

# 光谱技术在草地土壤检测中的应用和展望

孙跃春<sup>1,2</sup>, 王堃<sup>1\*</sup>

1. 中国农业大学动物科技学院草业科学系, 北京 100094
2. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319

**摘要** 光谱技术检测具有、省时、成本低、可以无损伤、直接分析等特点, 可以同时检测多种土壤成分、在野外检测具有实时性。文章对光谱技术应用于检测草地土壤水分含量、土壤有机质、各种营养元素、土壤质地等方面进行了总结, 使用该技术可以及时快捷获取各种土壤数据, 有效提高草地管理水平。当前需要解决的问题是对草地植物地下生物量的检测, 这对于预测牧草生长状况具有重要作用。另外, 能够应用于野外检测草地土壤的光谱仪器还不多, 需要开发更多便携式、可野外使用的实时检测仪器。

**关键词** 光谱; 草地; 土壤; 检测

中图分类号: S812.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0593(2007)10-2017-05

## 引言

近年来由于草地超载过牧和气候变化等因素, 造成草地退化、沙化严重。随放牧强度的增加, 牲畜对土壤的践踏加剧, 导致土壤紧实度增加, 容重上升, 含水量下降。草地土壤的有机质、有效 N 和有效 P 含量都随放牧强度的增加而减少<sup>[1]</sup>。由于过牧造成的土壤退化表现出一定的滞后性、弹性和复杂性, 当土壤退化达到一定程度, 往往比地上植被更难恢复<sup>[2,3]</sup>。土壤退化往往表现不直观, 难于发现, 实验室对其检测由于需要较长的时间, 检测成本高, 操作复杂等原因, 因此监测难度较大。近年来随着光谱技术在草坪<sup>[4,5]</sup>和放牧管理<sup>[6-8]</sup>中的应用, 这一问题逐步得到解决。

## 1 光谱技术的特点

在仪器分析中, 有一类依据物质发射、吸收电磁辐射以及物质与电磁辐射的相互作用而建立起来的分析方法, 其中通过辐射能与物质组成和结构之间的内在联系及表现形式, 以光谱测量为基础形成的方法称为光谱法, 根据变化的能量以电磁辐射的形式释放和吸收, 可分为发射光谱和吸收光谱<sup>[9]</sup>。在土壤检测上红外的应用较多, 特别是近红外, 近年来国外也将紫外、可见光等用于土壤检测的研究<sup>[10-12]</sup>。

光谱法用于土壤检测具有以下特点: 首先可以达到宏观尺度与微观尺度的有效结合<sup>[13]</sup>, 通过卫星和飞机搭载的光

谱遥感器可从宏观尺度监测土壤状况, 结合地面光谱技术可对土壤水分、养分、质地等进行实时和大批量分析, 宏观与微观结合, 获取的草地土壤信息量大, 覆盖面宽, 而且不会对草地造成人为破坏。其次是时效性强, 分析速度快, 可实现在线或实时分析。另外操作简单, 成本低, 多组分可同时测定, 通过一次全光谱扫描, 即可获得样品中各种化学成分的光谱信息, 操作中样品不需预处理, 在测定光谱时不破坏或消耗样品, 可重复检测。因此, 光谱技术在草地土壤检测方面潜力是巨大的<sup>[14,15]</sup>。

## 2 对土壤水分的监测和检测

我国草地多数在降雨量少、有效积温较低的地区。由于降雨量不足, 限制草地植物生长, 从而造成超载过牧是草地退化的重要原因。在宏观尺度上通过热红外遥感技术, 获取植物表面温度、空气温度和土壤温度及其它因素的信息, 进而通过模型计算土壤含水量, Shih<sup>[16,17]</sup>等测定了 0.15~1.5 m 不同深度的含水量, 所得相关系数为 0.64~0.80。当前随着计算机技术和仪器设备的进步, 热红外遥感监测土壤水分含量的精度不断提高。常用方法是热惯量法和温度植被指数法。热惯量法估算精度高, 简单易行, 但只适用于裸露或植被覆盖度低的地区, 并且存在卫星数据难于获取的局限性。温度植被指数法适用性广, 但计算过程较复杂, 且某些参数难于及时获得。相对来说, 植被稀疏区宜采用热惯量法, 植被郁闭区则宜采用温度植被指数法。在未来, 随着遥感传感

