 \text{ nm}$; 荧光激发光谱: 激发波长扫描范围为 $\lambda_{\text{ex}} = 200 \sim 540 \text{ nm}$, 固定 $\lambda_{\text{em}} = 560 \text{ nm}$; 同步扫描光谱: 波长扫描范围为 $\lambda_{\text{ex}} = 200 \sim 600 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = \lambda_{\text{em}} - \lambda_{\text{ex}} = 18 \text{ nm}$, 扫描速度均为 $200 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$; 三维荧光光谱: 发射光谱波长 $\lambda_{\text{em}} = 250 \sim 700 \text{ nm}$, 扫描速度: $1500 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

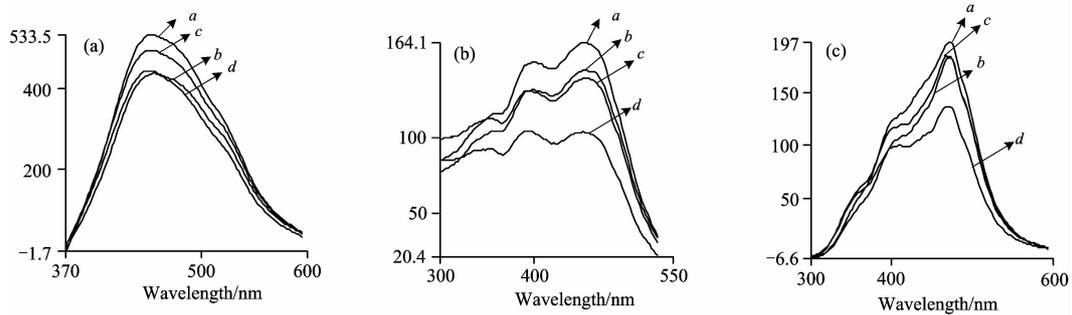


Fig. 1 Conventional fluorescence spectroscopy of FA

(a): Emission spectra; (b): Excitation spectra; (c): Fluorescence synchronous-scan spectra
a: OM; b: MNPk; c: CK; d: NPK

2.1.2 激发光谱

不同处理荧光激发图谱形状基本相似[图 1(b)], 均在 350, 395, 450 nm 附近各产生 1 个荧光峰, CK, NPK, OM, MNPk 处理 395nm 荧光峰位置分别为 396, 390, 399, 399 nm, 与 CK 相比, NPK 处理 395 nm 附近荧光峰出现明显蓝移, 而 MNPk 和 OM 则有红移的趋势。此红移现象可解释为分子共轭效应增加和分子缩合度的增强。另外, FA 在 350 nm 处荧光峰因施肥处理不同存在明显差异, 其中 NPK 特征峰明显, 而 OM 和 MNPk 则有消失趋势, 此位置荧光峰由结构较简单的物质形成。综合以上分析表明, NPK 处理 FA 缩合度明显降低, 而 OM 和 MNPk 处理 FA 缩合度则有趋于复杂化的态势。

2.1.3 同步扫描光谱

不同施肥处理土壤 FA 的同步扫描光谱均在波长 470 nm 附近产生 1 主峰[图 1(c)], 同时 CK(416 nm)、NPK(409 nm)分别产生 1 次要特征峰, 而 MNPk 和 OM 此位置附近荧光峰趋于消失。与 CK 相比较, NPK 处理 410 nm 处荧光峰出现一定程度蓝移。通过以上分析可推断, NPK 处理 FA 腐殖化程度相对较低, 这也与 FA 的发射、激发光谱分析结论一致。

2.2 FA 的三维荧光光谱特性

三维荧光图谱表明(图 2), 4 个处理图谱基本显示四个

2 结果与讨论

2.1 FA 的传统荧光光谱特性

2.1.1 发射光谱

由图 1(a)图可以看出, 不同处理 FA 荧光发射图谱形状较为类似, 均在波长 450 nm 附近产生 1 个较宽的荧光峰, 它是具有相似来源的一类基团总体荧光性质的反应^[13]。与 CK 处理荧光峰位置(451 nm)比较, NPK 处理荧光峰位置发生蓝移, 位于 447 nm, OM 处理变化不很明显, 而 MNPk 处理荧光峰则位于 454 nm, 出现明显红移。一般情况下, 结构简单的物质在短波长范围内产生荧光峰, 而结构复杂、腐殖化程度高的物质在长波长范围出现荧光^[14], 因此这种蓝移现象表明 NPK 处理 FA 芳构化程度与其他处理比较相对较低。而 MNPk 处理 FA 的芳构化程度较高, 结构复杂。

