

土壤有机质高光谱估算研究进展

郑光辉¹ 王明江² 焦彩霞¹ 孙东敏¹

摘要

土壤有机质是土壤的重要组成部分,对许多土壤属性有重要影响.利用光谱技术进行土壤有机质的快速测定是实现精细农业的基础.近几十年中,高光谱技术的发展为土壤研究提供了新的手段.受土壤有机质质量分数、组成以及土壤水分、土壤质地的影响,室内光谱的估算结果总体较好;受大气、地表植被等影响,航空或卫星的成像光谱估算精度较低.星载成像技术的进步将在一定程度上提高土壤有机质的估算精度,为快速、大范围土壤有机质质量分数的遥感制图提供技术支持.

关键词

土壤有机质;高光谱;遥感

中图分类号 TP79;S151.9

文献标志码 A

0 引言

土壤有机质是土壤中各种形态和状态存在的含碳有机化合物总称,包括土壤中的动物、植物及微生物残体的处于不同分解、合成阶段的各种产物^[1].土壤有机质不但是土壤的重要组成部分,而且是土壤发育过程的重要标志,对土壤的物理、化学性质有重要影响.对土壤有机质含量进行快速、准确的测定与评价是实现高效、高质量的农业生产的必要前提.传统的土壤分析需要通过野外采样及复杂的化学分析,存在费时、费力等不足.土壤光谱是各种土壤属性的综合反映,土壤光谱分析技术具有分析速度快、成本低、无危险、无破坏、可同时反演多种成分等特点,为土壤研究提供了新的手段与方法.近年来,国内外许多学者进行了土壤高光谱估算有机质质量分数的研究,取得了较好的研究成果,为土壤有机质高光谱遥感奠定了理论基础.

1 高光谱遥感在土壤研究中的应用

高光谱遥感可以用来提供土壤表面状况及其性质的空间信息,亦可用于探测土壤性质的细微差异^[2],为实现精准农业提供数据基础与技术支持.土壤信息与遥感研究是未来土壤科学研究的前沿,应加强土壤信息获取新技术的研究,实现土壤信息快速获取^[3].土壤学家们对实现利用遥感方法进行土壤研究向往已久.自从1972年 Landsat-1 发射升空以来,人们就非常希望能够利用土壤遥感进行土壤环境评价与制图^[4].为实现这一目标,土壤学家主要进行了2个方面的研究:一是室内光谱理论与应用研究,估算土壤成分及含量,并试图分析及解释其机理;二是实现真正的高光谱遥感或高光谱制图,利用机载或星载光谱仪进行土壤属性的定量分析.

人类利用反射光谱研究土壤水分、有机质质量分数、粒径及土壤组分的历史可以追溯到19世纪20—30年代^[5-6].19世纪60年代中期,Obukhov等^[7]讨论了土壤组分与反射率的关系及利用土壤反射光谱进行土壤调查的可行性,Bowers等^[8]研究显示土壤湿度与土壤光谱高度相关.这些研究说明土壤光谱虽然很复杂,但其中包含显著的定量信息,可以通过光谱分析技术提取土壤组分信息.Stoner是第1位系统收集土壤光谱信息并建立土壤光谱库的科学家,该光谱数据库很快成为土壤科学家的经典工具^[9].当室内及便携式野外光谱仪进入市场(1993年),更多的科学家认识到土壤光谱的潜力^[10].几十

收稿日期 2012-11-28

资助项目 国家自然科学基金(41201215);江苏高校优势学科建设工程(PAPD)项目;2013年度大学生实践创新训练计划项目

作者简介

郑光辉,男,博士,讲师,主要研究方向为土壤遥感. zgh@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