收稿日期: 2006-11-06, 修订日期: 2007-02-12

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA10Z250)资助

作者简介: 孙跃春, 1970年生, 中国农业大学动物科技学院草业科学系在读博士生 \* 通讯联系人 e-mail: wangkun@cau.edu.cn

器性能的改进,多种技术的综合应用,特别是热红外技术与微波技术的结合应用,将会显著提高土壤水分含量遥感监测的精度<sup>[18]</sup>。

在实验室和野外地面检测中,由于纯水 O—H 伸缩振动的一级泛频约在 1 440 nm,二级泛频在 960 nm,两个合频分别在 1 940 和 2 200 nm 附近<sup>[19]</sup>。Bowers<sup>[20]</sup> 等用 1 400, 1 900 和 2 200 nm 反射波长准确测量了土壤水分含量。Dalal<sup>[21]</sup> 等测量土壤水分所用波长为 1 926, 1 954 和 2 150 nm。由于土壤物质和水分之间的相互影响,土壤水分在近红外的吸收峰位置会发生漂移,这是实际测量时近红外筛选出的波长与纯水吸收峰位置不完全一致的原因。同时他们还发现土壤粒度大小对预测土壤水分、有机碳及总氮量有影响,标准差显示粗粒土样大于细粒土样<sup>[13,14]</sup>。Ber Dor<sup>[22]</sup> 等用近红外光谱仪预测以色列土壤吸湿水分含量,最佳预测效果所需光谱点为 25~63 个之间。彭玉奎<sup>[23]</sup> 等用近红外预测黄土土壤水的检验相关系数可达 0.969。Chang<sup>[24]</sup> 等用红外预测了土壤水分含量、检验决定系数  $R^2 > 0.8$ 。Bullock<sup>[25]</sup> 等在 1 940 nm 小体积土壤中的水分含量时将探针直接与土壤接触,  $R^2 = 0.85$ ,表明在小体积土壤水分含量测定中的可行性。张小超<sup>[26]</sup> 等认为红外光谱技术完全可用于精细农业的土壤水分测定。光谱技术除了对土壤水分有较好的检测结果, Kumar<sup>[27]</sup> 等用热红外还检测了蓖麻在干旱环境下的吸水能力,通过遥感检测植被温度和干旱胁迫的天数和胁迫程度的关系,检测植物的吸水能力,得到的结果虽然不是很理想(相关系数为 0.65 和 0.61),但作者认为需进一步实验,以提高精度和在其他环境条件下及在其他作物上进一步检验。相信随着技术的提高,光谱技术在植物对干旱胁迫的反应所得数据,对于草地植物耐旱评价、补播植物种类选择上具有较高的应用价值。

### 3 对土壤有机质的检测

土壤有机质是土壤肥力的重要标志之一。大部分土壤有机质具有复杂而较为稳定的结构,能与金属离子和粘土矿物等形成有机—无机复合物,对土壤结构和养分保蓄等方面起着良好的作用。土壤腐殖质还具有吸附、交换和络合的能力,在环境保护和工业上也有着广泛的用途。土壤有机质通过化学方法可以分成非腐殖质物质、胡敏酸、富里酸和胡敏素<sup>[28-30]</sup>。在利用光学遥感定量土壤有机质光谱响应特性研究中,利用 V F991 地物光谱测量仪对 8 个不同环境条件下形成的土壤样本剖面上的各个土层进行光谱测量,得到各个土层的反射率光谱曲线,并测出各个土层的有机质含量。通过研究土壤的有机质含量与土壤反射光谱间的相关性分析,发现有机质含量与土壤光谱在紫外区的 376.795 nm 波段、可见光区的 616.506 nm 波段和近红外区的 724.097.5 nm 波段附近有较好的负相关性<sup>[28]</sup>。Price<sup>[31]</sup> 用可见光和近红外测定表明检测土壤中的有机质准确率达 86.6%。Arocena<sup>[32]</sup> 等在野外利用红外和 X 射线微衍射结合仪测定了土壤中有有机质的含量,在 1 735 和 1 785  $\text{cm}^{-1}$  有明显的谱带, X 射线发现了有机质团块中的晶体,并且证明这种方法可以直接测定室外土壤中的有机质。通过光谱检测,腐殖酸的结构以

