

近红外光谱分析原理及其在牧草航天育种的应用前景

任卫波^{1,3}, 韩建国¹, 张蕴薇^{1*}, 郭慧琴²

1 中国农业大学草地研究所, 北京 100094

2 内蒙古农业大学生物工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018

3 中国农业科学院草质研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要 近红外光谱(NIRS)的定量分析技术是一项高效、快捷检测样品中某种化学成分的分析新方法,近年来在饲料营养价值评估、土壤养分检测等方面得到了广泛的应用。文章简要介绍了NIRS技术产生和探测的基本原理、方法和技术特点,回顾了航天育种的研究进展及其在草类植物上的应用情况,然后从牧草营养成分分析、次生代谢产物预测、病虫害抗性鉴定、非生物胁迫抗性评估4个方面阐述了NIRS分析技术应用与草类植物航天育种的意义和潜在价值。NIRS技术不仅能提高育种选择效率、加快育种进程,还有助于诱变机理研究的深入,将其应用于草类植物航天育种有着重要的理论和实际意义。

关键词 近红外反射光谱法(NIRS); 航天育种; 牧草

中图分类号: S812 文献标识码: A 文章编号: 1000-0593(2008)02-0303-05

引言

近红外光谱技术(near infrared reflectance spectroscopy, 简称NIRS)可利用物质在近红外光谱区特定的吸收特性快速检测样品中某一种或多种化学成分含量^[1],是由Norris等在20世纪70年代开发出来的^[2],具有快速、准确、高效、低成本及同时可检测多种成分(最多可达六种组分)等优点。随着NIRS硬件系统的不断改进和更新,其应用领域不断扩大,由最初的农业领域迅速扩大到食品、医药、化工、纺织、环保等许多领域^[3]。目前,尽管NIRS技术在其他领域发展很快,但其在农业上的应用仍是主要领域^[2]。其中,在植物育种上的应用已成为一个最活跃、最深入的应用领域^[4]。

航天育种是指利用地外空间特殊的环境(如宇宙粒子辐射、微重力等因素)对植物材料进行诱变,通过利用这些诱变来达到品种改良和新品种选育的目的。它是将航天技术、现代生物技术和传统农业育种技术相结合的产物,是一种我国独创的全新的育种理念和方法。然而目前对航天育种诱变机理的研究还处于起步阶段,而且已有的研究从生物学的角度出发的较多。运用NIRS技术对航天育种诱变机理和应用进行研究,不仅进一步拓宽了航天育种机理研究范围,从原子和化学键的层次来揭示航天诱变的规律和原理,还能利用NIRS能快速检测物质组分这一优点,使得从大量材料中快

速筛选有益突变体成为可能,这必将大大加速航天育种的进程,节约大量的人力、物力和财力。已有的研究表明,傅里叶变换红外光谱法(FTIR)可以有效的检测出航天诱变种子与一般的大田种子红外光谱的差异,根据获得的红外光谱信息,对航天种子化学组成变化进行预测,与实际检测结果基本吻合^[5-6]。这些研究表明,将红外光谱技术应用于航天育种研究是很有发展前途的,将NIRS技术与航天育种技术相结合,将会有助于育种学和航天生物学的发展,有着广阔的应用前景。

1 NIRS 分析机理及误差来源

1.1 NIRS 光学原理

近红外光主要是指波长在780~2500 nm范围内的电磁波。近红外光谱是由有机分子振动的倍频或合频能对特定波段电磁波产生吸收而形成的谱带。光谱记录的是有机分子中单个化学键的倍频和合频信息,主要是与H有关的集团,如OH, NH, CH键^[7]。不同种类的化学键,能形成特定的吸收光谱。

近红外光谱主要分为两种:透射光谱和反射光谱。透射光谱(波长范围700~1100 nm)是将待测样品置于光源与检测器之间,检测器检测的光为透射光或与样品分子作用后的光;反射光谱(波长范围1100~2500 nm)指光源与检测器

收稿日期: 2006-09-09, 修订日期: 2006-12-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(30400309)和中央公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国农业科学院草原所)资助