2 南京市浦口区气象局,南京,211800

年来的大量研究表明,可以通过土壤光谱特征来反演土壤重金属、有机质、铁等物质的质量分数^[11-13]. 土壤有机质、铁、部分粘土矿物在土壤中质量分数较大,有明显的吸收特征,而质量分数相对较少的成分如重金属等,在土壤光谱中没有明显的吸收波段,只能通过统计方法或与其他如有机质或铁的相关性来估算. 用于土壤光谱研究的机载或星载高光谱传感器主要有 AVIRIS^[14-15]、Hymap^[16] 和 Hyperion^[17] 等. 这些研究表明,受到大气、地形、地面植被、地面粗糙度、土壤水分等因素影响,成像光谱技术进行的土壤属性估算精度低于室内光谱,真正实现土壤遥感的实际应用还需要大量研究. 研究表明在过去 20 年(1990—2010 年)中,反射光谱在土壤学中的应用日益受到人们的重视,在土壤及农业科学方面的论文数量呈指数递增^[18].

2 土壤有机质的高光谱特征分析

2.1 土壤有机质对土壤光谱曲线的影响

一般而言,土壤有机质会整体降低土壤反射率. 去除有机质后,土壤反射率会明显升高^[8,19-20]. 土壤有机质成分复杂,功能团多样,将光谱特性与其所含的功能团对应解释的难度很大^[21].

土壤有机质会引起反射率的降低,从而减弱其他成分的光谱特征. Baumgardner 等^[22] 研究表明当有机质质量分数 > 2% 时,所引起的土壤反射率的下降可能掩盖其他成分的光谱特征,但 Montgomery^[23] 认为有机质质量分数 < 9% 时不能够掩盖其他土壤性质(如水分)对光谱反射率的贡献. 虽然他们认为的有机质质量分数标准不同,但有机质对其他成分光谱特征的减弱作用是被一致认可的. 去除有机质后,光谱反射率与游离氧化铁、全 Fe、无定形氧化铁的相关系数都有显著提高^[24].

2.2 土壤有机质高光谱估算特征波段

利用反射光谱预测土壤有机质的最佳波段,各位学者的研究结论有所差异. Ben-Dor^[4] 认为土壤有机质对整个可见-近红外-短波红外(VNIR-SWIR)波段反射率都会产生影响,尤其是对可见光区(VIS)影响最大. Mathews 等^[25] 发现可见近红外波段(0.5 ~ 1.2 μm)反射率与有机质质量分数相关性较好. Galvao 等^[26] 通过室内研究证实了土壤反射光谱在 550 ~ 700 nm 处的吸收峰主要是由土壤中的有机质引起的. 徐彬彬^[27] 使用 2 个光谱特征指标来比较有机质质量分数的高低:其一是 400 ~ 1 000 nm(特别

是 620 ~ 660 nm)平均反射率的高低,其二是光谱曲线在 600 nm 处的形态,即 600 nm 处光谱曲线的“弓曲差”的大小. Bartholomeus 等^[28] 认为土壤反射曲线在 400 ~ 600 nm 波段斜率的倒数与土壤有机碳质量分数的相关性最高. McCarty 等^[29] 比较了近红外(NIR)和中红外(MIR)波段估算的有机碳能力,认为中红外(MIR)波段可以提供更好的有关土壤有机碳的信息. Ladoni 等^[30] 总结了前人估算土壤有机质(Soil Organic Matter, SOM)或土壤有机碳(Soil Organic Carbon, SOC)的研究成果,认为 MIR 波段的平均 R^2 为 0.89, NIR 的平均 R^2 为 0.79, VIS 的平均 R^2 为 0.74.