—COOH, —OH 和 C=O 等含氧官能团为主。这意味着在腐殖质形成过程中,氧化作用占主导地位<sup>[33]</sup>。于飞健<sup>[34]</sup> 等研究用近红外检测土壤有机质,检验结果表明用粒度为 0.15 mm 土样有机质光谱预测值和化学分析值的相关决定系数为 0.9641,认为这种方法检测土壤有机质是可行的。Dalal<sup>[21]</sup> 等用近红外预测澳大利亚土壤有机碳,用 1 744, 1 870 和 2 052 nm 波长取得了良好结果。Wagner<sup>[35]</sup> 等预测土壤有机质的检验结果很好( $r^2 = 0.91$ )。Dick<sup>[36]</sup> 等采用有机质各种成分加减处理比较了色散型红外光谱法和傅里叶变换红外法的检测结果,实验表明用色散型红外光谱法测定有机质更准确。总之,用光谱测定有机质含量是可行的,随着对有机质结构认识的深入,其准确度将进一步提高。

### 4 土壤氮、磷、钾含量和其他元素的检测

氮、磷和钾是植物从土壤中吸收利用量最多的三种元素,它们在土壤中的含量和有效性是反映土壤肥力的重要指标。氮肥对植物的生长至关重要,但氮肥应用过量时会造成水污染,准确检测氮肥含量,可以提高利用率和减少水土污染<sup>[37]</sup>。Linker<sup>[38]</sup> 等,用中红外傅里叶变换衰减全反射法 (FTIR ATR) 直接测定土壤团粒中氮的含量,根据土壤种类、碳酸盐含量和土壤粘土含量将土壤分类,得到了较准确的氮含量,之后其工作组<sup>[39]</sup> 进一步研究在检测硝态氮时,检验结果  $r^2$  达到了 0.98,标准误差达到了  $5 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  之内,而且所得模型与土壤质地等无关,具有较广泛的应用性。由于光谱分析技术能够完成一次扫描对多种元素的测量, Rossel<sup>[40]</sup> 等联合使用可见光、近红光和中红外对土壤进行检测,结合表明同时合并使用这三个范围的光对测定土壤中的硝态氮、有效 P 和可交换 K 方面是有提高的,中红外在测定有效 P 和可交换阳离子方面更准确,而近红外在测定可交换 K 上准确性好。Mouazen<sup>[40]</sup> 等用可见光和近红外检测表明,在野外湿土条件下波长长于 1 700 nm 对于检测土壤有效 P、可交换阳离子、K 和 Ca 的精确方面意义不大,但可以提高总氮和总碳的精确度(在 350~2 500 nm 范围内)。Pirie<sup>[12]</sup> 比较了紫外、可见、近红外和中红外的漫反射光谱,在测定土壤 pH、有机碳、可交换阳离子和可交换 Ca 和 Mg 等,认为用中红外测定更准确。总之,用光谱测定土壤各种元素是可行的,但相关仪器需要提高精度和便携性。

### 5 对土壤其他性状的检测

除了对有机质和土壤营养元素可以用光谱技术快速检测外,对于土壤质地、微生物、土壤呼吸等,光谱技术都能进行检测。草地管理中不同土壤质应采取不同管理措施, Mouazen<sup>[40]</sup> 等用可见—近红外光谱和阶乘判别式分析法对不同粒级的土壤进行了检测,发现正确分类可达 89.9%,对砂土、壤土和粘土能够较好的分类,而且所用仪器可在对含水土壤野外实时行走式分析,具有较高的应用价值。牲畜在放牧过程中会对草地进行践踏,导致土壤紧实度增加,限制根

的生长和水分的渗透,进而抑制牧草生长。Ahmad<sup>[41]</sup>等将土壤硬度计与红外反射技术结合,可以同时测定土壤水分、密度和粘土含量,从而对土壤由于物理性质改变,影响植物生长的原因可以更明确分析和认识。Kamrunnahar<sup>[42]</sup>等用紫外、可见和近红外反射光谱同时测定了土壤的 pH 值、有机碳、可交换阳离子和钙、镁离子等,通过主成分回归分析法建立的模型,对以上成分都有很好的预测。Piccolo<sup>[43]</sup>等对通过核磁共振和红外光谱共同作用测定土壤中的活性物质研究进行了综述。