作者简介: 任卫波, 1979年生, 中国农业科学院草原研究所助理研究员 * 通讯联系人 e-mail: zywei@126.com

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

在同一侧,检测器检测的是样品以各种方式反射回来的光。反射光又可分为两种:规则反射与漫反射。其中利用漫反射来进行分析的成为漫反射光谱法,多用于混浊样品和固体颗粒如作物和牧草籽实^[7]。

1.2 NIRS 分析原理

NIRS 是利用被测物质中不同组分在近红外光谱区特殊的吸收光谱,再结合相关的定标方程来达到快速估测样品各组分含量的目的。被测样品的实际光谱是多种组分反射光谱的集合。各组分含量的具体测定是基于各组分最佳波长的选择,并参照标准回归方程来完成的^[8,9]。

$$C_{\text{nirs}} = B_0 + B_1A_1 + B_2A_2 + \dots + B_xA_x$$

$B_0, \dots, B_x$ 为回归系数(也是在第 K 个波长点的吸收常数), $A_1, \dots, A_x$ 为在第 K 个波长点的吸收强度, c_{nirs} 为近红外区光谱分析的某个化学成分含量。

2 NIRS 分析技术的特点

相对于传统化学分析, NIRS 在检测样品成分过程中主要有以下特点^[10, 11]: (1) 保持样品的完整性。NIRS 检测样品成分时不需要破坏样品,也不需要检前处理; (2) 可同时检测一份材料多项指标。在常规化学分析中,检测同一材料的不同组分往往需要不同的检测方法,不仅消耗大量化学试剂,污染环境,而且还消耗大量的样品。NIRS 可一次完成多个组分分析内容,高效快捷,样品用量也少; (3) 操作简单,对测试人员无专业化要求;检测过程也不需要任何化学药品,安全无污染,检测成本低; (4) 随着数据的积累和模型优化,测试范围和精度可不断提高; (5) 可以进行远程分析。由于 NIRS 具有较好的传输性能,可通过光纤进行远离采样现场的样品分析,实现在线分析和远程监控。

3 草类航天育种研究进展

3.1 植物航天育种简介

航天育种是指利用各种返回式空间飞行器(返回式地球卫星、航天飞机、宇宙飞船等)搭载生物种质材料进入空间环境,在空间特殊的物理诱变因素作用下,搭载的生物材料发生变异,返地后,经过地面的精心选择和培育,最终获得新品种的一种高新技术育种^[12, 13]。

近地空间环境具有微重力、高真空、强烈的空间辐射及弱地球磁场。这些特殊条件对进入其中的生物材料具有特殊的复合诱变作用。已有的研究表明,航天育种具有诱变变异频率高、变异幅度大、优良性状稳定快等特点,而且还可以获得一些迄今在地球上尚未出现的变异材料^[14]。因此,开展航天育种技术研究在我国受到了广泛的重视。自 1987 年以来,我国在 17 年内先后 9 次用返回式地球卫星,5 次利用宇宙飞船,5 次利用高空气球搭载了包括水稻、小麦、青椒等上百种植物,吸引了全国 22 个省市 109 个单位参与航天育种工作^[15]。2006 年 9 月我国发射了第一个农业专业育种卫星“实践八号”,搭载了 9 大类 180 组 2 000 余种种子材料升空,其中包括粮食作物、经济作物和饲料牧草作物、微生物

菌种与分子生物学材料。这次搭载的目的在于全面探索航天育种技术的机理、方法和理论,以培育优良物种。

3.2 草类植物航天育种研究现状

草类植物空间搭载最早开始于 1994 年,最先搭载的是紫花苜蓿,沙打旺,红豆草等优良豆科牧草,研究发现三种牧草搭载后代的饲用价值、耐盐、抗旱性等特性皆有不同程度的提高^[16]。进一步分析表明紫花苜蓿和红豆草搭载后叶片中的氨基酸总量和组成都有一定的变化,这说明空间飞行条件对牧草抗逆性和营养品质都有显著影响^[17]。随后十几年来,先后搭载了近 30 种的各类草类植物,包括草坪草(草地早熟禾、高羊茅、野牛草等)和牧草类(冰草、新麦草、鸭茅等)。搭载后均发现有不同程度,不同水平的变异,为进一步的草类品种改良和新品种选育提供了物质基础^[18-20]。