2.3 土壤有机质高光谱估算精度的影响因素

2.3.1 有机质质量分数及组成

土壤有机质本身的化学组成非常复杂,其质量分数大小对估算结果的也会产生影响. Baumgardner 等^[22] 认为有机质质量分数 < 2% 时,受其他成分影响,光谱曲线无法反映由功能团引起的吸收特征. Dalal 等^[31] 在碳质量分数为 0 ~ 2.6% 的情况下估算了土壤有机质质量分数. 土壤样本有机质质量分数的变化范围亦影响估算结果. Udelhoven 等^[32] 研究表明在微域尺度上土壤样本有机碳质量分数差异小(1.4% ~ 2.4%)可能是造成估算精度低的原因. Cohen 等^[33] 利用 271 个样本(有机质质量分数 0 ~ 82%)估算湿地土壤有机质质量分数时,估算值和实际值的样本值标准差与估算均方根误差比(RPD)为 5.89. 所以,一般来讲有机质质量分数变化范围大有利于提高估算精度.

腐殖质是土壤有机质的主体,腐殖质又分为胡敏酸(H)和富里酸(F),其光谱特征明显不同(图 1). 胡敏酸呈黑色,在整个波段反射率低,为一条平直线,富里酸呈棕色,在黄红光部分开始强反射,所以即使有机质质量分数相同,胡敏酸和富里酸的质量比不同,也会使土壤有不同光谱反射特性^[19]. 同时,不同的分解阶段也会对估算结果产生影响,充分考虑有机质的分解阶段可以得到更准确的结果^[34]. Ben-Dor 等^[11] 探讨了在生物分解过程中 VIS-NIR-SWIR 波段有机质的反射光谱可能发生的变化,发现可见光波段的光谱斜率(638 nm/450 nm 和 800 nm/680 nm)与有机质的成熟程度密切相关.

2.3.2 土壤水分

以田间持水量为标准,土壤水分较低时,土壤反射率随着土壤水分的增加而降低,较高时,反射率随

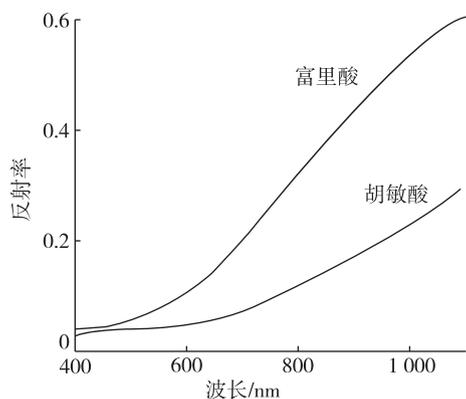
图1 胡敏酸和富里酸的光谱反射曲线^[19]

Fig. 1 Spectral reflectance curves of humic acid and fulvic acid

着土壤水分的增加而增加. 在利用土壤光谱估算有机质的研究过程中,为减小土壤水分的影响,多采用风干土样. Brown 等^[35]对比风干土样与烘干土样光谱后发现,估算精度没有明显提高, Fyströ^[36]及 Couillard 等^[37]也认为湿土样或原状土的估算精度高于风干土样,但 Chang 等^[38]的研究结果表明风干土样对提高估算精度是有帮助的. 王森等^[39]进行了土壤水分对反射光谱法估算红壤有机质精度影响的研究,表明随土壤水分的增加,有机质质量分数与一阶微分光谱的相关性先增加后减小,水的质量分数为 10% ~ 15% 时相关系数最大.

2.3.3 土壤质地

土壤质地之所以能影响土壤的光谱反射率,一方面是由于土壤颗粒大小本身的影响,颗粒较细时,土壤表面更趋于平滑,因而更多的人射能量被反射,另一方面是由于土壤质地会影响土壤持水能力而产生间接影响^[40]. Bowers 等^[8]研究了机械组成对土壤反射能量的影响,结果显示土壤反射系数随土壤颗粒的变细呈指数增长,特别是当土壤颗粒粒径 < 400 μm 时,这一现象更为明显. 但不能笼统地说,土壤颗粒越细,反射率越高,因为土壤中不同颗粒的反射率并不遵循颗粒越细、反射率越高的规律^[19]. Al-Abbas 等^[41]研究发现土壤粘粒含量和土壤反射系数成负相关,因为随着土壤粘粒含量的提高,土壤水分增加,使光谱反射系数降低. 徐彬彬^[27]的研究也发现当颗粒细至粘粒时土壤持水能力增加,反而会降低反射率. 沙晋明等^[42]发现土壤质地一般只影响土壤的反射率,不影响其波形. 所以质地对土壤有机质估算精度的影响应该是通过其他性质而产生的间接影响. 土样的研磨程度同样会影响估算精度. 周清^[43]认为 1 mm 的土样是室内光谱测试的合适粒径,彭玉