## 6 光谱技术在草地土壤管理上的展望

光谱技术是一个“睡着的巨人”<sup>[44]</sup>,通过光谱仪器方面的、草业方面的和电脑方面的专业人员合作研究,定能取得丰硕的成果。现代光谱技术已经用于草地地面生物量的监控<sup>[45]</sup>,土壤检测和草产品和农产品检测<sup>[6,15,46]</sup>等方面。当前在草地管理上需要解决的一个重要问题,是如何对草地植物

地下生物量进行无破坏、快速、大面积的进行测定。由于草地植物主要是多年生的,在对过牧草地研究中发现,由于过牧,植物地下生物量减少,入土深度变浅,抗寒性、吸收能力降低。地上生物量和地下生物量有很好的相关性<sup>[47,48]</sup>,现在通用的地下生物量的检测是采用挖掘,水洗或过筛<sup>[49]</sup>,然后烘干测定其生物量,劳动强度大,效率低,对草地破坏严重,对地下生物量的测定不能大量进行。通过对埋设地雷红外探测<sup>[50]</sup>、对地下地上作物残留物的检测和对绿肥在土壤中的转化等研究<sup>[51,52]</sup>证明,通过光谱技术对地下生物量测定的研究开发具有较高的可行性。通过这项技术如果能够及时了解地下生物量在各层土壤中的分布和生长状况,另外结合土壤肥力、含水量和降雨量等指标可以对地上(下一生长季)的生物量有较好的预测,从而可以确定合理的载畜量,提高草地管理水平和草地利用率。当前,光谱技术在草地土壤管理上的仪器设备还处于起步阶段,便携式的、可在田间野外用的还不多,相应的软件还不成熟,相信随着光谱技术在草地上的广泛应用,草地管理水平将上一个新台阶。

## 参 考 文 献

- [1] RONG Yur ping, HAN Jiar guo, WANG Pei, et al(戎郁萍, 韩建国, 王培, 等). Grassland of China(中国草地), 2001, 23(4): 47.
- [2] FAN Chur mei, LIAO Chaoying, LI Pei yu, et al(范春梅, 廖超英, 李培玉, 等). Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2006, 39(7): 1501.
- [3] WANG Dong bo, CHEN Li(王东波, 陈丽). Inner Mongolia Sciencetech and Economy(内蒙古科技与经济), 2006, (05X): 105.
- [4] Couillard A, Turgeon A J, Shenk J S, et al. Crop Science, 1997, 37(5): 1554.
- [5] WANG Jiar zhen(王加真). Grassland and Turf(草原与草坪), 2005, (2): 15.
- [6] PENG Yur kui(彭玉奎). Shaanxi Agricultural Science(陕西农业科学), 2001, (3): 25.
- [7] Shepherd K D, Palm C A, Gachengo C N, et al. Agronomy Journal, 2003, 95(5): 1314.
- [8] Cohen M J, Dabral S, Graham W D, et al. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, 116(1/3): 427.
- [9] LI Mir zhan(李民赞). Technology of Spectroscopy and Its Applications(光谱分析技术及其应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006. 2.
- [10] Mouazen A M, Baerdemaeker J de, Ramon H. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2006, 14(1): 189.
- [11] Rossel R A V, Walvoort D J J, McBratney A B, et al. Geoderma, 2006, 131(1/2): 59.
- [12] Pirie A, Balwant Singh, Kamrunnahar Islam. Australian Journal of Soil Research, 2005, 43(6): 713.
- [13] HE Xur sheng(何绪生). Chinese Journal of Soil Science(土壤通报), 2004, 35(4): 487.
- [14] HE Xur sheng(何绪生). Review of China Agricultural Science and Technology(中国农业科技导报), 2004, 6(4): 71.
- [15] CAO Gan(曹干). Guangdong Agricultural Science(广东农业科学), 2004, (supplement): 26.
- [16] Shih S F, Harrison D S, Smajstrla A G, et al. Proceedings of Soil and Crop Science Society of Florida, 1991, 50: 158.
- [17] Shih S F, Jordan J D. Water Resources Bulletin, 1992, 28(4): 713.
- [18] XUE Hui, NI Shaoyang(薛辉, 倪绍祥). Agricultural Research in the Arid Areas(干旱地区农业研究), 2006, 24(6): 168.
- [19] PAN Shey yuan, LU Guo quan(潘沈元, 陆国权). China Agricultural Science(中国农业科学), 1994, 27(6): 87.
- [20] Bowers S A, Hanks J. Soil Science, 1965, 100: 130.
- [21] Dalal R C, Henry R J. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50: 120.
- [22] Bendor E, Banin A. Soil Science Society of America Journal, 1995, 59(2): 364.
- [23] PENG Yur kui, ZHANG Jiar xin(彭玉奎, 张建新). Transaction of Soil(土壤学报), 1998, 35(4): 554.
- [24] Chang Chengwen, Laird D A, Mausbach M J, et al. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65: 480.
- [25] Bullock P R, Li X, Leonardi L. Canadian Journal of Soil Science, 2004, 84(3): 333.
- [26] ZHANG Xiaochao, WANG Yiming, FANG Xiara, et al(张小超, 王一鸣, 方宪法, 等). Transaction of Agricultural Mechanization Sciences(农业机械), 2002, 33(6): 125.
- [27] Kumar P V, Ramakrishna Y S, Rao B V R, et al. Agricultural Water Management, 1999, 39(1): 69.
- [28] SHA Jir ming, CHEN Peng cheng, CHEN Song lin(沙晋明, 陈鹏程, 陈松林). Research of Soil and Water Conservation(水土保持研究), 2003, 10(2): 21.

