

删除的内容: 857

带格式的:

基于 PCA 和 SRRI 的潮土土壤属性与田间光谱关系研究^①

汪善勤^{1,2}, 舒宁², 蔡崇法¹

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

带格式的: 行距: 固定值 15 磅

删除的内容:

删除的内容:

删除的内容: :

带格式的: 缩进: 左 0 字符, 右 0 字符, 行距: 固定值 15 磅

摘 要: 应用光谱分析技术可以快速无损地对土壤属性进行定量分析, 是提高农田管理效率的有效途径。使用 ASD Field Hand Held 光谱仪测定了 46 个潮土土样在田间环境中 350~1075 nm 的光谱。采用主成分分析方法和逐步线性回归方法得到了土壤反射辐射指数(SRRI)。该指数描述了土壤属性对光谱的综合作用和反射辐射能的强弱程度。结果表明潮土 pH 和 CEC 与 SOC、Fe₂O₃、Mn 和 TN 等对光谱的影响是不同的。采用 PCA 和 SRRI 方法进行土壤属性的光谱估计, 其结果精度优于偏最小二乘回归方法(PLS), 而且利用土壤属性对 SRRI 的贡献可准确衡量光谱估计土壤属性的可行性。

关键词: 土壤反射辐射指数; 主成分分析; 土壤属性; 土壤光谱

中图分类号: TH83; S15

删除的内容: :

删除的内容: :

带格式的: 列数: 2

光谱测定技术与传统的化学分析手段相比, 能够快速无损地对土壤属性进行定量分析^[1-2]。土壤光谱测定延用了分析化学中室内光谱测定的方法。为了消除水分、质地、土壤类型等对反射光谱的影响, 土样通常需要经过烘干、研磨、过筛等处理, 然后在室内模拟日光照射下测量样品表面的反射光谱。而野外测量光谱受时间、大气条件、环境漫反射等因素的影响, 与土壤属性相关的光谱特征被掩盖或削弱, 因此针对室内测量光谱所建立的模型, 很难用于野外测量光谱分析^[3-4]。土壤物质组份、表面粗糙度、含水量等差异, 也会导致光谱特征的复杂化和非线性化。现有建立光谱估计模型的方法以统计分析模型为主。逐步线性回归和主成分分析方法以特征波段为因变量, 建立线性回归模型, 适用于估计有明显光谱特征的土壤属性, 如水分、Fe 等。偏最小二乘回归方法(PLSR)则建立整个 Vis/NIR 光谱的回归模型, 适用于估计无特征波段的土壤属性, 如有机质、全 N 等。采用统计分析方法建立的回归模型对某一种土壤属性的估计精度比较高, 而且只需要考虑单个土壤属性的光谱特性, 因此适用于室内分析条件可控的情况^[2, 5-7]。上述方法只针对一种土壤属性的光谱特征建模, 忽视了土壤属性的综合作用。本文基于主成分分析(PCA)方法, 通过土壤属性和光谱的主成分间的相关性, 提出能够反映土壤反射光谱辐射能指数(SRRI), 用来描述土壤属性的综合作用对土壤田间反射光谱的影响, 并建立基于 PCA 和 SRRI 的土壤属性估计方法。

1.1 土样光谱与土壤属性测定

野外光谱测定地点位于湖北省潜江市后湖农场, 土壤类型为潮土。首先采集耕层(0~15 cm)混合土样, 共 46 个。然后将土样装入直径 12 cm 的玻璃培养皿中, 用玻璃平板压实。在采样地点, 太阳光照充足条件下, 使用 ASD Field Hand Held 光谱仪测定土样 350~1075 nm 平均反射光谱。

根据对反射光谱的影响程度^[8], 选取测定全 N 等 8 种土壤属性。分别采用半微量开氏法测定全 N(TN); 比重计法测定黏粒含量(CC, <0.002 mm); 干烧法测定有机 C(SOC); 酸度计法测定酸碱度(pH); 1 mol/L 乙酸铵交换法测定阳离子交换量(CEC); 铝盒风干称重法测定田间含水量(WC); 原子吸收光谱法测定全量 Fe(Fe₂O₃); 1 mol/L NH₄OAc 溶液和 NH₄OAc 加对苯二酚溶液浸提, ICP-AES 法测定有效 Mn。

