

# 红外光谱分析木质素在漆酶酶法改性中的反应性

邱卫华, 陈洪章\*

中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室, 北京 100190

**摘要** 随着非水酶学的发展, 木质素的酶法催化改性得到日益广泛的运用。文章主要考察了漆酶酶法改性反相微乳液体系中云杉碱木质素、乙醇水溶液中乙醇木质素、缓冲液体系中木质素磺酸盐、以及碱溶液中汽爆麦草碱木质素的反应。通过红外光谱对各反应体系中, 漆酶催化改性后的木质素结构特点进行分析, 结合凝胶色谱法考察木质素的分子量及其分布, 结果表明经过 Y Y-5 漆酶处理后各种木质素的分子量分布均趋向于高分子区域, 且分子量分散性降低, 各种木质素的红外光谱结构也发生了明显的变化。初步确定了木质素在漆酶催化改性中存在的反应位点, 主要是酚羟基、苯环侧链取代基、羰基等。在四种木质素中, 漆酶对碱木质素的改性反应性要高于其他类型的木质素, 这可能与碱性溶液体系中漆酶的活性较高有关。

**关键词** 漆酶; 木质素反应性; 酶法改性; 红外光谱结构; 分子量及其分散性

中图分类号: O657.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0593(2008)07-1501-05

## 引言

目前木质素的主要来源是制浆造纸工业废液, 根据工艺可以将其分为3大类, 即: 水解木质素、碱木质素和木质素磺酸盐<sup>[1]</sup>。这些木质素的基本结构和性质相似, 如都含有酚羟基和苯环上的活泼氢等活性基团。20世纪90年代以来, 许多专家开始注重开发以木质素为基础的合成高分子, 如合成树脂、表面活性剂和胶粘剂等<sup>[2-4]</sup>。但是不同来源, 甚至相同来源不同分离方法得到的木质素, 其结构和性质差别都非常大。木质素的这种结构性质多分散性大大限制了木质素的产品开发和应用。目前已经有大量的研究致力于木质素的改性, 将木质素进行不同的改性处理, 使其形成更多的活性基团以满足产品需要, 如氧化(形成新的碳基或酚羟基)、酰化(乙酸、甲酸)、烷基化(经甲基化、苯甲基化、亚甲基化)等。木质素的改性已经成为实现木质素高值化利用的关键。

木质素的改性方法主要包括物理法、化学法及生物酶催化法。与强烈的化学改性方法相比, 生物酶催化法要温和得多, 同时随着非水酶学的发展, 木质素的酶法催化改性得到日益广泛的运用。由于漆酶可以直接以 O<sub>2</sub> 为电子传递体实现氧化还原作用, 并且漆酶的底物特异性较低, 使得漆酶在工业木质素改性中应用前景十分广泛<sup>[5, 6]</sup>。漆酶可以催化木质素结构中的酚羟基生成苯氧自由基(Phenoxy), 苯氧自由基之间可以发生共价连接, 从而使木质素之间发生共聚<sup>[7]</sup>。另外, 近年来的研究发现, 在有还原介质体系存在的条件

下, 漆酶还可以氧化转化非酚型木质素类化合物, 从而使漆酶广泛地运用于木质素高分子合成中<sup>[8, 9]</sup>。虽然漆酶已经广泛地用于木质素的改性中, 但是关于漆酶催化木质素的反应机理还没有得到确切的阐明。本文针对漆酶在各反应体系中, 催化不同来源木质素改性的结构变化进行了红外光谱分析, 并结合凝胶色谱考察了木质素的分子量及其分布, 分析了木质素酶法催化改性的反应位点, 对各类木质素的酶法反应能力进行了初步探讨, 以期能对漆酶催化木质素改性的反应机理提供一定的理论指导。

## 1 实验部分

### 1.1 木质素样品制备

云杉碱木质素购自 Sigma 公司; 木质素磺酸盐由亚硫酸盐造纸废液直接喷雾干燥制得, 经过透析后备用; 乙醇木质素制备方法如下: 汽爆麦草经过水洗除糖后, 与 50% 乙醇以 1:10 在高压釜中混合均匀, 180 °C 反应 2 h 后取滤液, 浓缩, 干燥即得到<sup>[10]</sup>; 汽爆麦草碱木质素的制备参照文献<sup>[11]</sup>。