- [29] ZHU Yan, LI Ai-min, LI Chao, et al(朱燕, 李爱民, 李超, 等). Environmental Chemistry(环境化学), 2005, 24(3): 288.
- [30] LIANG Chong-shan, LIU Cong-qiang, DANG Zhi(梁重山, 刘丛强, 党志). Soil(土壤), 2001, 33(3): 154.
- [31] Price R R, Hummel J W. American Society of Agricultural Engineers, 1994, (10): 18.
- [32] Arocena J M, Pawluk S, Dudas M J, et al. Canadian Journal of Soil Science, 1995, 75(3): 327.
- [33] WU Jing-gui, XI Shi-quan, JIANG Yan(吴景贵, 席时权, 姜岩). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 1998, 18(1): 52.
- [34] YU Fei-jian, MIN Shu-rong, JU Xiao-tang, et al(于飞健, 闵顺耕, 巨晓棠, 等). Chinese Journal of Analysis Laboratory(分析实验室), 2002, 21(3): 49.
- [35] Wagner B, Gutser R, Schmidhalter U. Food Security and Sustainability of Agro Ecosystems. Mulden, USA: Blackwell Publishing House, 2001. 1.
- [36] Dick D P, Santos J H Z, Ferranti E M, et al. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 2003, 27(1): 29.
- [37] LI Xue-wen, JIN Lan-shu, LI Tao(李学文, 金兰淑, 李涛). Anhui Agri. Sci. Bull.(安徽农学通报), 2006, 12(5): 61.
- [38] Linker R, Weiner M, Shmulevich I, et al. Biosystems Engineering, 2006, 94(1): 111.
- [39] Jahn B R, Linker R, Upadhyaya S K, et al. Biosystems Engineering, 2006, 94(4): 505.
- [40] Mouazen A M, Karoui R, Baerdemaeker J de, et al. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2005, 13(4): 231.
- [41] Ahmad I S, Hummel J W, Sudduth K A, et al. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture. Madison USA: American Society of Agronomy, 2001. 1.
- [42] Kamrunnahar Islam, Balwant Singh, McBratney A. Australian Journal of Soil Research, 2003, 41(6), 1101.
- [43] Piccolo A, Conte P. Structure and Surface Reactions of Soil Particles, Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd., 1998. 2.
- [44] Welzel D L. Analytical Chemistry, 1983, 55(12): 1165A.
- [45] Daughtry C S T. Agronomy Journal, 2003, 95(5): 1314.
- [46] FU Xiang-ping, YING Yi-bin, LIU Yar-de, et al(傅霞萍, 应义斌, 刘燕德, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(6): 1038.
- [47] DONG Quan-min, ZHAO Xi-quan, MA Yu-shou(董全民, 赵新全, 马玉寿). Pratacultural Science(草业科学), 2005, 22(5): 65.
- [48] BAI Ke-yu, HAN Jian-guo, WANG Pei(白可喻, 韩建国, 王培). Grassland of China(中国草地), 2000, (2): 15.
- [49] YANG Zhi-ming, YANG Gang, JI Qing-wen(杨智明, 杨刚, 纪庆文). Journal of Ningxia Agricultural College(宁夏农学院学报), 2004, 25(2): 99.
- [50] ZHU Kang, XU Yu-qing, ZHANG Guo-jin(朱康, 徐玉清, 张国进). Infrared and Laser Engineering(红外与激光工程), 2003, 32(5): 448.
- [51] Daughtry C S T. Agronomy Journal, 2001, 93(1): 125.
- [52] Stenberg B, Jensen L S, Nordkvist E, et al. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2004, 12(5): 331.