特征峰(Peak a, Peak c, Peak b, Peak d), 荧光峰位置分别为: Peak a: Ex/Em=220~240/432~442 nm; Peak b: Ex/Em=380~390/468~482 nm; Peak c: Ex/Em=330/436~441 nm; Peak d: Ex/Em=440/509~516 nm。其中 Peak a 属于紫外区类富里酸荧光, Peak c 属于可见光区类富里酸荧光(Fulvic-like); Peak b 与 Peak d 属于类胡敏酸荧光(Humic-like)。通过对不同处理各荧光峰位置比较可看出, 相对于 CK Peak a(Ex/Em=230/434 nm), NPK 施肥处理激发波长(Ex)产生明显蓝移, 位于 220 nm; 而 MNPk 和 OM 处理激发(Ex)与发射波长(Em)均发生红移现象, Ex 均位于 240 nm, Em 分别位于 439 和 442 nm。与 CK Peak b(Ex/Em=390/482 nm)比较, NPK 处理在 Ex 处发生显著蓝移, 位于 380 nm, 同时在 Em 处也明显向短波长方向移动, 发生蓝移, 位于 468 nm, MNPk 和 OM 处理也在 Em 处发生不同程度蓝移现象, 分别位于 475 和 477 nm。c 峰与 CK 的 Peak c(Ex/Em=330/438 nm)相比 NPK 处理在 Em 发生蓝移, 位于 436 nm, 同时 MNPk 和 OM 也在 Em 处发生红移, 分别位于 441 和 440 nm。在 Ex=440 nm 的 d 峰位置, 只有 CK 和 MNPk 处理存在 d 峰, 相对于 CK 的 Peak d(Ex/Em=440/516 nm)MNPk 在 Em 处明显蓝移, 位于 509 nm。因此综合分析, NPK 处理 FA 分子最为简单, MNPk 和 OM 处理 FA 分子芳化程度与缩合度较大, 物质结构趋于复杂这与传

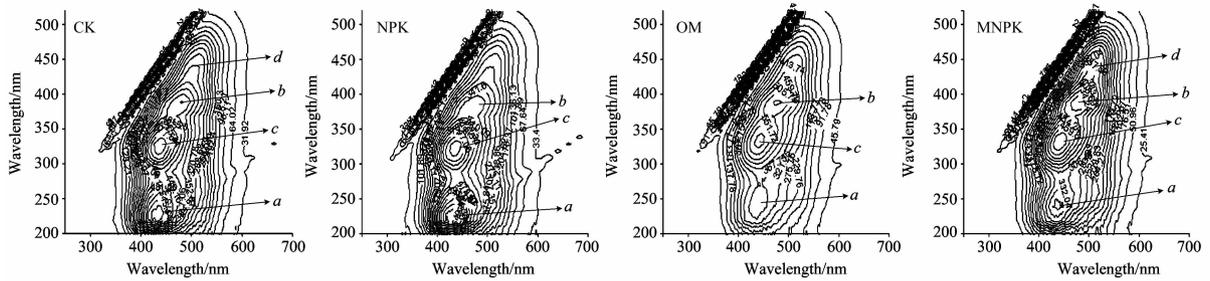


Fig. 2 3DEEM spectra of FA

统的二维荧光光谱所得结果一致。

Table 1 Characteristics peak position of FA in 3DEEM [波长/nm/Ex/Em]

	Peak a	Peak c	Peak b	Peak d
CK	230/434	330/438	390/482	440/516
NPK	220/432	330/436	380/468	—
OM	240/442	330/440	390/475	—
MNPK	240/439	330/441	390/477	440/509

Table 2 Characteristic fluorescence parameters of different samples

	CK	NPK	OM	MNPK
$f_{450/500}$	1.320	1.381	1.325	1.269
$A_1 370\sim 412 \text{ nm}/A_{370\sim 600 \text{ nm}}$	0.098	0.104	0.090	0.083
$A_4 538\sim 600 \text{ nm}/A_{370\sim 600 \text{ nm}}$	0.097	0.090	0.095	0.104
A_4/A_1	0.981	0.867	1.061	1.258

2.3 荧光指数 $f_{450/500}$ 变化特征

荧光指数 (fluorescence index, $f_{450/500}$) 是激发光波长 370 nm 时, 荧光发射光谱中 450 和 500 nm 处荧光强度比值。 $f_{450/500}$ 值与 FA 芳香性之间呈负相关^[15, 16]。 $f_{450/500}$ 值较高说明其腐殖类物质含有较少的苯环结构, 芳香性较弱。从表 2 中可看出 NPK 处理 FA 的 $f_{450/500}$ 值最高, MNPK 最低, CK 和 OM 居中, 因此, 可推断 NPK 处理 FA 含有苯环结构较少, 结构简单, 而 MNPK 处理使 FA 结构最为复杂。