### 1.2 漆酶的制备

内生真菌 Y Y-5 由本课题组筛选得到, 已经保藏于中国科学院微生物菌种保藏中心, 保藏号为 CGMCC 1462<sup>[12]</sup>, 4 °C 保藏于 PDA 斜面培养基上。以麸皮为固体基质进行固态发酵, 26 °C 恒温培养 4 d。以蒸馏水浸提发酵产物抽提胞外酶, 80% 饱和度的硫酸铵对粗酶液进行浓缩, 4 °C 保藏备

收稿日期: 2007-05-10, 修订日期: 2007-08-20

基金项目: 国家重点基础研究“973”计划(2004CB719700)资助

作者简介: 邱卫华, 女, 1979年生, 中国科学院过程工程研究所博士研究生 \* 通讯联系人 e-mail: hzchen@home.ipe.ac.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用。

### 1.3 木质素漆酶酶法改性反应条件

将云杉碱木质素 100 mg 溶于 CTAB 反相微乳液<sup>[13]</sup>中: 十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB) 5.46 g, 正丁醇 8 mL, 异辛烷 5 mL, pH 6.5 的磷酸缓冲液 ( $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 21.6 mL; 乙醇木质素 100 mg 溶于 10 mL 50% 乙醇溶液 (乙醇和 pH 6.5 的磷酸缓冲液 ( $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )) 中; 木质素磺酸盐 100 mg 溶于 10 mL 蒸馏水中; 汽爆麦草碱木质素 100 mg 溶于 10 mL NaOH 溶液中 (pH 10.0,  $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 以  $20 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$  加入漆酶 (以热失活酶液为对照), 通入空气,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  反应 6 h。反应结束后, 以  $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  HCl 调节 pH 使木质素酸析沉淀, 洗涤除去木质素表面残留的酶、表面活性剂及有机溶剂等, 室温真空干燥, 以备下步分析用。

### 1.4 红外光谱测试

木质素及其漆酶催化改性产物的红外吸收光谱分析, 在 American Pekiir Elmer System 2000 上进行测试, 扫描范围:  $4000 \sim 370 \text{ cm}^{-1}$ , 分辨率  $4 \text{ cm}^{-1}$ , 扫描 10 次进行光谱累加, 环境气氛为空气。

### 1.5 凝胶渗透色谱测试

木质素的分子量及其分布的凝胶渗透色谱分析: 美国安捷伦公司 HPLC 2100, VWD 紫外-可见检测器 (Visible wavelength detector), Zorbax PSM 1000S 凝胶色谱柱 ( $6.2 \times 250 \text{ mm}$ ,  $5 \mu\text{m}$ ), 柱温  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , 流动相 THF, 流速  $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 进样体积  $20 \mu\text{L}$ , 以聚苯乙烯 (Sigma) 为标准品。

## 2 结果与讨论

### 2.1 凝胶色谱分析木质素改性前后分子量及其分布

四种木质素的分子量及其分布见表 1。木质素经过漆酶酶法改性后, 分子量均有所增大, 而分子量分散性降低, 说明改性的综合结果是木质素之间发生了一定的均聚反应, 从而使分子量有所增加。而经过漆酶处理后, 碱木质素分子量分散性的降低要高于乙醇木质素和木质素磺酸盐。这可能与各种木质素自身的结构和官能团组成情况有关。耿兴莲<sup>[14]</sup>等利用漆酶对木质素磺酸盐进行生物改性的结果也表明, 漆酶处理后, 磺酸盐的分子量也趋于高分子区域, 且木质素类物质质量增加。这些结果都说明漆酶能够催化木质素自身发生多种反应, 从而对木质素的结构和性质产生影响。

