

土壤全氮田间 Vis/ NIR 光谱测定方法研究

汪善勤^{1,2}, 舒宁¹, 张海涛²

1. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430072
2. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430070

摘要 应用 Vis/ NIR 光谱直接测定原始土壤属性具有重要的研究和应用价值。选取我国中部水稻土和潮土共 103 个土样, 对比分析了两种土壤在田间环境下的湿态 (R_w) 和干态 (R_d) 光谱特征。采用相对变换光谱方法对湿态光谱进行了处理, 结果表明该方法能够有效降低土壤水分的干扰和消除部分噪声, 得到的变换光谱 (R_n) 与干态光谱在信息量和特征方面具有很高的相似度。以此建立了土壤 TN 的 PLS 回归估计模型, 检验结果表明, R_n 对水稻土和潮土 TN 的估计模型精度均高于 R_w , 修正判定系数分别从 0.26 和 0.46 提高到 0.53 和 0.62。因此, 相对光谱变换方法能够有效提高应用田间土壤光谱估计土壤参数的能力, 建立的 PLS 模型可以用于测定 TN 含量, 研究结果可作为实现田间实时分析土壤属性的工作基础。

关键词 全氮; Vis/ NIR 光谱; 相对变换方法

中图分类号: TP79; S151.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0593(2008)04-0808-05

引言

土壤光谱测定时, 为了消除土壤类型、质地以及湿度的影响, 往往需要经过风(烘)干研磨、过筛、制片等预处理^[1-4]。由于环境的单一性, 实验室内测定的光谱用于估计土壤属性可获得较高的精度, 但是其他土壤性质和环境因素的影响, 使得室内光谱模型很难应用于土壤属性的野外光谱估计^[5-7]。鲍一丹等研究认为在进行田间光谱测定时^[8,9], 合适的测量条件有助于减少背景、大气散射对目标光谱的干扰, 如光谱仪探头距离土壤表面约 15 cm, 保证充足的光照, 平整土壤表面等措施。采用适当的光谱特征变换和提取方法, 减弱土壤含水量的干扰, 也能够提高模型的估计精度^[10,11], 如导数法, 对数法^[12], 包络线法^[13]等。本研究分析了田间湿态和干态土壤的光谱特征, 应用相对光谱变换法处理湿态光谱, 有效地降低了土壤水分的干扰, 并消除了部分噪声。研究结果可作为实现田间实时分析土壤属性的工作基础。

1 材料与方法

1.1 土样采集

土壤样本采集于湖北省潜江市后湖农场, 取自 0~15 cm

耕层的混合土样。水稻土 35 个和潮土 68 个土样, 分别抽取 20 和 48 个样本用于建模, 其余作为检验集。按照土壤属性理化分析方法, 测定所有土样的全氮(TN)含量。用于建模样品的土壤属性统计特征描述见表 1。

Table 1 Statistics of the content of total nitrogen of paddy, fluvo-aquic and all soil samples

	水稻土 ($n=20$)	潮土 ($n=48$)	全体 ($n=68$)
最小值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.79	1.13	1.13
最小值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3.2	2.50	3.2
标准差	0.26	0.19	0.35
均值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	2.30	1.70	1.88

1.2 光谱测定与预处理

光谱测定使用 ASD FieldSpec HandHeld 光谱仪, 测定范围 325~1075 nm, 剔除噪声影响较大的部分后, 保留 350~950 nm 的数据。光谱测定时天气晴朗, 空气洁净, 时间在 11:00~13:00 之间。每个采样点取 200 g 左右的混合土样装入直径 12 cm 的玻璃培养皿, 用玻璃板压实。(1) 田间湿态光谱测定。在田间自然光照下, 探头垂直距离土样表面 15 cm, 培养皿依次旋转 120°, 分 3 次测定得到 50~60 条稳定光谱, 平均后即为湿态土壤的平均反射光谱 (R_w); (2) 田间干态光谱测定。土样放置 105 °C 烘箱 24 h 后, 在相同的地点、时间 (11:00~13:00), 采用相同的方法测得干态土样的平均反射光谱 (R_d)。

收稿日期: 2007-06-26, 修订日期: 2007-09-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40601073)资助