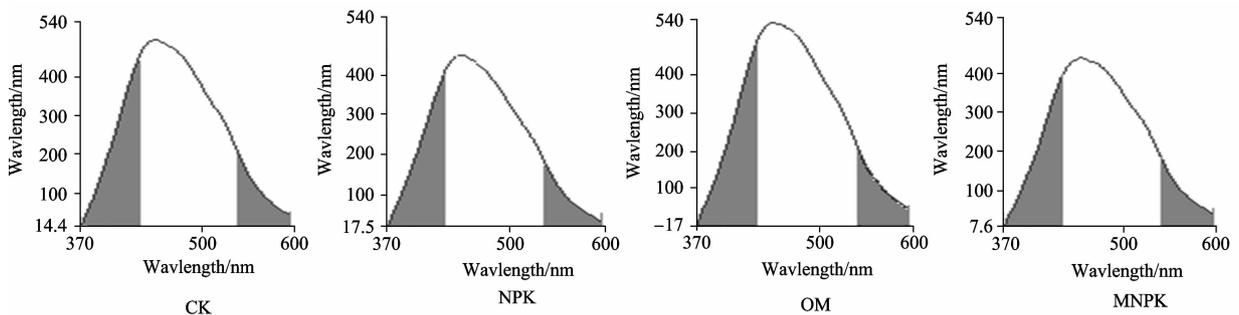


Fig. 3 Integral of area from 370~412 nm and 538~600 nm in the emission spectra

3 结论

采用荧光光谱分析手段, 通过对长期定位施肥黑土富里

2.4 特征波段面积积分

实验参照李文慧等^[17]将荧光发射光谱面积积分, 将荧光发射光谱在 370~600 nm 的扫描范围平均分为 4 部分, 利用 A_4 (538~600 nm 之间的荧光峰面积) 与 A_1 (370~412 nm 之间的荧光峰面积) 比值 (A_4/A_1); 同时分别利用 A_1 和 A_4 面积与整个发射光谱面积 A (370~600 nm) 比值, 表征土壤 FA 的腐殖化程度。由表 2 可看出, CK, NPK, OM, MNPK 各处理 A_4/A_1 值分别为 0.981, 0.867, 1.061, 1.258, 其中 MNPK 处理 A_4/A_1 值是 NPK 的 1.45 倍。研究表明^[17], A_4/A_1 比值增加表明荧光发射光谱红移显著, 即腐殖化程度加深; 反之说明光谱发生蓝移, 即腐殖化程度减弱。由此可推断, 相对于 CK 和 NPK 处理土壤 FA 结构趋于简单化, 而 MNPK 处理 FA 则有复杂化的趋势。从表 2 中可明显看出, 长期施用 NPK 处理的 $A_1/A_{370\sim 600 \text{ nm}}$ 最高, 比值为 0.104, MNPK 最低, OM 和 CK 居中; 而 $A_4/A_{370\sim 600 \text{ nm}}$ 比值则呈相反的趋势。 $A_1/A_{370\sim 600 \text{ nm}}$ 值较高说明简单物质较多, 腐殖化程度低, 而 $A_4/A_{370\sim 600 \text{ nm}}$ 值高则表示在长波长处的 FA 结构复杂, 腐殖化程度高。因此, 短波长荧光峰面积 (A_1)、长波长处荧光峰面积 (A_4) 分别与整个扫描波长荧光峰面积 (A) 比值证实, 与 CK 比较, NPK 处理土壤 FA 分子芳构化程度最低, 而 MNPK 处理则最高。这与张晋京等^[18]施用猪粪对棕壤富里酸的研究, 分子结构变得复杂化结果基本一致。综合以上荧光参数分析, 各处理土壤 FA 腐殖化程度由大到小依次为: MNPK, OM, CK, NPK。

酸荧光图谱 (传统图谱、三维图谱) 解析及荧光特性参数比较证实, 与不施肥处理 (CK) 比较, 长期施用无机肥 (NPK) 可使黑土富里酸分子结构逐渐简单化, 腐殖化程度降低; 而有机无机肥料长期混合施用后土壤富里酸分子结构趋于复杂化,