## Advance and Prospect of Spectroscopy Applied in Grassland Soil Inspection

SUN Yue-chun<sup>1,2</sup>, WANG Kun<sup>1\*</sup>

1. Department of Grassland Science, Animal Science and Technology College, China Agricultural University, Beijing 100094, China
2. Heilongjiang August First Reclamation University, Daqing 163319, China

**Abstract** Infrared spectroscopic measurement, especially near infrared spectroscopy, was widely used in grassland soil inspection. Recently, visible and ultraviolet diffuse reflectance spectroscopic techniques also were used in this field. Spectroscopy method is a rapid, timely, less expensive, non-destructive, straightforward analytic method. Furthermore, a single spectrum at lows for simultaneous characterization of various soil properties and the techniques are adaptable for “on the go” field use. In the present paper, the authors reviewed the use of the techniques to inspect the water content, organic matter, nitrate content, available phosphorus, exchangeable potassium and soil texture classes of soil. The thermal infrared remote sensing assisted method for monitoring soil water content mainly includes thermal infrared method, thermal inertia method and temperature/vegetation index method. The content of organic material is strongly correlative with absorption features of soil spectrum in ultraviolet wave band (around 376, 795 nm), visible radiation wave band (around 616, 506 nm), and infrared wave band (around 724, 975 nm). Mid infrared Fourier transform infrared attenuated total reflectance (FTIR-ATR) spectroscopy could be used to determine nitrate concentration in soil pastes. When visible (Vis) (400-700 nm), near infrared (NIR) (700-2500 nm) and mid infrared

red (MIR) (2 500-25 000 nm) were used to predict a number of different soil properties, more accurate predictions were obtained using the MIR for available phosphorus and electrical conductivity and the NIR produced more accurate predictions for exchangeable Al and K. Vis-NIR-FDA (the factorial discriminant analysis) is an efficient technique to classify soil into three main groups, sandy (light soils), loamy (medium soils), and clayey (heavy soils), and the classification models could be used for an on-the-go measurement system of soil properties. A standard penetrometer cone was modified to collect near infrared reflectance and estimate soil moisture, density, and clay content. Because the technology can get useful soil datum, it can effectively improve grassland management. Nowadays a question that needs to be answered is how to examine the below ground biomass by the technique, so the authors can base on the data to forecast the grass growth. It is also needed to invent more portable and "on-the-go" field use spectroscopy apparatus.

**Keywords** Spectroscopy; Grassland; Soil; Inspection

(Received Nov. 6, 2006; accepted Feb. 12, 2007)

\* Corresponding author

## 《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者, 本刊要求作者重写, 这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文, 要求言简意明、确切地论述文章的主要内容, 突出创新之处。

2. 应拥有与论文同等量的主要信息, 包括四个要素, 即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素, 例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下, 英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围, 以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据, 如检测限、相对标准偏差等; 结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。

3. 句型力求简单, 尽量采用被动式, 通常应有 2200 个印刷字符, 300 至 350 个英文单词为宜, 不能太短; 也不要太长。用计算机单面隔行打印。

4. 摘要不应有引言中出现的内容, 换言之, 摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论, 不得简单重复题名中已有的信息; 不用非公知公用的符号和术语; 不用引文, 除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号, 除相邻专业的读者也能清楚地理解外, 在首次出现时必须加以说明, 例如用括号写出全称。