作者简介: 汪善勤, 1974 年生, 武汉大学遥感信息工程学院博士研究生 e-mail: sqwang@mail.hzau.edu.cn

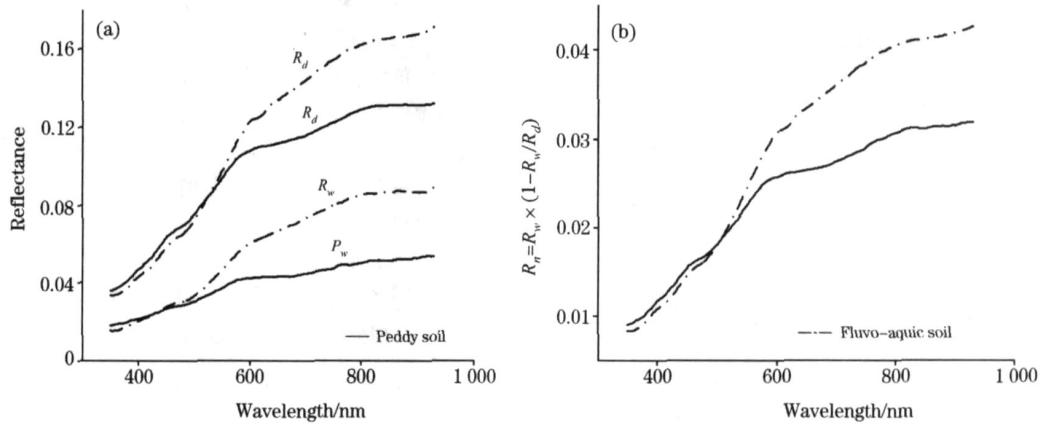


Fig 1 Vis/ NIR reflectance spectroscopies of representative soil sample (a) R_w and R_d are the spectroscopy of the soil sample under moistural and dry condition respectively; (b) transformed spectroscopy by $R_n = R_w (R_d - R_w) / R_d$

1.3 光谱预处理

对 R_w 和 R_d 采用 Savitzky-Golay 平滑处理, 消除部分背景和噪声对目标光谱的影响^[14] [图 1(a)]。

为了消除水分的影响和提高模型精度, 采用相对光谱变换方法 (relative spectra transformation, RTM) 得到 R_n [图 1(b)]。RTM 的计算公式如下

$$R_n = R_w \times \left(1 - \frac{R_w}{R_d} \right)$$

根据文献[7-9]的研究, R_w/R_d 与土壤含水量线性相关,

可以解释为光谱中水分干扰的比例, 而 $1 - R_w/R_d$ 则是光谱中其他土壤要素综合作用的比例, R_n 即代表除掉 R_w 中的水分干扰后所得到的土壤光谱^[15-17]。

2 结果与分析

2.1 变换光谱分析

从 R_w , R_d 和 R_n 的一阶导数 [图 2(a), (b)] 发现, 无论水稻土或潮土, 其 R_w 的曲线平滑度明显低于 R_d 和 R_n , 说明