将 46 个土样随机分成 36 个训练样本和 10 个检验样本。训练样本土壤属性的统计特征描述见表 1。

1.2 土壤属性的综合作用与光谱强度的相关性分析

在 350~1075 nm 波段范围内, 土壤的反射光谱曲线不存在明显的反射峰或吸收谷, 土壤理化性质的综合差异是导致反射强度发生变化的主要原因。根据主成分分析(PCA)方法的原理, 贡献率较大的主成分通常包含原数据的主要信息, 因此本文采用 PCA 分别得到土壤属性和光谱的主成分, 并根据它们之间的相

删除的内容: =

带格式的: 字体: (中文) 宋体, 10 磅

带格式的: 字体: 黑体

带格式的: 分散对齐

1 材料与方

删除的内容: :

带格式的: 行距: 固定值 19 磅

带格式的: 节的起始位置: 连续

带格式的: 行距: 固定值 9 磅

①基金项目：土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题基金项目（0751010000）资助。

作者简介：汪善勤（1974—），男，湖北汉川人，博士，讲师，主要从事土壤光谱与遥感定量分析方法和土壤资源环境遥感方面的研究。E-mail: sqwang@mail.hzau.edu.cn

Table 1 Statistics of soil properties of 36 training samples

土壤属性	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数 (%)
TN (g/kg)	1.41	1.96	1.66	0.15	9.0
CC (g/kg)	260	366	324	26.3	8.1
SOC (g/kg)	12.12	18.35	14.83	1.63	11.0
pH	5.16	7.91	6.33	0.72	11.4
CEC (cmol/kg)	20.04	34.06	27.40	3.24	11.8
WC (g/kg)	165.1	246.2	202.2	33.5	16.6
Fe ₂ O ₃ (g/kg)	8.96	16.98	13.12	2.14	16.3
Mn (mg/kg)	226	523	368	56.37	15.3

关性建立土壤属性的综合作用与光谱强度的联系。首先进行数据预处理，分别采用 Z-score 标准化公式消除土壤属性量纲和 Savitzky-Golay 9 点滤波方法平滑光谱。然后，根据 PCA 处理后的累积贡献率得到训练样本的前 n 个土壤属性主成分和前 m 个光谱主成分，分别定义为 $PC_{soil,1..n}$ 和 $PC_{spec,1..m}$ 。在 350~1075 nm 波段范围内，土壤的光谱曲线近似递增直线，因此 $PC_{spec,1}$ 集中大部分光谱的可能性很大，其累计分布概率通常大于 85%，因此只须保留 $PC_{spec,1}$ 。随后采用逐步线性回归分析 $PC_{spec,1}$ 与 $PC_{soil,1..n}$ 的相关性，并建立多元线性回归方程如下：

$$PC_{spec,1} = \beta + \sum_i \alpha_i \cdot PC_{soil,i} \quad (1)$$

式中， β 是回归常数， α_i 是回归系数， $1 \leq i \leq n$ 。

1.3 土壤反射辐射指数 (SRRI)

(1) 式中 $PC_{soil,i}$ 包含的土壤属性信息与反射光谱强度的相关性，可用于描述土壤属性对光谱的综合影响，通过比较 α_i 也可分析属性间或属性组合对光谱作用的影响和强度。本文由此提出土壤反射辐射能指数 (SRRI)，即影响光谱的土壤属性综合指数^[9-10]，其计算公式如下：

$$SRRI = \sum_{i=1}^8 \omega_i p_i = \Omega \cdot P \quad (2)$$

式中， $\Omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_8]$ ， ω_i 是 p_i 的权重，表示土壤属性对光谱的影响程度； $P = [p_1, p_2, \dots, p_8]$ ， p_i 是标准化后的第 i 个土壤属性。 ω_i 由下式计算：

$$\omega_i = \sum_j \alpha_j c_{i,j} \quad (3)$$

式中， α_i 来自 (1) 式， $c_{i,j}$ 是 $PC_{soil,i}$ 中第 i 个土壤属性的权系数。由 (1) 式还可以得到：

$$SRRI = PC_{spec,1} - \beta$$

上述过程是将 8 种土壤属性构成的高维数据投影到一维空间的线性变换， $SRRI$ 的取值范围为 [-1, 1]。当 $SRRI$ 为负值时，表示土壤反射辐射能低于平均水平；反之，则有较强的反射能力。利用 SRRI 比较分析相同类型土壤的反射特点时，可以根据 ω_i 辨明各种土壤属性对光谱的影响程度，从而确定光谱估计土壤属性的可能性。