4 NIRS 技术对草类植物航天育种研究的意义

NIRS 分析技术应用于草类植物航天育种的意义主要体现在以下 3 个方面。

(1) 植物原样分析技术。在航天育种早期,往往需要采用单粒分析方法,对 SP2(航天搭载二代种子)进行分析,筛选出理想的单粒种子以备后续世代选择。NIRS 分析采用原样分析测定(无需样品处理和粉碎),仍可用于繁育后代,这对珍贵的航天材料的早期世代筛选,促进航天育种发展无疑是一个巨大的推动。Williams^[21]等在豆类育种中建立了七种豆科植物的蛋白和水分的 NIRS 回归模型,取得很好的相关性,并应用于育种的筛选和分析。Dowell^[22]等用 NIRS 分析整粒小麦的麦角固醇和呕吐性毒素,取得一定的效果。

(2) 改进育种流程加速航天育种进程。NIRS 技术能大量及时筛选每一个育种环境上的突变材料,提高突变体鉴定效率,这对缩小育种规模,减少育种年限,提高育种效率是十分重要的,尤其是育种低世代材料,大多处于遗传分离中,往往需要以单株作为选择单位。育种过程中,单株测试要求做到快速简便且用量少,以确保对数量众多而每份样品量又很少的育种材料进行分析,而 NIRS 刚好有效的解决这一问题,从而为分裂世代单株分析提供了可能^[23]。Velasco^[24]等采用了 3g, 300 mg, 60 mg 三种样品进行 NIRS 分析,对油酸、亚油酸、亚麻酸和芥酸的相关系数分别为 0.95~0.98, 0.93~0.97 和 0.84~0.96。这些定标方程可直接用于单株选择。

(3) 多角度探讨航天育种诱变机理。航天育种的诱变机理实际上是一个物理诱变的过程,也就是说空间各种特殊环境因素,如重粒子辐射、微重力等与搭载材料生物大分子各种化学键相互作用的过程。然而常规的航天诱变机理研究主要是从生物学角度来分析研究的,很难揭示航天诱变的物理学本质,难以揭示诱变内在的规律性。NIRS 分析技术为我们提供了新的研究工具,通过对搭载材料和对照材料的 NIRS 对比分析,从而发现那些化学键容易受到空间飞行因素的影响,可以导致生物诱变的产生。通过 NIRS 技术,可以从多角度多层次地了解航天诱变的机理。这对彻底揭开航

天育种机理奥秘, 指导航天育种工作有着重要的理论和应用意义。

5 NIRS 在草类航天育种上的应用及其前景

5.1 牧草营养品质改良

牧草营养品质改良是草类植物航天育种的主要目标之一。然而在品质育种过程中, 需要对海量的种质材料进行相关组分分析, 常规的化学检测方法不仅效率低而且往往消耗大量的检测样品, 这在低世代育种材料较少的时候更是相当棘手。研究表明, NIRS 分析牧草营养品质包括 CP, NDF, ADF, IVMD(干物质消化率)的结果非常准确^[2]。迄今为止, 牧草营养品质测定已成为 NIRS 应用最多、最成熟的领域^[25-27]。使用 NIRS 对航天育种材料进行营养组分检测分析, 可迅速了解育种材料的品质, 及时决定材料取舍, 从而避免了育种的盲目性, 为育种工作赢得时间, 同时也节省大量的人力和物力。值得一提的是在检测分析育种后代材料时, 工作量往往非常大, 此时主要是想知道每份材料的品质优劣状况, 对其精确度要求并不很高, 所以可以适当减少对每份材料的扫描时间, 提高检测分析效率。