魁等^[44]研究表明 0.25 mm 样品估算结果优于 1 mm 样品,但 Wight 等^[45]认为不同的土样预处理方式不会影响估算精度. 国外测试土壤光谱,应用最多的是粒径 < 2 mm.

2.4 机载或星载高光谱遥感图像进行土壤有机质质量分数估算

多数学者利用室内光谱反演土壤有机质质量分数,取得了较好的结果. 也有不少学者利用机载或星载遥感图像研究估算有机质质量分数的可行性. Baumgardner 等^[22]和 Al-Abbas 等^[41]进行了最初的航空试验,研究可见近红外波段反射率和有机质质量分数的关系. 利用机载传感器的学者有 Galvao 等^[46] (AVIRIS)、Sullivan 等^[47] (Airborne Terrestrial Applications Sensor multispectral Scanner)、Selige 等^[16] (Hymap) 和 Stevens 等^[48] (AHS-160). 利用多光谱星载传感器的学者有 Frazier 等^[49] (TM)、Wilcox 等^[50] (TM)、Levine 等^[51] (AVHRR) 以及 Nanni 等^[52] (TM). 近几年来,有部分学者利用高光谱星载遥感图像进行研究,如 Gomez 等^[53] (Hyperion)、程朋根等^[54] (Hyperion). 他们的研究表明遥感图像的估算结果一般低于室内光谱,其原因是受大气、地形、地面粗糙度等因素的影响,数据信噪比低. 以上学者在研究过程中,均使用裸露土壤进行估算,但受植被及混合像元的影响,纯土壤像元的反射率是很难提取到的,所以高光谱分辨率及高空间分辨率的遥感数据是提高估算精度的必要条件.

3 结论与展望

1) 结论

土壤有机质质量分数是土壤的重要属性之一,利用土壤光谱技术估算土壤有机质质量分数是实现精细农业的前提与基础. 大量学者的研究表明:室内土壤光谱可以较好地估算有机质质量分数,精度较高;航空或卫星的成像光谱受大气、地表植被、土壤水分等因素的影响,估算精度较低. 土壤有机质会引起土壤反射率的整体下降,它的存在会掩盖其他成分的光谱特征. 土壤有机质质量分数、组成、分解阶段、土壤水分、土壤质地等都会影响估算精度.

2) 展望

需要统一室内土壤光谱测量方法,建立土壤光谱数据库. 目前国内外不同学者在测量光谱时所用人工光源数量、距离不同,探头距离不同,土样研磨程度不同,造成土壤光谱之间的可比性较差,应统一

室内土壤光谱测量方法,建立全国土壤光谱数据库,以实现光谱数据的共享,使土壤光谱具有较高的可比性,也可以实现通过同一地点土壤光谱的变化研究土壤性质的演变。

室外实测光谱是室内光谱与遥感制图的中介,是建立两者之间关系的桥梁。采集野外土壤光谱曲线,同时采集采样点附近植被光谱及植被样本,以利于对遥感图像中各采样点的光谱进行校正及混合像元分解。

星载成像光谱仪是实现土壤有机质大范围快速制图的基础,在未来的十几年中,将会有更多的星载成像光谱仪被送入轨道,为科学研究提供质量更优的数据。目前在研的光谱仪有 EnMAP、PRISMA、MS-MI,计划开展研究的包括 HypSIRI、FLEX-VIS 等,都将为未来的土壤遥感研究提供高质量的数据。