1.4 土壤属性的估计

(2) 式和 (4) 式使 $SRRI$ 在光谱和土壤属性间建立了桥梁。为了采用光谱估计土壤属性，先利用训练样本估计 β 和 Ω ，然后由 (4) 式求得待估计样本的 $SRRI$ 。将 $SRRI$ 和 Ω 代入 (2) 式，求解得到土壤属性的估计标准值 P ，即：

$$P = \Omega^{-1} \cdot SRRI$$

最后利用训练样本的标准差和均值将标准值转换为有量纲的估计值。

2 结果与分析

2.1 土壤属性的光谱影响分析

对 36 个训练样本的光谱和土壤属性数据进行 PCA 处理，根据累计贡献率 $\geq 85\%$ (图 1，表 2)，选择 $PC_{spec,1}$ 和 $PC_{soil,1-5}$ 。参照 (1) 式，采用逐步线性回归式建立 $PC_{spec,1}$ 的多元回归方程如下：

$$PC_{spec,1} = 8.97 + 0.1372 \times PC_{soil,2} - 0.1659 \times PC_{soil,4} \quad (6)$$

方程的决定系数 $R^2 = 0.84$ ， $F = 15.83$ ， $p (< 0.05) = 0.012$ ， $RMSE = 0.1747$ 。

$PC_{soil,2}$ 和 $PC_{soil,4}$ 与 $PC_{spec,1}$ 的相关系数说明两个主

带格式的：页眉，两端对齐

删除的内容：... [1]

删除的内容：<sp> ... [2]

带格式的：... [3]

带格式的：... [4]

带格式的：... [5]

带格式的：... [6]

带格式的：... [7]

带格式表格

带格式的：... [8]

带格式的：... [9]

带格式的：... [10]

带格式的：... [11]

带格式的：... [12]

带格式的：... [13]

带格式的：... [14]

带格式的：... [15]

带格式的：... [16]

删除的内容：... [17]

删除的内容：(4)

带格式的：字体：10 磅

带格式的：... [18]

带格式的：... [19]

带格式的：... [20]

删除的内容：1.2 土壤属性

带格式的：... [21]

带格式的：... [22]

带格式的：... [23]

带格式的：字体：倾斜

带格式的：字体：10 磅

删除的内容：(1)

删除的内容： Ω

带格式的：... [24]

删除的内容： Ω

带格式的：... [25]

带格式的：... [26]

删除的内容：

删除的内容：... [27]

带格式的：... [28]

带格式的：字体：10 磅

删除的内容：(5)

带格式的：... [29]

带格式的：... [30]

带格式的：字体：10 磅

删除的内容：(2)

带格式的：... [31]

带格式的：... [32]

带格式的：... [33]

删除的内容： Ω

带格式的：... [34]

删除的内容：

带格式的：... [35]

带格式的：字体：10 磅

带格式的：... [36]

带格式的：字体：10 磅

带格式的：... [37]

带格式的：... [38]

成分与土壤光谱的作用密切(表 3), 综合表 2 的系数表明, 8 个土壤属性对 $PC_{soil,2}$ 和 $PC_{soil,4}$ 的因子负荷量均为正, 但贡献不同。CEC 和 pH 对 $PC_{soil,2}$ 的贡献比较显著, 其值越高, 土壤光谱的反射率越高; 同样 WC,

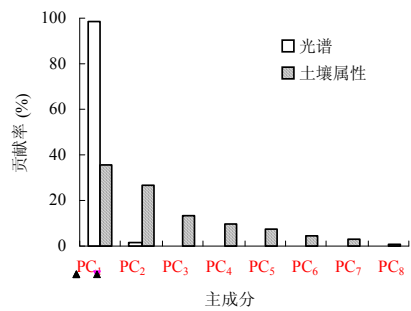


图 1 土壤光谱和属性的前 8 个主成分的贡献率

Fig. 1 Percent variability values of first 8 principle components by PCA on soil spectra and properties