5.2 次生代谢产物分析

草类植物种类繁多, 大多数能产生一些次级代谢产物如单宁、芳香类等物质, 这些化学产物会影响家畜的适口性和消化能力, 还有一定的药用及其他附属经济价值。因此检测特殊次生代谢产物的含量, 选择含附加值高的次生代谢产物突变材料在航天育种上也有一定价值。Windham 和 Roberts^[28, 29]等用 NIRS 成功预测了牧草中单宁的含量, 与甲醇提取法检测结果相关系数为 0.91; Clark^[30]等建立了稳定的牧草总生物碱预测模型。这说明用 NIRS 检测育种材料中某些次生代谢产物是可行的。Velasco^[31, 32]等曾应用 196 份样品建立芥子酸酯(SAE, 油菜籽有毒成分) NIRS 分析模型, 对芸苔属 21 个种 1487 份材料和甘蓝型油菜 1361 份材料进行测定, 分别筛选出 SAE 含量低的 112 和 75 份材料, 应用常规方法验证, 预测效果非常好。

5.3 抗病虫害能力分析

提高植物的抗病虫能力, 不仅可以有效的减轻病虫害, 降低经济损失, 还可以减少农药用量, 保护环境。常规方法鉴定抗病虫能力, 具有操作复杂和周期长的缺点。应用

NIRS 分析技术测定植物体内与抗病虫相关的某些化学成分的含量变化就可以间接的鉴定抗病性, 从而快速高效地筛选育种材料。如植物几丁质酶与植物真菌抗性相关。Roberts^[33]等完成了酥油草几丁质酶的红外定标方程, 成功地应用 NIRS 技术对该草几丁质酶含量变化进行了检测; Rutherford^[34]等研究甘蔗茎表面蜡粉对螟蛾的抗性过程中, 建立的预测模型包括全部抗性变异的 54%, 茎表面醇羟基与抗逆有很高的相关性。吴秀琴^[35]等利用 NIRS 分析测定谷子品种抗栗芒蝇能力, 结果与田间鉴定结果吻合率达 94.7%。

5.4 抗非生物胁迫环境(旱、寒、盐碱)能力分析

草类植物一般生长在环境较恶劣的环境中, 植物的抗逆境能力比其他作物如小麦、水稻更为重要。研究表明, 航天育种可以提高草类植物的抗逆境能力^[17], 但采用常规的方法鉴定抗旱、寒、盐能力, 需要高成本的人力物力, 鉴定周期长。利用 NIRS 及时检测与抗逆相关的关键性化学成分含量也可以达到鉴定搭载材料抗逆性的效果。研究表明, 植物遇到干旱、盐碱、低温等逆境时, 游离脯氨酸^[36, 37]、脱落酸(ABA)^[38, 39]含量明显增加。通过用 NIRS 技术检测植物体内游离脯氨酸、ABA 含量可以间接的反映植物的抗逆境能力。利用 NIRS 技术预测植物体内某种氨基酸变化已有成功的报道^[40], 这无疑为其在抗逆能力选择的应用上提供了参考。

6 总 结

NIRS 应用于饲草营养分析、草坪管理及土壤养分分析、草类植物样品组分分析等方面取得了很大的进展^[41, 42]。据不完全统计, 用 NIRS 法分析的植物已涉及 36 个属, 包括谷物、豆类、蔬菜、牧草和经济作物等上百种植物^[23]。已分析过的植物组织包括叶、茎、全株和谷粒等, 所测品质指标已多达几十种, 包括水分、蛋白、纤维、淀粉、糖分、脂肪、灰分等, 其中牧草粗蛋白、酸性洗涤纤维等 NIRS 的分析已被国际标准化委员会认可^[23]。NIRS 法所测定的植物类型和指标有不断扩大的趋势, 如有报道用 NIRS 分析估算牧草的矿质元素和微量元素^[43, 44]。但是如何充分利用 NIRS 技术于草类植物育种的基础研究尚不充分, 尤其是如何更好地将 NIRS 技术与新兴的航天育种技术更好的结合, 还需要进一步深入和广泛的研究。我们相信将 NIRS 技术应用于草类植物航天育种是非常必要的, 有着重要的理论和现实意义。

参 考 文 献

- [1] ZHANG Zr yi, CHEN Xue xiu, REN Peng(张子仪, 陈雪秀, 任 鹏). Analytical Technology of Near Infrared Spectroscopy(近红外光谱分析技术). Beijing: China Agricultural Press(北京: 中国农业出版社), 1992.
- [2] Norris K H, Barnes R F, et al. J. Animal Sci., 1976, 43(4): 897.
- [3] Williams P C, Norris K H. Near-Infrared Technology: In the Agricultural and Food Industries, St. Paul. Minn: American Association of Cereal Chemist, 2001. 43.
- [4] Batten G D. Australian J. of Experimental Agriculture, 1998, 38(7): 697.
- [5] WANG Yi lin, YANG Qun, YANG De(王怡林, 杨 群, 杨 德). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(6): 1057.
- [6] YANG Qun, WANG Yi lin, YANG Ai ming, et al(杨 群, 王怡林, 杨爱明, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(3): 438.