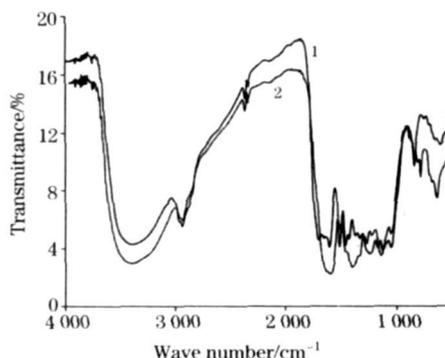
**Table 1 Comparison of weight average (Mw) and Number average (Mn) and polydispersity (Mw/Mn) of the lignin after treated by laccase**

	云杉碱木质素	汽爆麦草碱木质素	乙醇木质素	木质素磺酸盐
改性前				
Mw	1 981	1 813	18 73	1 578
Mn	1 326	1 091	1 023	982
Mw/Mn	1.494	1.662	1.831	1.607
改性后				
Mw	2 583	2 171	2 117	1 935
Mn	1 878	1 793	1 428	1 352
Mw/Mn	1.375	1.211	1.482	1.431

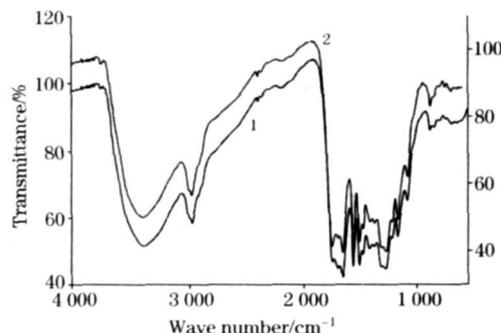
### 2.2 木质素红外光谱结构分析

由于来源及分离纯化方法的不同, 从四种木质素的红外光谱图中可以看出, 它们除了具有一般木质素共同的特征峰外, 还具有各自的特点, 各吸收峰的归属见表 2。经过漆酶处理后的各木质素结构都发生了较大的变化 (图 1~ 图 4)。

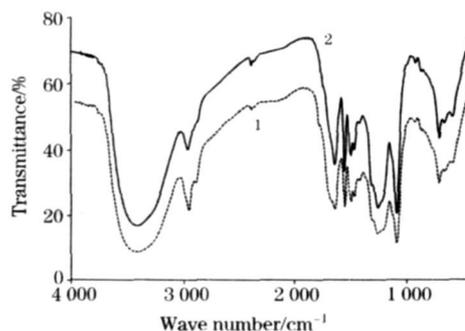
(1) 云杉碱木质素: 经过漆酶处理后  $1701 \text{ cm}^{-1}$  处非共轭羰基峰消失, 而共轭羰基峰由  $1645 \text{ cm}^{-1}$  移动到  $1640 \text{ cm}^{-1}$ , 且强度增强, 推测木质素结构中非共轭羰基转化为羰基峰。 $1372 \text{ cm}^{-1}$  处非醚化的酚羟基峰消失, 在  $1326 \text{ cm}^{-1}$  处形成新的醚键振动的峰;  $1166 \text{ cm}^{-1}$  处醚键的 C—O—C 伸展振动吸收峰和  $1118 \text{ cm}^{-1}$  处芳香环 C—H 面内变形振动峰消失, 在  $1132 \text{ cm}^{-1}$  处形成新的吸收峰, 推测可能是漆酶催化形成



**Fig. 1 FTIR spectra of spruce alkaline lignin**  
1: Control group; 2: Treated by laccase



**Fig. 2 FTIR spectra of alcohol lignin**  
1: Control group; 2: Treated by laccase



**Fig. 3 FTIR spectra of LS**  
1: Control group; 2: Treated by laccase

的新的醚键,且该吸收峰的强度明显增强,因此,可以推测漆酶在催化云杉碱木质素改性时,木质素结构中的羰基,酚羟基及苯环侧链都有可能参加了反应。

(2) 乙醇木质素:  $1\ 645\ \text{cm}^{-1}$  处的共轭羰基峰吸收强度降低;  $1\ 600\ \text{cm}^{-1}$  处木质素芳环苯核的吸收强度增强,  $1\ 369$