SOC, Fe_2O_3 , Mn 和 TN 等对 $PC_{soil,4}$ 的贡献显著, 但

是它们的含量越高, 土壤光谱的反射率越低。相关研究在分析土壤光谱作用过程后认为^[11-12], 土壤中阳离子含量越高, 其电子活动越多, 与光谱的作用也越强烈, 因此 CEC 和 pH 提高土壤光谱反射率的作用较明显。而水分对光谱有很强的吸收作用, SOC 和 TN 是土壤有机质的主要组成, 当土壤中含有较多的有机质、 Fe_2O_3 或 Mn 时, 其颜色将变暗, 土壤反射率会明显降低。因此, 本文采用 PCA 和逐步回归处理的结果可以反映出类似的土壤属性对光谱的综合作用。

进一步按照 (2)、(3) 式得到 $SRRI$ 的计算式:

$$SRRI = -0.0753 \times WC - 0.0638 \times SOC + 0.0442 \times CEC + 0.0796 \times pH - 0.0223 \times CC - 0.0902 \times Fe_2O_3 - 0.0661 \times Mn - 0.0727 \times TN \quad (7)$$

由(7)式和 8 个土壤属性计算得到的 $SRRI$ 值和 $PC_{spec,1}$ 的相关性明显(图 2), 说明 $PC_{spec,1}$ 包含的光谱信息与土壤属性有关联, 也验证了 (4) 式的有效性。

表 2 5 个土壤属性主成分的系数和贡献率

Table 2 Coefficients and percentages of the total variance explained by $PC_{soil,1-5}$

主成分	系数							贡献率 (%)
	WC	SOC	CEC	pH	CC	Fe_2O_3	Mn	
$PC_{soil,1}$	0.0163	-0.1342	0.6568	-0.1756	0.0386	0.6211	0.3051	35.21
$PC_{soil,2}$	0.0576	0.0635	0.5233	0.7618	0.1437	0.0679	0.1874	26.35
$PC_{soil,3}$	0.1323	0.2214	0.6345	0.3400	0.1765	0.4537	0.3346	13.14
$PC_{soil,4}$	0.5013	0.4371	0.1661	0.1502	0.2531	0.6000	0.5533	9.46
$PC_{soil,5}$	0.2781	0.4376	0.0707	0.3863	0.3256	0.0843	0.3345	7.47

表 3 $PC_{spec,1}$ 与土壤属性前 5 个主成分的相关性

Table 3 Correlation between $PC_{spec,1}$ and the first 5 principle components of soil properties

	$PC_{soil,1}$	$PC_{soil,2}$	$PC_{soil,3}$	$PC_{soil,4}$	$PC_{soil,5}$
$PC_{spec,1}$	0.26	0.47**	0.004	-0.68**	0.036

** : 显著水平 $p < 0.01$ 。

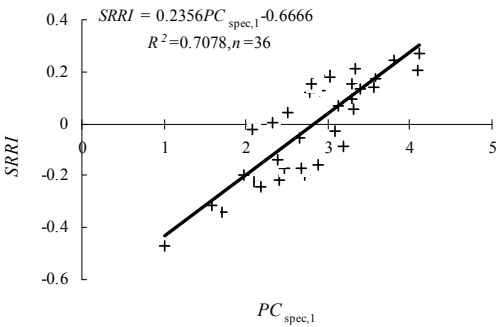


图 2 $SRRI$ 和 $PC_{spec,1}$ 的相关性

Fig. 2 Correlation between $SRRI$ and $PC_{spec,1}$

2.2 土壤属性的估计

按照 1.4 的方法得到土壤属性的估计值, 同时采用 PLS 方法对土壤属性进行估计。两种方法的精度通过 R^2 和 $RMSE$ 进行对比(表 4), $SRRI$ 的估计效果明显优于 PLS。两种方法对 SOC、pH、 Fe_2O_3 和 TN 的估计效果好于其他属性, 其中 $SRRI$ 方法估计 TN 的 $R^2 > 0.8$, 可以认为该方法可用于田间光谱 TN 估计, 具