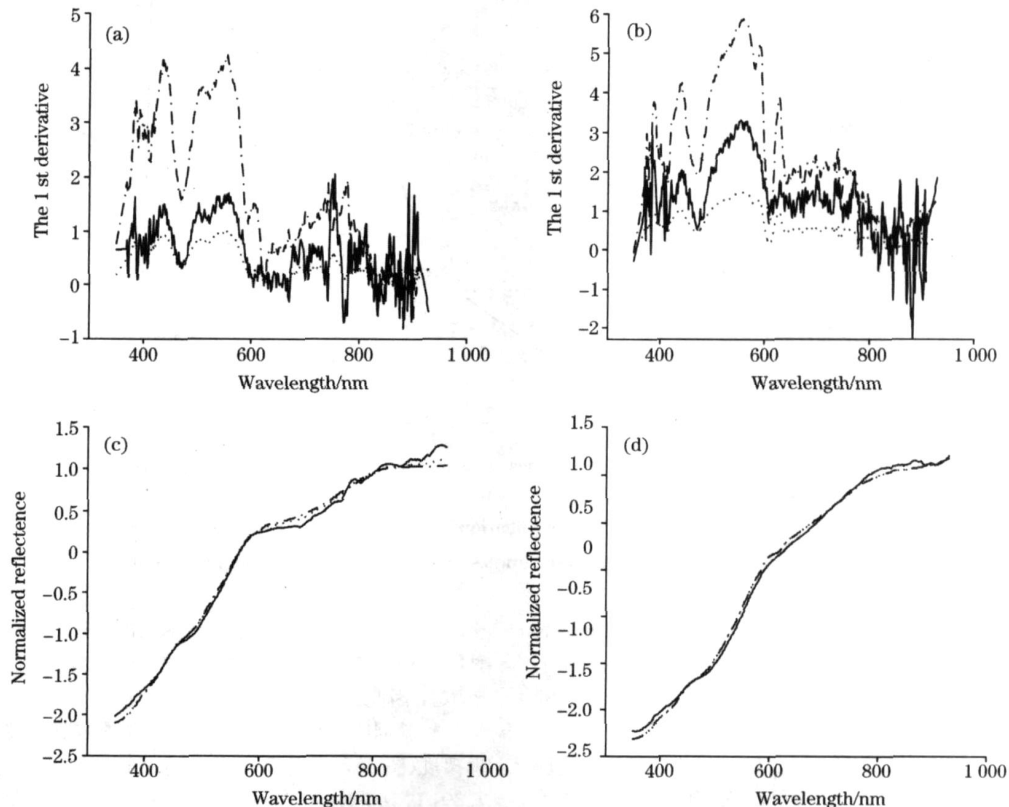


Fig 2 1st derivative spectra of R_w , R_d and R_n (a) paddy soil; (b) fluvo-aquic soil and normalized spectrum of R_w , R_d and R_n (c) paddy soil; (d) fluvo-aquic soil

RTM 能够减弱 R_w 的噪声, 并保留了 388, 414, 440, 473, 556, 590, 627 nm 等处的变化。

Table 2 MSE of normalized R_w and R_n using the normalized R_d as mean

	水稻土		潮土	
	R_w	R_n	R_w	R_n
R_d	3.955 3	0.312 6	1.534 2	0.006 2

采用标准化光谱均差的方法得到 R_w , R_d 和 R_n 的标准

化反射率[图 2(c), (d)], 并以 R_n 的标准化反射率为均值计算 R_w 和 R_n 的标准化反射率的均方差(MSE), 以此判断 R_w , R_n 与 R_d 的信息相似度^[18](表 2)。结果表明 R_n 与 R_d 的标准化反射率曲线吻合度高于 R_w ; R_n 与 R_d 的 MSE 远小于 R_w , 更接近于 0。由此可说明 R_n 与 R_d 的具有相似的信息量和特征。潮土的 R_n 与 R_d 的信息含量和特征相似性优于水稻土。

2.2 土壤 TN 的 PLS 回归模型分析

分别建立水稻土、潮土和全体土样的 PLS 回归模型, 并进行检验得到修正决定系数(Adjusted r^2)、估计值的残余标准差(SEP)和根均方差(RMSEP)(表 3)。