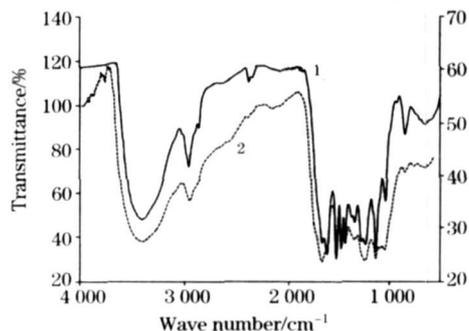


Fig 4 FTIR spectra of steam explosion wheat straw alkaline lignin

1: Control group; 2: T treated by laccase

$\text{cm}^{-1}$  处未醚化的酚羟基伸展振动吸收峰强度降低,而  $1\ 328\ \text{cm}^{-1}$  处紫丁香基木质素的  $\text{C}=\text{O}$  振动吸收强度增强。推测漆酶催化乙醇木质素中的酚羟基发生了醚化反应,使木质素以醚键连接。

(3) 木质素磺酸盐: 漆酶催化木质素磺酸盐最明显的变化是  $1\ 035\ \text{cm}^{-1}$  处酚羟基的吸收峰强度减弱,且  $1\ 459\ \text{cm}^{-1}$  附近的甲基振动减弱,说明木质素磺酸盐的酚羟基参加了酶催化反应。

(4) 汽爆麦草碱木质素: 汽爆麦草碱木质素经过漆酶处理后,共轭羰基的振动谱带  $1\ 650\ \text{cm}^{-1}$  显著增强;  $1\ 362\ \text{cm}^{-1}$  处未醚化的酚羟基吸收强度明显降低,碱木质素中 G 型木质素的  $\text{C}=\text{O}$  在  $1\ 266\ \text{cm}^{-1}$  处的吸收峰消失,而在  $1\ 224\ \text{cm}^{-1}$  处 S 型木质素的醚键  $\text{C}-\text{H}$  振动吸收峰强度显著增强。由此可见漆酶催化木质素的反应位点主要也是在酚羟基及羰基上,同时影响到了木质素的基本组成类型。

上述几种木质素在经过漆酶处理后,  $900\ \text{cm}^{-1}$  吸收峰均有变化,这主要是芳香环的取代基的变化引起的。说明,漆酶催化木质素的反应也可以发生在侧链取代基上。

Table 2 FTIR bands assignment of lignin

归属	红外光谱谱图中波数/ $\text{cm}^{-1}$							
	云杉碱木质素		乙醇木质素		木质素磺酸盐		汽爆麦草碱木质素	
	未处理	漆酶处理	未处理	漆酶处理	未处理	漆酶处理	未处理	漆酶处理
OH stretchy	3 402	3 400	3 368	3 360	3 401	3 401	3 402	3 398
Conjugated ester bond, nonr conjugated $\text{C}=\text{O}$ stretchy	1 701	-	1 701	1 697	-	-	-	-
Conjugated $\text{C}=\text{O}$ stretchy <sup>[15]</sup>	1 654	1 640	1 652	1 652	-	-	1 650	1 652
Stretchy of aromatic	1 602	1 600	1 607	1 607	1 602	1 605	1 597	1 604
Stretchy of aromatic	1 512	1 507	1 516	1 512	1 512	1 510	1 511	1 511
$-\text{CH}_3-$ , $-\text{CH}_2-$ deformation	1 459	1 459	1 459	1 457	1 455	1 459	1 459	1 459
Aromatic methyl group stretchy	1 425	1 400	1 428	1 426	1 422	1 424	1 424	1 424
Nonr etherified phenolic OH groups <sup>[16]</sup>	1 372	-	1 369	1 371	1 371	1 374	1 362	1 362
Syringyl ring breathing with $\text{C}=\text{O}$ stretchy <sup>[16, 17]</sup>	1 326	1 326	1 328	1 328	-	-	1 331	1 331
Guaiacyl and $\text{C}=\text{O}$ stretchy	1 267	1 262	1 267	1 267	1 266	1 264	1 266	-
Syringyl $\text{C}-\text{H}$ stretchy of ester bond	1 219	1 216	1 223	1 223	-	-	1 226	1 228
$\text{C}-\text{O}-\text{C}$ stretchy of ester bond	1 166	-	1 172	1 172	-	1 165	-	-
Aromatic CH ir plane deformation, syringyl type <sup>[18]</sup>	1 118	-	1 121	1 121	-	-	1 125	1 125
Aromatic $\text{C}-\text{H}$ ir plain deformation <sup>[16]</sup>	1 044	1 047	1 035	1 037	1 042	1 042	1 031	1 029