带格式的: 行距: 固定值 16 磅

带格式的: 字体: 倾斜

带格式的: 字体: 非倾斜

删除的内容: 。

带格式的: 字体: 六号

带格式的: 字体: 六号, 下标

带格式的: 字体: 六号

带格式的: 字体: 倾斜

带格式的: 行距: 固定值 14 磅

带格式的: 行距: 固定值 9 磅

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 固定值 16 磅

带格式的: 行距: 固定值 12 磅

删除的内容: <sp>
 $PC_{spec,1} = 8.97 + 0.1372 \times PC_{soil}$
(6)
方程的决定系数 $R^2 = 0.84$, $F = 15.83$, $p(<0.05)$

删除的内容:

带格式的: 字体: 黑体

删除的内容:

带格式的: ... [40]

带格式的: 字体: 非倾斜

删除的内容: PC_{soil} ... [41]

带格式的: 字体: 黑体

带格式的: ... [42]

带格式的:

带格式的: ... [43]

带格式的: 字体: 黑体

带格式表格

删除的内容: <sp>

带格式的: ... [44]

带格式的: 列数: 2

删除的内容: 进 ... [45]

删除的内容:

删除的内容: ... [46]

带格式的: ... [47]

带格式的: ... [48]

带格式的: 紧缩量 0.1 磅

带格式的: ... [49]

带格式的: 字体: 黑体

带格式的: ... [50]

带格式的: 字体: 非倾斜

有实际应用价值。两种方法对 CEC 和 CC 的估计较差。

ω_i 的绝对值与 SRRI 和 PLS 两种估计的 R^2 均存在比较明显的正相关关系(图 3),因此在获取土壤光谱之前,可用 ω_i 对土壤属性的光谱估计可行性进行预期判断。本研究结果表明采用光谱对 CEC 和 CC 进行估计的可行性不高。

表 4 SRRI 和 PLS 估计土壤属性的比较

Table 4 Predictions comparison of soil properties obtained by SRRI and PLS

土壤属性	SRRI		PLS	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE
WC	0.655	0.035	0.401	0.214
SOC	0.682	0.016	0.652	0.020
CEC	0.23	0.421	0.326	0.365
pH	0.723	0.029	0.683	0.095
CC	0.175	0.218	0.123	0.221
Fe ₂ O ₃	0.739	0.015	0.521	0.027
Mn	0.568	0.035	0.456	0.096
TN	0.825	0.006	0.723	0.008

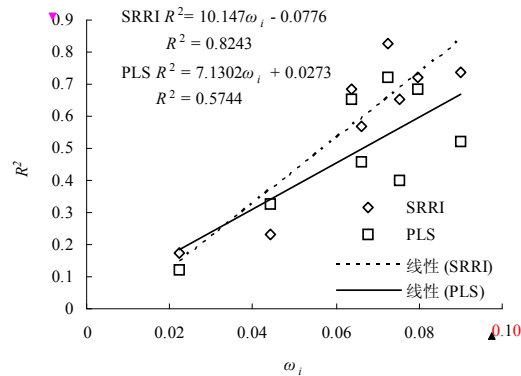


图 3 ω_i 和 SRRI 以及 PLS 两种估计的 R^2 的相关性

Fig. 3 Correlation between ω_i and R^2 of SRRI and PLS models respectively

3 小结

SRRI 描述了土壤属性对光谱的综合作用,反映土壤反射辐射能的强弱。依照土壤属性对 SRRI 的贡献性(ω_i),可以区分土壤属性对光谱的作用,结果表明潮土 pH 和 CEC 与 SOC、Fe₂O₃、Mn 和 TN 等对光谱的影响是不同的。土壤属性的估计结果说明,SRRI 估计土壤属性的效果较好,用 ω_i 可准确衡量光谱估计土壤

属性的可行性。由于土壤属性对光谱的作用非常复杂,本文的研究只对土壤属性的组合影响进行了分析,而土壤属性之间的相互作用对光谱的影响有待深入研究。

参考文献:

- [1] Shepherd KD, Walsh MG. Review: Infrared spectroscopy—enabling an evidence-based diagnostic surveillance approach to agricultural and environmental management in developing countries. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2007, 15(1): 1–20
- [2] Nanni MR, Dematte JAM. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(2): 393–407
- [3] Mouazen AM, Maleki MR, De Baerdemaeker J, Ramon H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(1): 13–27
- [4] 贺军亮, 蒋建军, 周生路, 徐军, 蔡海良, 张春耀. 土壤有机质含量的高光谱特性及其反演. *中国农业科学*, 2007, 40(3): 638–643
- [5] Rossel RAV, Walvoort DJJ, McBratney AB, Janik LJ, Skjemstad JO. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 2006, 131(1/2): 59–75
- [6] 徐永明, 蔺启忠, 王璐, 黄秀华. 基于高分辨率反射光谱的土壤营养元素估算模型. *土壤学报*, 2006, 43(5): 709–716
- [7] Maleki MR, Mouazen AM, Ramon H, De Baerdemaeker J. Optimisation of soil VIS-NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil and Tillage Research*, 2007, 94(1): 239–250
- [8] Dematte JAM, Campos RC, Alves MC, Fiorio PR, Nanni MR. Visible-NIR reflectance: A new approach on soil evaluation. *Geoderma*, 2004, 121(1/2): 95–112
- [9] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 王国栋. 褐潮土的光谱特性及用土壤反射率估算有机质含量的研究. *土壤通报*, 2004, 35(4): 391–395
- [10] 孙建英, 李民赞, 郑立华, 胡永光, 张喜杰. 基于近红外光谱的北方潮土土壤参数实时分析. *光谱学与光谱分析*, 2006, 26(3): 426–429
- [11] Ben-Dor E, Banin A. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59(2): 364–372
- [12] Chodak M, Khanna P, Horvath B, Beese F. Near infrared spectroscopy for determination of total and exchangeable cations in geologically heterogeneous forest soils. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2004, 12(5): 315–324

带格式的: 页眉, 两端对齐

删除的内容:

删除的内容:

带格式的: 行距: 固定值 15.3 磅

删除的内容:

带格式的: 字体: 10 磅

带格式的: 行距: 固定值 15 磅

带格式的: 行距: 固定值 6 磅

带格式的: 行距: 固定值 14.7 磅

删除的内容:

带格式的: 制表位: 225.75 磅, 左对齐

带格式的: 段落间距段后: 0 磅

带格式表格

带格式的: 行距: 固定值 14 磅

删除的内容: ω_i 的绝对值与 SRRI 和 PLS 两种估计的 R^2 均存在比较明显的正相关关系(图 3),因此在获取土壤光谱之前,可用 ω_i 对土壤属性的光谱估计可行性进行预期判断。本研究结果表明采用光谱对 CEC 和 CC 进行估计的可行性不高。

带格式的: 行距: 固定值 16 磅

带格式的: 字体: 六号

带格式的: 行距: 固定值 8 磅

带格式的: 字体: 黑体

带格式的: 居中, 缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 固定值 14 磅

带格式的: 居中, 行距: 固定值 14 磅

删除的内容:

删除的内容:

删除的内容:

<sp> ... [51]

带格式的: 行距: 固定值 17 磅

带格式的: 字体: 10 磅

带格式的: ... [52]

带格式的: 节的起始位置: 连续

删除的内容:

Relationship Between In Situ Spectroscopy and Properties of Fluvo-aquic Soil Based on PCA and SRRI

WANG Shan-qin^{1,2}, SHU Ning², CAI Chong-fa¹

¹ College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

² College of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Spectral analysis is quick and nondestructive to measure soil attributes quantitatively and it is an effective tool to improve management of farmland. Samples of fluvo-aquic soil obtained from 0-15 cm depth were grouped into calibration set (n=36) and validation set (n=10). The in situ spectral reflectance data of oven-dried samples were obtained using an ASD Field Hand Held spectrometer (350-1075 nm). PCA and stepwise linear regression were used to calculate soil reflective radiance index (SRRI) that showed integrate impact of 8 soil properties on the reflectance spectroscopy and the spectral capability of the soil. The results showed that the integrate impact of pH and CEC was different from that of SOC, Fe₂O₃, Mn and TN. PCA and SRRI could get the better prediction of soil properties than PLS. The ability of spectral prediction of each soil properties also can be pre-evaluated by its contribution to SRRI before measuring spectroscopy.