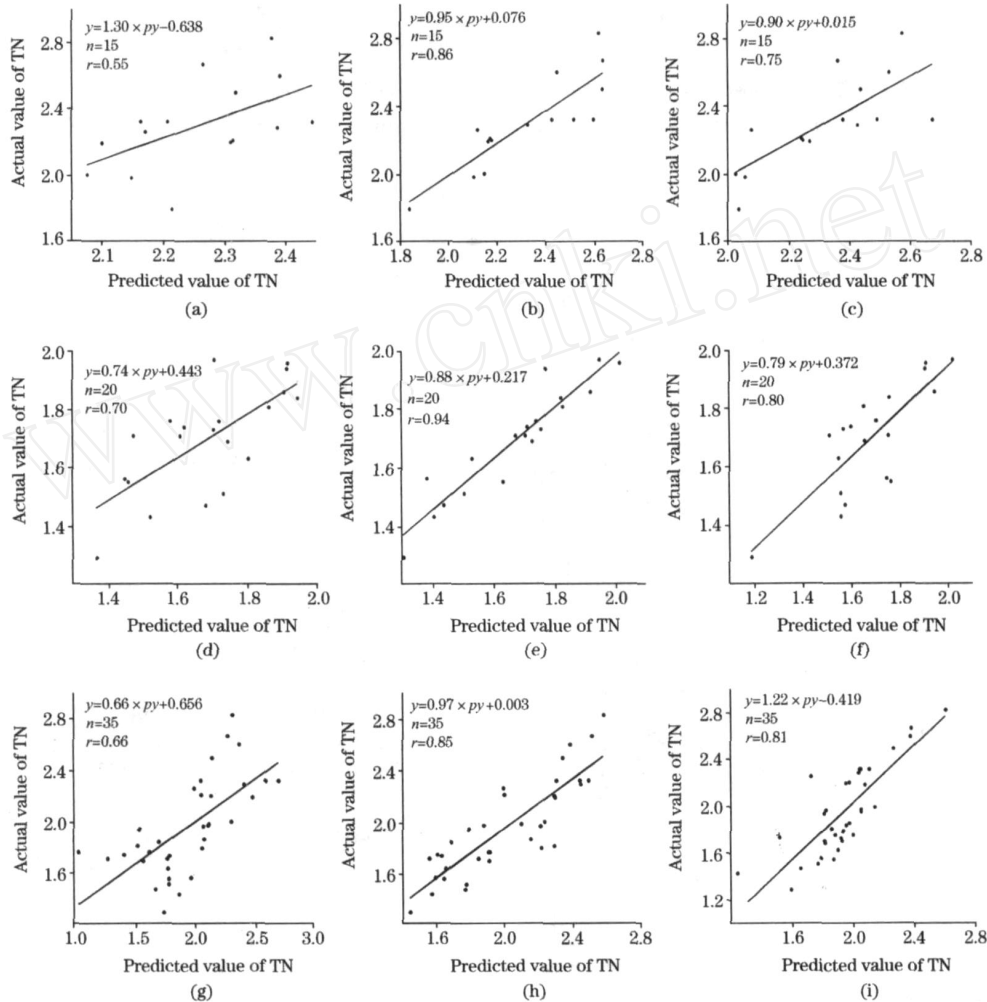


Fig 3 Calibration results for PLS predications for TN($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) of sets of paddy soil samples(a ~ c), fluvo-aquic soil samples(d ~ f) and total soil samples(g ~ i)

R_w 的回归拟合度都比较差, 其中水稻土 R_w 回归模型的 Adj. r^2 只有 0.26, 而 R_d 回归模型提高到了 0.7; 潮土和全体样本 R_d 回归模型的 Adj. r^2 同样远大于 R_w 。水稻土、潮土和全体 R_d 的 Adj. $r^2 > 0.70$, 说明干燥土壤的 Vis/NIR 反射率光谱与 TN 含量之间存在比较明显的相关性。干燥处理可以消除土壤水分含量对光谱的影响, R_w 不适合用来估计 TN。 R_n 对 TN 的回归拟合度明显要优于 R_w , 但比 R_d 差。 R_n 对水稻土 TN 的估计能力较弱(Adj. $r^2 = 0.53$), 而对潮

土和全体 TN 的估计能力较好。SEP 和 RMSEP 值表明在三种样本划分情况下, R_n 的 PLS 模型精度均要低于 R_d , 但高于 R_w , 因此 RTM 方法提高了 R_w 估计 TN 的能力。

检验回归方程的斜率系数可以用来描述模型的总体估计偏离度(图 3), 其值等于 1 时的偏离度最小。 R_w 的斜率为 1.30, 0.74 和 0.66, 说明 R_w 对水稻土 TN 的估计偏低, 对潮土和全体 TN 的估计偏高, 且偏离幅度较大; R_d 的斜率为 0.95, 0.88 和 0.97, 对潮土 TN 的估计略高于水稻土和全

体,后二者的估计总体偏离度较小; R_n 的斜率为0.98,0.79的估计分别偏低和偏高。 R_n 与 R_d 估计TN的能力相似。和1.22,估计水稻土TN的偏离度最小,对潮土和全体TN

Table 3 Statistic results of PLS regression models of three sets of soil samples

土样分组	光谱处理类型	统计量			
		因子数	修正 r^2	SEP	RMSEP
水稻土	R_w	9	0.26	0.21	0.237
	R_d	5	0.70	0.12	0.179
	R_n	5	0.53	0.19	0.204
潮土	R_w	5	0.46	0.16	0.224
	R_d	8	0.88	0.06	0.123
	R_n	3	0.62	0.12	0.163
全体	R_w	7	0.41	0.34	0.343
	R_d	4	0.71	0.16	0.172
	R_n	3	0.64	0.20	0.217

3 结论

采用田间获取的水稻土和潮土光谱建立的PLS模型估计土壤总氮精度差;而土样经过干燥处理后的模型精度较高。通过光谱相对变换方法,能够得到与干燥光谱具有信息

量和特征相似度很高的结果。该方法要求获取同一土样的湿态和干态光谱才能进行变换,因此在具体应用中可以选择典型样本的光谱,得到变换常数或模型,因此进一步的研究将根据土壤类型和含水量,找出田间土壤光谱和干燥土壤的变换系数或模型,实现采用Vis/NIR光谱直接田间测定土壤属性,使之成为一种成本低廉,实用价值高的农田监测手段。