从以上木质素的红外光谱结构和分子量及其分布的分析可以看出,在酶法催化改性中,不同来源和类型的木质素的反应活性是不一样的,这主要在于木质素结构的复杂性及多样性。在几乎所有的脱木质素工艺中,都包含天然木质素共价键的断裂,不同分离方法及分离条件得到的木质素,结构单元之间的连接键型、功能基团组成都有差异,从而使得木质素大分子各部位的化学反应性能很不均一。其中,由于木质素酚型结构的苯环上存在游离羟基,它能够通过诱导效应使其对位侧链上的  $\alpha$  碳原子活化,因而  $\alpha$  位上的反应性能特别强<sup>[19]</sup>。因而,木质素大分子上的酚羟基含量影响着木质素的反应活性。碱木质素在碱性蒸煮过程中部分甲氧基断裂,从而使得分子中含有较多的酚羟基<sup>[20]</sup>,本实验的研究结果也表明,碱木质素在漆酶法催化改性中的反应能力是最强的,从而为充分利用木质素自身的反应能力合成高分子,实

现木质素高值化利用提供了可行性。

### 3 结论

漆酶法改性木质素的反应过程非常复杂,不同来源木质素的反应过程和作用机理明显不同。漆酶处理后,木质素的分子量都趋于高分子区域,而从分子量分布来看,木质素分子量分散性能降低,从而更有利于木质素的利用。而红外图谱的结构分析得出,漆酶催化木质素反应的位点主要是酚羟基,另外,苯环的侧链的取代基(如  $-\text{CH}_2-$  和  $\text{CH}_3$  等)及羰基等也可以参加反应。从目前的实验结果可以看出,YY-5 漆酶可以实现对木质素的改性,尤其是在碱性溶液中对碱溶木质素的作用更加明显,这对我们下一步的研究具有指导作用。但是要探明漆酶催化木质素的反应路径及机理,还需从其他方面做进一步的阐明。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] LÜ Xiaojing, YANG Jun, WANG Dī zhen, et al (吕晓静, 杨 军, 王迪珍, 等). Chemical Industry and Engineering Progress (化工进展), 2001, 20(5): 10.
- [ 2 ] Ciobanu C, Ungureanu M, Ignat L, et al. Industrial Crops and Products, 2004, 20: 231.
- [ 3 ] Cetin Nihat S, Özmen Milgöl. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2002, 22: 481.
- [ 4 ] LI Fengqi, ZHU Shuquan (李凤起, 朱书全). Fine Petrochemicals Industry (精细石油化工), 2001, (2): 15.
- [ 5 ] Yaropolov A, Vartanov S, Varfolomeyev S D. Appl. Biochem. Biotechnol., 1994, 49: 257.
- [ 6 ] Fernaud J R Hernández, Carnicero A, Perestelo F, et al. Enzyme and Microbial Technology, 2006, 38(1/2): 40.
- [ 7 ] Mai C, Schormann W, Hüttermann A. Enzyme and Microbial Technology, 2001, 28: 460.
- [ 8 ] Johannes C, Majcherzyk A. Appl. Environ. Microbiol., 1999, 66: 524.
- [ 9 ] Anderson Guerra, André Ferraz. Enzyme and Microbial Technology, 2001, 28: 308.
- [ 10 ] Chen, Hongzhang, Liu Liying. Bioresource Technology, 2007, 98: 666.
- [ 11 ] Xiao B, Sun X F, Sun Runcang. Polymer Degradation and Stability, 2001, 74: 307.
- [ 12 ] QIU Weirhua, CHEN Hongzhang (邱卫华, 陈洪章). China Patent (中国发明专利) 2005, 200510086586. 9.
- [ 13 ] Liu Junhong, Yuan Weiping, Tao Lo. Electronic Journal of Biotechnology, 1999, 2(2): 82.
- [ 14 ] DI Xinglian, LI Zhongzheng, WANG Chuanghuai, et al (耿兴莲, 李忠正, 王传槐, 等). Chemistry and Industry of Forest Products (林产化学与工业), 1999, 19(1): 11.
- [ 15 ] WU Xirsheng, XIE Yimin, LIU Huarbin, et al (吴新生, 谢益民, 刘焕彬, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2006, 26(6): 1031.
- [ 16 ] Tejado A, Pena C, Labidi J, et al, et al. Bioresource Technology, 2007, 98(8): 1655.
- [ 17 ] CHEN Yurping, CHEN Ruifang, CHEN Xiesu, et al (陈云平, 陈瑞强, 程贤, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2006, 26(10): 1880.
- [ 18 ] Xiao B, Sun X F, Sun Runcang. Polymer Degradation and Stability, 2001, 71: 223.
- [ 19 ] SU Chengshou (苏承寿). Journal of Zhejiang Forestry College (浙江林学院学报), 1990, 7(1): 87.
- [ 20 ] QIU Weirhua, CHEN Hongzhang (邱卫华, 陈洪章). Journal of Cellulose Science and Technology (纤维素科学与技术), 2006, 14(1): 52.