芳构化程度明显增强。

References

- [1] SHI Ji-ping, ZHANG Fu-dao, LIN Bao(史吉平, 张夫道, 林葆). Soils and Fertilizers(土壤肥料), 2002, (1): 15.
- [2] Schnitzer M. Soil Sci., 1991, 15(1): 41.
- [3] XU Xiang-cheng, ZHANG Ji-hong(须湘成, 张继宏). Chinese Journal of Soil Science(土壤通报), 1993, 24(2): 53.
- [4] YAN Chang-sheng(严昶升). Study Method of Soil Fertilizer(土壤肥力研究方法). Beijing: China Agriculture Press(北京: 中国农业出版社), 1988. 10.
- [5] LI Dong-po, WU Zhi-jie, CHEN Li-jun, et al(李东坡, 武志杰, 陈利军, 等). Chinese Journal of Soil Science(土壤通报), 2005, 36(5): 679.
- [6] SUN Rui-lian, ZHAO Bing-qiang, ZHU Lu-sheng, et al(孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等). Ecology and Environment(生态环境), 2008, 17(5): 2059.
- [7] MERSI W, SCHINNER F. Biology and Fertility of Soils, 1991, 11: 216.
- [8] LI Hai-bo, HAN Xiao-zeng, WANG feng(李海波, 韩晓增, 王风). Chinese Journal of Soil Science(土壤通报), 2007, 38(2): 384.
- [9] PENG Pei-qin, QIU Shao-jun, TONG Chen-li, et al(彭佩钦, 仇少君, 童成立, 等). Environmental Chemistry(环境化学), 2007, 28(8): 1817.
- [10] Fan T L, Stewart A, Wang Y, et al. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 106: 313.
- [11] LI Xin-ai, TONG Chen-li, JIANG Ping, et al(李新爱, 童成立, 蒋平, 等). Soils(土壤), 2006, 38(3): 298.
- [12] XU Ming-gang, YU Rong, SUN Xiao-feng, et al(徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等). Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报), 2006, 12(4): 459.
- [13] Senesi N, Miano T M, Provenzano M R, et al. Soil Sci., 1991, 152(4): 259.
- [14] ZHANG Xue-ying, HUANG Huan-zhong, ZHOU Li-xiang(张雪英, 黄焕忠, 周立祥). Environmental Chemistry(环境化学), 2004, 23(1): 96.
- [15] Wolfe A P, Kaushal S S, Fulton J R, et al. Environmental Science & Technology, 2002, 36(15): 3217.
- [16] McKnight D M, Boyer E W, Westerhoff P K, et al. Limnology & Oceanography, 2001, 46(1): 38.
- [17] LI Wen-hui, LI Ai-min, ZHANG Shu-cai, et al(李文慧, 李爱民, 张树才, 等). Environmental Chemistry(环境化学), 2008, 27(4): 503.
- [18] ZHANG Jin-jing, DOU Sen(张晋京, 窦森). Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报), 2003, 9(1): 75.

Fluorescence Spectroscopic Characteristics of Fulvic Acid from the Long-Term Located Fertilization in Black Soil

LI Yan-ping¹, WEI Dan², ZHOU Bao-ku², ZHAO Yue¹, ZHANG Xi-lin², WEI Zi-min^{1*}, LI Shu-ling¹

1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. Institute of Soil Fertilizer and Environment Research, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Harbin 150086, China

Abstract In order to investigate the effect of long-term located fertilization on soil fulvic acid (FA), in this study, four soil samples were taken from black soil with long-term located fertilization (about 30 year) in Harbin, Heilongjiang province. The fertilization treatments included control (CK), N, P and K fertilization (NPK), horse manure (OM), combination of organic manure and chemical fertilizations (MNPK). Soil FA was extracted from the samples and purified. The excitation, emission, synchronous, and three-dimensional-excitation emission matrix fluorescence spectroscopy (3DEEM) characteristics of the FA were determined. The excitation, emission and synchronous scan spectra all indicated that the main peaks of FA in the NPK treatment exhibited a significantly blue shift compared with CK, while those of MNPK, OM treatment caused a red shift to some extent. 3DEEM spectra of FA in all treatments exhibited four peaks (peak a, peak b, peak c, and peak d), compared with FA in CK, the wavelengths shift tendency of peak a, peak b, and peak c of FA 3DEEM in NPK, MNPK and OM treatments were similar to that of traditional spectra in FA. In order to provide quantitative information of FA humification degree in different treatments, we investigated the fluorescence index $f_{450/500}$ (FI), area integration ($A_{370\sim 600\text{ nm}}$, $A_{1\ 370\sim 412\text{ nm}}$, $A_{4\ 538\sim 600\text{ nm}}$). Compared with CK, the $f_{450/500}$, ratio of A_1/A in NPK and A_4/A in MNPK treatment increased by 4.62%, 6.12%, 7.22%, respectively. However,

er, the $f_{450/500}$, the ratio of A_1/A in MNPK and A_4/A in NPK treatment decreased by 3.86%, 15.31%, and 7.22% respectively. This indicated that NPK application gave a lower degree of FA humification, and combination of organic manure and chemical fertilizations would lead to a greater degree of FA aromatization in black soil with long-term located fertilization than CK.