- [7] SU Cāi zhu, YIN Ping-he(苏彩珠, 尹平河). Phys. Tes. and Chem. Anal. Part B: Chemistry(理化检验—化学分册), 2003, 39(2): 126.
- [8] Norris K H. Applied Spectroscopy Reviews, 1992, 27(4): 325.
- [9] Williams P C. Cereal Chem., 1982, 59: 473.
- [10] XU Guang-tong, YU AN Hong fu, LU Warr zhen(徐广通, 袁洪福, 陆婉珍). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2000, 20(2): 134.
- [11] FAN Shì fu(范世福). Analytical Instrumentation(分析仪器), 1991, (3): 83.
- [12] Cyranoski D. Nature, 2001, 410: 857.
- [13] Dennis N, Ding Y M. Science, 2002, 296: 1788.
- [14] JIANG Xir cun(蒋兴村). Satellite Application(卫星应用), 1996, 4(3): 21.
- [15] M I Shì jun, HAO Zā bīn(密士军, 郝再彬). Heilongjiang Agricultural Science(黑龙江农业科学), 2002, (4): 31.
- [16] LI Cong, WANG Zhaoqing(李 聪, 王兆卿). Pratacultural Sci. (草地学报), 2002(supp.), 61.
- [17] Xu Y Y, Jia J F, Wang J B, et al. Grass and Forage Science(草业科学), 1999, 54: 371.
- [18] HAN Lei, SUN Zherr yuan, et al(韩 雷, 孙振元, 等). Pratacultural Science(草业科学), 2004, 21(5): 17.
- [19] REN Weibo, HAN Jiarr guo, ZHANG Yurr wei, et al(任卫波, 韩建国, 张蕴薇, 等). Acta Agrestia Sinica(草地学报), 2006, 14(2): 112.
- [20] REN Weibo, HAN Jiarr guo, ZHANG Yurr wei, et al(任卫波, 韩建国, 张蕴薇, 等). Pratacultural Science(草业科学), 2006, 23(3): 72.
- [21] Williams P C, Stevenson S G, et al. J. Sci. Fd. Agric., 1978, 29: 285.
- [22] Dowell F E, Ram M S, Seitz L M. Cereal Chemistry, 1999, 76(4): 573.
- [23] WU Jiarr guo, SHI Churr hai(吴建国, 石春海). J. Plant Genetic Resources(植物遗传资源学报), 2003, 4(1): 68.
- [24] Velasco L, Becker H C. Euphytica, 1998, 101: 221.
- [25] Coleman S W, Murray I. Animal Feed Science and Technology, 1993, 44: 237.
- [26] Flinn P C, Heazlewood P G. RIRDC Publication, 2000.
- [27] Brown W F, Moore J E, Kunkle W E, et al. Journal of Animal Science, 1990, 68: 1416.
- [28] Windlham W R, Fales S L, Hoveland C S. Crop Sci., 1998, 38: 705.
- [29] Roberts C A, Beuselinck P R, et al. Crop Sci., 1993, 33: 675.
- [30] Clark D H, Ralphs M H, Lamb R C. Agron. J., 1987, 79: 485.
- [31] Velasco L, Matthaus B, Mollers C. Crop Sci., 1998, 38: 1650.
- [32] Velasco L, Mollers C. Crop Sci., 1998, 38: 1645.
- [33] Roberts C A, Marek S M, Wang L, et al. Crop Science, 1994, 34: 1070.
- [34] Rutherford R S, Van S J. J. Chem. Ecology, 1996, 22: 681.
- [35] WU Xirr qin, JIN Dā sheng, LIU Xirr ming(吴秀琴, 金达生, 刘旭明). Journal of China Agriculture Science(中国农业科学), 1995, 28: 92.
- [36] Wang S M, Wan C G, Wang Y R. J. Arid Environments., 2004, 56: 525.
- [37] Singh T N. Nature New Biol., 1972, 236: 188.
- [38] Borman H C, Janshan E V N. J. Physiol. Plant., 1980, 48: 491.
- [39] Lachno D R, Baker D A. Physiol. Plant, 1986, 68: 215.
- [40] Wu J G, Shi C H, Zhang X M. Field Crops Res., 2002, 75(1): 1.
- [41] Halgerson J M, Sheaffer C C, Hesterman O B, et al. Agron. J., 1995, 87: 1227.
- [42] Hattey J A, Sabbe W E, Basten G D, et al. Soil Sci. Plant Anal., 1994, 25: 1185.
- [43] Clark D H, Cary E E, Mayland H F. Agron. J., 1989, 81: 91.
- [44] Clark D H, Mauland H F, Lamb R C. Agron. J., 1987, 79: 485.

Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy in Grass Breeding with Space Flight Mutagenesis

REN Weibo^{1,3}, HAN Jiarr guo¹, ZHANG Yurr wei^{1*}, GUO Hurr qin²

1. Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2. Institute of Bioengineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China

3. Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Huhhot 010010, China

Abstract Near infrared reflectance spectroscopy is a new fast and efficient analysis method. It has been widely used in many areas such as evaluation of feedstuff, assessment of soil fertilizer and so on. In the present paper, the principle, technique method and merits of NIRS were introduced. The potential application of NIRS in grass breeding with space flight mutagenesis was discussed in areas such as analysis of grass nutrition, estimate of secondary metabolism compounds, forecast of disease and insects resistance, and evaluation of abiotic stress. The conclusion is that application of NIRS in grass breeding with space mutagenesis is significant in both academic and technical areas because it not only improves the efficiency of mutation selection but helps uncover the mechanism of space mutation breeding.

Keywords NIRS; Space mutation breeding; Grass

* Corresponding author

(Received Sep. 9, 2006; accepted Dec. 16, 2006)

第十五届全国分子光谱学学术会议 (第一轮通知)

由中国光学学会和中国化学会主办, 清华大学、北京大学、北京师范大学、北京理工大学、中国林业科学研究院联合承办的“第 15 届全国分子光谱学术报告会”, 将于 2008 年 10 月 17~20 日在北京清华大学召开。

这次会议正值中国分子光谱会议走过三十年的历程, 会议将本着继往开来、与时俱进的精神, 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。届时我们将邀请国内外的知名专家学者到会作学术报告, 同时还邀请在分子光谱界作出突出贡献的老前辈共庆我国分子光谱 30 年来取得的成就, 这次会议是我国在分子光谱学术领域层次最高, 学术信息容量最大, 参加人数最多的一次盛会。

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催化及表面/界面科学、分析化学、生物科学、医学、药学、新材料、矿物、农林、地学、工业过程、环境和其它领域的创新性基础和应用研究。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 4500 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》以增刊形式全文发表。
5. 论文摘要截稿日期: 2008 年 4 月 30 日, 若以信件方式投稿, 日期以邮戳为凭。

论文提交方式

欢迎大家通过网站提交论文, 请您注册登陆我们的会议和中国光谱网(网址为: <http://chem.tsinghua.edu.cn/ncms15/>; <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, 您可在网上浏览对您论文的评审结果和修改意见。

您也可以通过电子邮件和邮寄的方式提交论文。若电子邮件, 请发往: sunsq@chem.tsinghua.edu.cn; 若以信件方式投稿, 信封上请注明“第十五届全国分子光谱学学术会议征文”字样; 收稿地址: 100084 北京海淀区清华园; 清华大学化学系; 孙素琴收。

报告形式

会议报告将分为以下几种形式:

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。
2. 论坛主题报告: 本次会议将选择光谱技术的热点应用领域, 开设多个专题论坛, 邀请在该领域的知名专家作论坛主题报告。

(下转 312 页)