## FTIR Spectra Analysis of the Reactive Activity of Lignin When Modified by Laccase

QIU Weirhua, CHEN Hongzhang\*

State Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract** In company with the development of nonaqueous enzymology, the enzymatic modification of lignin has gained increasing interests, especially in the synthesis of high molecular material. In the present article, the enzymatic modification of spruce alkali lignin in cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) reversed micelles ( $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , pH 6.0, W/O=40), alcohol lignin in ethanol solution (50%), lignin sulphonate in sodium phosphate buffer (pH 5.8,  $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) and steam explosion wheat straw alkali lignin in alkaline solution (pH 10.0,  $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH) by mycelia sterilia YY-5 laccase was studied. Laccase was isolated from Mycelia Sterilia YY-5 (CGMCC-1462) which was an entophytic fungus of *Rhus chinensis* Mill. FTIR spectrum was used to assay the structure of lignins and gel permeation chromatography (GPC) was used to determine the molecular weight and molecular weight polydispersity of lignins. Bands of lignin in FTIR spectra of all lignins changed obviously after treated with YY-5 laccase, which indicated that some bond breakage or rearrangement occurred to lignin. The shift of non conjugated  $\text{C}=\text{O}$  and conjugated carbonyl groups ( $\alpha$  carbonyl groups) stretching vibration, the decrease of phenol hydroxyl stretching vibration and the increase of  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  stretching vibration of ester bond proved that phenolic hydroxyl, carbonyl group and side chain substituent all might participate in the laccase modification reactions of lignin. Meanwhile, the results of GPC indicated that the molecular of lignins all have certain increase and molecular polydispersity decreased. From the point of the molecular mass polydispersity, the modification effect of YY-5 laccase on steam exploded wheat straw alkali lignin and spruce alkali lignin

was more significantly than other two lignins. The molecular mass polydispersity for steam exploded wheat straw alkali lignin and spruce alkali lignin was 1.211 and 1.375 respectively, which might contribute to the alkali stable enzyme for YY-5 laccase. Correspondingly, alkali solution was chosen as the optimum medium for YY-5 laccase to modify lignins.

**Keywords** Laccase; Lignin; Enzymatic modification; Reaction activity; FTIR spectra; Molecular weight distribution

\* Corresponding author

(Received May 10, 2007; accepted Aug. 20, 2007)

## 《光谱学与光谱分析》投稿简则

《光谱学与光谱分析》是由中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的专业学术期刊。国内外公开发行,从2004年起为月刊,大16开本,2008年仍为月刊,每期240页。《光谱学与光谱分析》主要报道我国光谱学与光谱分析领域内具有创新性科研成果,及时反映国内外光谱学与光谱分析的进展和动态;发现并培育人才;推动和促进光谱学与光谱分析的发展。为科教兴国服务。读者对象为从事光谱学与光谱分析的科研人员、教学人员、分析测试人员和科研管理干部。