参 考 文 献

- [1] XU Yong-ming, LIN Qi-zhong, WANG Lu, et al (徐永明, 蔺启忠, 王璐, 等). Acta Pedologica Sinica (土壤学报), 2006, 43(5): 709.
- [2] LI Wei, ZHANG Shu-hui, ZHANG Qian, et al (李伟, 张书慧, 张倩, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (CSAE) (农业工程学报), 2007, 23(1): 55.
- [3] SUN Jian-ying, LI Mir-zan, ZHENG Li-hua, et al (孙建英, 李民赞, 郑立华, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2006, 26(3): 426.
- [4] Mouazen A M, Karoui R, Baerdemaeker J De, et al. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(4): 1295.
- [5] HE Jun-liang, JIANG Jian-jun, ZHOU Sheng-lu, et al (贺军亮, 蒋建军, 周生路, 等). Scientia Agriculture Sinica (中国农业科学), 2007, 40(3): 638.
- [6] McBratney A B, Minasny B, Rossel R V. Geoderma, 2006, 136(1-2): 272.
- [7] Travis H Waiser, Cristine L S Morgan, David J Brown, et al. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(2): 389.
- [8] BAO Yi-dan, HE Yong, FANG Hui, et al (鲍一丹, 何勇, 方慧, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2007, 27(1): 62.
- [9] WANG Lu, LIN Qi-zhong, JIA Dong, et al (王璐, 蔺启忠, 贾东, 等). Environmental Science (环境科学), 2007, 28(8): 1822.
- [10] Dematte J A M, Campos R C, Alves M C, et al. Geoderma, 2004, 121(1-2): 95.
- [11] SUN Jian-ying, LI Mir-zan, TANG Ning, et al (孙建英, 李民赞, 唐宁, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2007, 27(8): 1502.
- [12] LU Wan-zhen, YUAN Hong-fu, XU Guang-tong, et al (陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等). Modern Analysis Technique of NIR (现代近红外光谱分析技术). Beijing: China Petrochemistry Press (北京: 中国石化出版社), 2000.
- [13] XIE Bo-cheng, XUE Xu-zhang, LIU Wei-dong, et al (谢伯承, 薛绪掌, 刘伟东, 等). Acta Pedologica Sinica (土壤学报), 2005, 42(1): 171.
- [14] Ben-Dor E, Inbar Y, Chen Y. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(1): 1.
- [15] Lobell David B, Asner Gregory P. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(3): 722.
- [16] Etienne Muller, Henri DeÂcamps. Remote Sensing of Environment, 2000, 76(2): 173.
- [17] Weidong Liu, Baretta F, Xingfa Gu, et al. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(2): 238.
- [18] Fearn T. NIR News, 2002, (13): 12.

In-site Total N Content Prediction of Soil with Vis/ NIR Spectroscopy

WANG Shan-qin^{1,2}, SHU Ning¹, ZHANG Hai-tao²

1. College of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China

2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The Vis/NIR spectroscopy as an efficient tool to predict within-field soil properties is significantly valuable when establishing agricultural field trials and in precision farming. The object of the study was to investigate the feasibility and possibility of using transformed in-site spectra by relative transformation method (RTM) to prediction soil properties. One hundred and three samples of paddy and fluvo-aquic soil in central china were collected. The *in-site* moisture (R_w) and dried (R_d) Vis/NIR spectra were measured by ASD field handHeld analyzer. The spectral characteristics of two kind soils were analyzed comparatively. The R_w spectra were transformed by RTM into R_n , which were of similar information content and characteristics with R_d . The first derivatives of three spectra revealed that the method could reduce the water disturb on and noise in R_w Vis/NIR spectrum. The PLS regression model was applied to predict total nitrogen (TN) respectively using R_w , R_d and R_n as predictor. The models with R_w predicted TN respectively of paddy, fluvo-aquic and all samples with poor adjusted r^2 (< 0.5), while R_d with good adjusted r^2 0.70, 0.88 and 0.71 and R_n 0.53, 0.62 and 0.64. The result showed that the RTM was efficient to enhance analysis and prediction of soil properties using Vis/NIR spectrum measured on the spot. The combination of PLS and RTM could help implementation of real-time analyzing soil properties using Vis/NIR spectrum.

Keywords Total nitrogen; Vis/NIR spectroscopy; Relative transformation method

(Received Jun. 26, 2007; accepted Sep. 29, 2007)