参考文献

References

- [1] 李志洪,赵兰坡,窦森. 土壤学[M]. 北京:化学工业出版社,2005
LI Zhihong, ZHAO Lanpo, DOU Sen. Pedology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005
- [2] 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2000
PU Ruiliang, GONG Peng. Hyperspectral remote sensing and its applications [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000
- [3] 赵其国. 土壤科学发展的战略思考[J]. 土壤, 2009, 41(5): 681-688
ZHAO Qiguo. Strategic thinking of soil science in China [J]. Soils, 2009, 41(5): 681-688
- [4] Ben-Dor E. Quantitative remote sensing of soil properties [J]. Advances in Agronomy, 2002, 75: 173-243
- [5] Ångström A. The Albedo of various surfaces of ground [J]. Geografiska Annaler, 1925, 7: 323-42
- [6] O'Neal A M. The effect of moisture on the color of certain Iowa soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1927, B8(2001): 158-174
- [7] Obukhov A I, Orlov D C. Spectral reflectance of the major soil groups and the possibility of using diffuse reflection in soil investigations [J]. Soviet Soil Science, 1964, 2: 174-184
- [8] Bowers S A, Hanks R J. Reflection of radiant energy from soils [J]. Soil Science, 1965, 100(2): 130-138
- [9] Stoner E R, Baumgardner M F. Characteristic variations in reflectance of surface soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45: 1161-1165
- [10] Ben-Dor E, Taylor R G, Hill J, et al. Imaging spectrometry for soil applications [J]. Advances in Agronomy, 2008, 97: 321-392
- [11] Ben-Dor E, Inbar Y, Chen Y. The reflectance spectra of organic matter in the visible near-infrared and short wave infrared region (400-2 500 nm) during a controlled decomposition process [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(1): 1-15
- [12] Kemper T, Sommer S. Estimate of Heavy metal contamination in soils after a mining accident using reflectance spectroscopy [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(12): 2742-2747
- [13] Deaton B C, Balsam W L. Visible spectroscopy: A rapid method for determining hematite and goethite concentration in geological materials [J]. Journal of Sedimentary Research, 1991, 61(4): 628-632
- [14] Galvao L S, Formaggio A R, Couto E G, et al. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2008, 63(2): 259-271
- [15] Palacios-Orueta A, Ustin S L. Multivariate statistical classification of soil spectra [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 57(2): 108-118
- [16] Selige T, Böhner J, Schmidhalter U. High resolution top-soil mapping using hyperspectral image and field data in multivariate regression modeling procedures [J]. Geoderma, 2006, 136(1/2): 235-244
- [17] Gomez C, Rossel R A V, McBratney A B. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field VIS-NIR spectroscopy: An Australian case study [J]. Geoderma, 2008, 146(3/4): 403-411
- [18] Guerrero C, Rossel R A V, Mouazen A M. Special issue 'diffuse reflectance spectroscopy in soil science and land resource assessment' [J]. Geoderma, 2010, 158(1/2): 1-2
- [19] 徐彬彬,季耿善,朱永豪. 中国陆地背景和土壤光谱反射特性的地理分区的初步研究 [J]. 环境遥感, 1991, 6(2): 142-151
XU Binbin, JI Gengshan, ZHU Yonghao. A preliminary research of geographic regionalization of China land background and spectral reflectance characteristics of soil [J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 6(2): 142-151
- [20] Dematte J A M, Garcia G J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(2): 327-342
- [21] Chang C W, Laird D A. Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N [J]. Soil Science, 2002, 167(2): 110-116
- [22] Baumgardner M F, Kristof S, Johannsen C J, et al. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils [J]. Proc Indiana Acad Sci, 1970, 79: 413-422
- [23] Montgomery O L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical, and genetic characteristics of soils [D]. West Lafayette, Indiana: Purdue University, 1976
- [24] 彭杰,张杨珠,周清,等. 去除有机质对土壤光谱特性的影响 [J]. 土壤, 2006, 38(4): 453-458
PENG Jie, ZHANG Yangzhu, ZHOU Qing, et al. Spectral characteristics of soils in Hunan province as affected by removal of soil organic matter [J]. Soils, 2006, 38(4):