Keywords Long-term located fertilization; Black soil; Fulvic acid; Fluorescence spectrum; Integration

(Received Dec. 10, 2010; accepted Mar. 20, 2011)

* Corresponding author

第十七届全国分子光谱学学术会议 (第一轮通知)

由中国化学会和中国光学学会联合主办, 韶关学院和韶关市化学化工学会联合承办的“第 17 届全国分子光谱学术报告会”, 将于 2012 年 10 月 19—22 日在广东韶关召开。

本次会议是我国分子光谱界的又一次聚会和高水平、高信息容量的学术交流。本着继往开来、与时俱进的精神, 本次会议将全力展示我国在分子光谱及相关领域所取得的最新研究进展及成果, 增进广大分子光谱科学工作者和支持分子光谱事业的人们之间的交流与合作, 促进我国分子光谱事业的发展。届时会议将邀请国内外知名专家学者就分子光谱有关学术领域的前沿热点问题作大会报告, 同时会议还将组织各类专题讨论和学术交流。竭诚欢迎全国高等院校、科研机构 and 产业部门从事分子光谱研究和应用开发的同事和朋友们来广东韶关参加会议, 交流最新研究成果, 推进分子光谱基础研究和应用技术在国民经济和高新技术开发中的广泛应用和技术转化。我们真诚期待着国内外同行在 2012 年 10 月相聚在美丽的韶关。

征文范围

分子光谱理论研究, 红外光谱、拉曼光谱、荧光光谱、磷光光谱、紫外-可见吸收光谱、激光光谱、光谱成像等各类光谱技术在物理、化学、生物、材料科学、表面/界面科学、医药、环境、工业过程、催化学、地学、农林及其它领域的基础理论与应用研究的最新科研成果。同时也欢迎相关的光谱技术(如质谱、核磁共振等)的最新研究成果。

论文要求

1. 论文内容必须是未在期刊杂志上发表过或其它全国或国际会议宣读过的。
2. 提交论文扩展摘要一份, 纸张大小用 A4 纸版式(用 Office word 软件排版, 页边距为 2 cm, 单倍行距)。
3. 扩展摘要按以下顺序排版: 文题(三号黑体居中); 作者(四号仿宋居中); 单位(小四号宋体居中, 含所在省市、邮政编码、电子邮址(如有)); 论文的创新性, 研究意义与结果(五号宋体); 关键词和主要参考文献(自版芯左起, 五号宋体)。文稿中可穿插主要论据的图、表和照片, 图题、图注和表题、表注一律用英文表述。摘要的字数, 包括图、表, 参考文献, 总共不能超过 4 500 字。
4. 具体投稿要求可参看模板及《光谱学与光谱分析》征稿简则。稿件一经录用, 将由《光谱学与光谱分析》以增刊形式发表会议论文摘要集。
5. 论文截稿日期: 2012 年 4 月 30 日, 尽量通过电子版, 一般, 不接受手写稿。

论文提交方式

欢迎大家通过网站提交论文, 请您注册登陆中国光谱网(<http://www.sinospectroscopy.org.cn>) 点击论文提交上传您的论文。论文将采用网上评审的方式, 你可在网上浏览对您论文的评审结果和修改意见。请您通过电子邮件方式提交论文。请发往: gphy2012@126.com; 若以信件方式投稿, 请以挂号邮寄, 信封上请注明“第十七届全国分子光谱学学术会议征文”字样; 收稿地址: 邮编 512005 广东省韶关市浈江区大塘路九公里韶关学院化学系; 黄冬兰收。

报告形式

为充分利用会议时间, 提高学术交流的效率, 本次会议仍采用“口头报告”和“墙报展示”两种方法进行学术交流。无论是口头报告还是墙报展示, 均属大会同等学术交流, 无水平高低之分。对内容好, 制作精良的报展颁发奖励。为尊重个人意见和便于组委会的安排, 请投稿人注明选择自己的稿件为“口头报告”或“墙报”的字样。在安排“口头报告”和“墙报”时, 将充分考虑作者的意见。同时会议还将邀请国内外知名专家学者就分子光谱有关学术领域的前沿热点问题作大会报告和主题报告。主要报告形式有:

1. 大会邀请报告: 主要邀请国内外知名专家学者报告光谱分析的前沿技术在各个领域的最新进展。

(下转 2788 页)