### 栏目设置和要求

- 1 研究报告 要求具有创新性的研究成果,一般文章以8000字(包括图表、参考文献、作者姓名、单位和中文、英文摘要,下同)为宜。
- 2 研究简报 要求在前人研究的基础上有重大改进或阶段性研究成果,一般不超过5000字。
- 3 评述与进展 要求评述国内外本专业的发展前沿和进展动态,一般不超过10000字。
- 4 新仪器装置 要求介绍新型光谱仪器的研制、开发、使用性能和应用,一般不超过5000字。
- 5 来稿摘登 要求测试手段及方法有改进并有应用交流价值,一般以3000~4000字为宜。

### 稿件要求

- 1 投稿者请经本刊编委(或历届编委)一人或本专业知名专家推荐,并附单位保密审查意见及作者署名顺序,主要作者介绍。文章有重大经济效益或有创新者,请说明,同时注明受国家级基金或国家自然科学基金资助情况。
- 2 来稿要观点明确、数据真实可靠、层次分明、言简意明、重点突出。来稿必须是网上在线投稿(含各种符号和外文字母大写、小写、正体、斜体;希腊字母、拉丁字母;上角、下角标位置应标清楚)。中文摘要以300字为宜,英文摘要以2000字符(相当于300个英文单词)为宜;另附关键词。要求来稿应达到“齐、清、定”,中文、英文文字通顺,方可接受送审。
- 3 为了进一步统一和完善投稿方式、缩短论文发表周期,本刊在2007年7月1日以后,不再接收以邮寄方式或e-mail方式的投稿,只收网上在线投稿。严禁“一稿两投”、“一稿多投”,一经发现,取消三年投稿资格。
- 4 文中插图要求完整,图中坐标、线条、单位、符号、图注等应标注准确、完整。图幅大小:单栏图7.5cm(宽)×6cm(高);双栏图:14cm(宽)×6cm(高);图中数字、图题、表题全部用中文、英文对照,图中数字、中文、英文全用6号字(另请备一份合格的图附在文章的后边)。
- 5 文中出现的单位必须按“中华人民共和国计量标准”及有关GB标准规定缮写。物理量符号一律用斜体,单位符号和词头用正体字母。
- 6 名词术语,请参照全国科学技术名词规定缮写。
- 7 参考文献,采用顺序编码制,只列主要文献;以15~20条为宜。内部资料、私人通讯、未经公开发表的一律不能引用。日文、俄文等非英文文献,请用英文表述;中文文献和中文图书采用中、英文对照表述,文献缮写格式请参照本刊。
- 8 请在投稿第一页左下角写明投稿联系人的电话和两个e-mail,以便及时联系。

### 稿件处理

- 1 自收到稿件之日起,一个月内作者会收到编辑部的稿件处理意见。请根据录用通知中所提出的要求认真修改,希望修改稿在30天内寄回编辑部,并作为作者最终定稿(当作者接到校样时,以此修改稿为准进行校对,请勿再作大的改动),若二个月内编辑部没收到修改稿,将视为自行撤稿处理。
- 2 有重大创新并有基金资助者可优先发表;不录用的稿件,编辑部将尽快通知作者,底稿一律不退,请自留底稿。
- 3 来稿一经发表将酌致稿酬并送样刊两本,本人文章两份抽页。
- 4 遵照“中华人民共和国著作权法”,投稿作者须明确表示,该版权(含各种媒体的版权)授权给光谱学与光谱分析期刊社。国内外各大文献检索系统摘录本刊刊出的论文;凡不同意被检索刊物无稿酬摘引者,请在投稿时事先声明,否则,本刊一律认为已获作者授权认可。
- 5 修改稿请寄:100081北京市海淀区魏公村学院南路76号,光谱学与光谱分析期刊社

电话:010-62182998 或 62181070 传真:010-62181070

e-mail: chngpxygpfx@vip.sina.com; 修改稿专用邮箱: gp2008@vip.sina.com

网址: http://www.gpxygpfx.com