- 453-458
- [25] Mathews H L, Cunningham R L, Petersen G W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1973, 37(3): 421-424
- [26] Galvao L S, Vitorello I. Role of organic matter in obliterating the effects of iron on spectral reflectance and colour of Brazilian tropical soils [J]. *Int J Remote Sensing*, 1998, 19(10): 1969-1979
- [27] 徐彬彬. 土壤剖面的反射光谱研究[J]. *土壤*, 2000, 32(6): 281-287
XU Binbin. Reflectance spectra of soil profiles [J]. *Soils*, 2000, 32(6): 281-287
- [28] Bartholomeus H M, Schaepman M E, Kooistra L, et al. Spectral reflectance based indices for soil organic carbon quantification [J]. *Geoderma*, 2008, 145(1/2): 28-36
- [29] McCarty G W, Reeves J B. Comparison of near infrared and mid infrared diffuse reflectance spectroscopy for field-scale measurement of soil fertility parameters [J]. *Soil Science*, 2006, 171(2): 94-102
- [30] Ladoni M, Bahrami H A, Alavipanah S K, et al. Estimating soil organic carbon from soil reflectance: A review [J]. *Precision Agriculture*, 2010, 11(1): 82-99
- [31] Dalal R C, Henry R J. Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(1): 120-123
- [32] Udelhoven T, Emmerling C, Jarmer T. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study [J]. *Plant and Soil*, 2003, 251(2): 319-329
- [33] Cohen M J, Prenger J P, deBusk W F. Visible-near infrared reflectance spectroscopy for rapid, nondestructive assessment of wetland soil quality [J]. *J Environ Qual*, 2005, 34(4): 1422-1434
- [34] Ben-Dor E, Banin A. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59(2): 364-372
- [35] Brown D J, Shepherd K D, Walsh M G, et al. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy [J]. *Geoderma*, 2006, 132(3/4): 273-290
- [36] Fyströ G. The prediction of C and N content and their potential mineralization in heterogeneous soil samples using Vis-NIR spectroscopy and comparative methods [J]. *Plant and Soil*, 2002, 246(2): 139-149
- [37] Couillard A, Turgeon A J, Shenk J S, et al. Near infrared reflectance spectroscopy for analysis of turf soil profiles [J]. *Crop Science*, 1997, 37(5): 1554-1559
- [38] Chang C W, Laird D A, Hurburgh C R Jr. Influence of soil moisture on near-infrared reflectance spectroscopic measurement of soil properties [J]. *Soil Science*, 2005, 170(4): 244-255
- [39] 王淼, 潘贤章, 谢宛丽, 等. 土壤含水量对反射光谱法预测红壤土壤有机质的影响研究 [J]. *土壤*, 2012, 44(4): 645-651
WANG Miao, PAN Xianzhang, XIE Xianli, et al. Effects of soil moisture on determining red soil organic matter using Vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy [J]. *Soils*, 2012, 44(4): 645-651
- [40] 冯云山, 吴培祥, 刘亚娟, 等. 土壤反射光谱特性的研究 [J]. *吉林农业大学学报*, 1989, 11(2): 72-76
FENG Yunshan, WU Peixiang, LIU Yajuan, et al. Study on the characters of soil reflective spectrum [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1989, 11(2): 72-76
- [41] Al-Abbas A H, Swain P H, Baumgardner M F. Relating organic matter and clay content to the multispectral radiance of soils [J]. *Soil Science*, 1972, 114(6): 477-485
- [42] 沙晋明, 陈鹏程, 陈松林. 土壤有机质光谱响应特性研究 [J]. *水土保持研究*, 2003, 10(2): 21-24
SHA Jinming, CHEN Pengcheng, CHEN Songlin. Characteristics analysis of soil spectrum response resulted from organic material [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(2): 21-24
- [43] 周清. 土壤有机质含量高光谱预测模型及其差异性研究 [D]. 杭州: 浙江大学环境与资源学院, 2004
ZHOU Qing. Study on the hyperspectral prediction models of soil organic matter and its differences among soil types [D]. Hangzhou: College of Environmental & Resource Sciences of Zhejiang University, 2004
- [44] 彭玉魁, 张建新, 何绪生, 等. 土壤水分、有机质和总氮含量的近红外光谱分析研究 [J]. *土壤学报*, 1998, 35(4): 553-559
PENG Yukui, ZHANG Jianxin, HE Xusheng, et al. Analysis of soil moisture, organic matter and total nitrogen content in loess in China with near infrared spectroscopy [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(4): 553-559
- [45] Wight J P, Allen F L, Zanetti M Z, et al. Comparison of combustion, chemical and near-infrared spectroscopy methods to determine soil organic carbon [C] // Clemson University, Southern Conservation Tillage Systems Conference, 2005: 179-184
- [46] Galvao L S, Pizarro M A, Epiphanyo J C N. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 75(2): 245-255
- [47] Sullivan D G, Shaw J N, Rickman D. IKONOS imagery to estimate surface soil property variability in two Alabama physiographies [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(6): 1789-1798
- [48] Stevens A, Udelhoven T, Denis A, et al. Measuring soil organic carbon in croplands at regional scale using airborne imaging spectroscopy [J]. *Geoderma*, 2010, 158(1/2): 32-45
- [49] Frazier B E, Cheng Y. Remote sensing of soils in the Eastern Palouse region with Landsat Thematic Mapper [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 28: 317-325
- [50] Wilcox C H, Frazier B E, Ball S T. Relationship between soil organic carbon and Landsat-TM data in eastern Washington [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1994, 60(6): 777-781
- [51] Levine E R, Kimes D S. Predicting soil carbon in Mollisols using neural networks [M]. Boca Raton: CRC Press, 1998: 473-484
- [52] Nanni M R, Dematte J A M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(2):

393-407

- [53] Gomez C, Rossel R A V, McBratney A B. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field Vis-NIR spectroscopy: An Australian case study [J]. *Geoderma*, 2008, 146(3/4): 403-411

- [54] 程朋根, 吴剑, 李大军, 等. 土壤有机质高光谱遥感和地统计定量预测 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(3):

142-147

- CHENG Penggen, WU Jian, LI Dajun, et al. Quantitative prediction of soil organic matter content using hyperspectral remote sensing and geo-statistics [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(3): 142-147

Review on prediction of soil organic matter with reflectance spectroscopy

ZHENG Guanghui¹ WANG Mingjiang² JIAO Caixia¹ SUN Dongmin¹

1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Pukou Meteorological Bureau of Nanjing, Nanjing 211800

Abstract As an important component of soil, soil organic matter (SOM) has a primary impact on soil properties. The rapid monitoring of soil organic matter is the premise of precision agriculture, which can be achieved by soil spectrum technology. In recent decades, the development in hyper spectral technology provides a new method for soil organic matter monitoring. This paper makes a review and comparison on the various hyper spectral techniques applied in SOM monitoring. Influenced by soil factors like mass fraction and composition of SOM, water content and soil texture, the indoor spectrum technology is relatively accurate in SOM prediction results. While influenced by more factors from atmosphere as well as land vegetation, the airborne remote sensing or satellite remote sensing is low in accuracy of SOM prediction. The future progress of satellite imaging spectroscopy will improve the SOM prediction and facilitate the implementation of digital SOM mapping in large scale.

Key words soil organic matter (SOM); hyper-spectrum; remote sensing