Key words: Soil reflective radiance index, Principle component analysis, Soil properties, Soil spectroscopy

带格式的: 右

带格式的: 行距: 固定值
11 磅

删除的内容:

带格式的: 行距: 固定值
22 磅

带格式的: 字体: 六号

页 966: [1] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-14 20:09:00
------------------	----------	---------------------

页 966: [1] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-14 20:08:00
------------------	----------	---------------------

:

页 967: [2] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-14 17:23:00
------------------	----------	---------------------

①基金项目：土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题基金项目（0751010000）资助。

作者简介：汪善勤（1974—），男，湖北汉川人，博士，讲师，主要从事土壤光谱与遥感定量分析方法和土壤资源环境遥感方面的研究。E-mail: sqwang@mail.hzau.edu.cn

字体: (默认) 黑体, (中文) 黑体

页 967: [4] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:40:00
-----------------	----------	---------------------

字体: 黑体

页 967: [4] 带格式的	xuxiaoyu	2008-12-06 16:05:00
-----------------	----------	---------------------

带格式的

页 967: [4] 带格式的	xuxiaoyu	2008-12-06 16:05:00
-----------------	----------	---------------------

字体: (国际) 黑体

页 967: [4] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:40:00
-----------------	----------	---------------------

字体: 黑体

页 967: [5] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
-----------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [6] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
-----------------	----------	---------------------

段落间距段后: 6 磅, 行距: 固定值 15 磅

页 967: [7] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
-----------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [8] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
-----------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [9] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
-----------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [10] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [11] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [12] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [13] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [14] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [15] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [16] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 15 磅

页 967: [17] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-30 16:50:00
-------------------	----------	---------------------

页 967: [17] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-30 16:50:00
-------------------	----------	---------------------

页 967: [18] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

缩进: 首行缩进: 0 字符, 段落间距段前: 4 磅, 段后: 2 磅, 行距: 单倍行距

页 967: [19] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 固定值 16 磅

页 967: [20] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:09:00
------------------	----------	---------------------

缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 固定值 16 磅

页 967: [21] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-14 17:24:00
-------------------	----------	---------------------

1.2 土壤属性的综合作用与光谱强度的相关性分析

在 350~1075 nm 波段范围内, 土壤的反射光谱曲线不存在明显的反射峰或吸收谷, 土壤理化性质的综合差异是导致反射强度发生变化的主要原因。根据主成分分析 (PCA) 方法的原理, 贡献率较大的主成分通常包含原数据的主要信息, 因此本文采用 PCA 分别得到土壤属性和光谱的主成分, 并根据它们之间的相关性建立土壤属性的综合作用与光谱强度的联系。首先进行数据预处理, 分别采用 Z-score 标准化公式消除

页 967: [22] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:47:00
------------------	----------	---------------------

字体: 倾斜

页 967: [22] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:48:00
字体: 倾斜		
页 967: [23] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:09:00
行距: 固定值 16 磅		
页 967: [24] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:48:00
字体: 倾斜		
页 967: [24] 带格式的	xuxiaoyu	2008-12-06 16:05:00
字体: 倾斜		
页 967: [25] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
行距: 固定值 16 磅		
页 967: [26] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:43:00
字体: 黑体		
页 967: [26] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:43:00
字体: (国际) 黑体		
页 967: [26] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:43:00
字体: (国际) 黑体		
页 967: [26] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:43:00
带格式的		
页 967: [27] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-30 17:02:00
页 967: [27] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-30 17:02:00
页 967: [28] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:07:00
缩进: 首行缩进: 2.5 字符, 段落间距段前: 3 磅, 段后: 3 磅		
页 967: [29] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:09:00
缩进: 首行缩进: 21 磅, 行距: 固定值 16 磅		
页 967: [30] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:07:00

行距: 固定值 16 磅

[illegible]

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体

页 967: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 16:51:00
------------------	----------	---------------------

字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体

页 967: [35] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:19:00
------------------	----------	---------------------

首行缩进: 0 字符, 段落间距段前: 6 磅, 段后: 3 磅

页 967: [36] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:09:00
------------------	----------	---------------------

段落间距段前: 4 磅

页 967: [37] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:19:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 16.1 磅

页 967: [38] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:08:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 16 磅

页 968: [39] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-30 17:04:00
-------------------	----------	---------------------

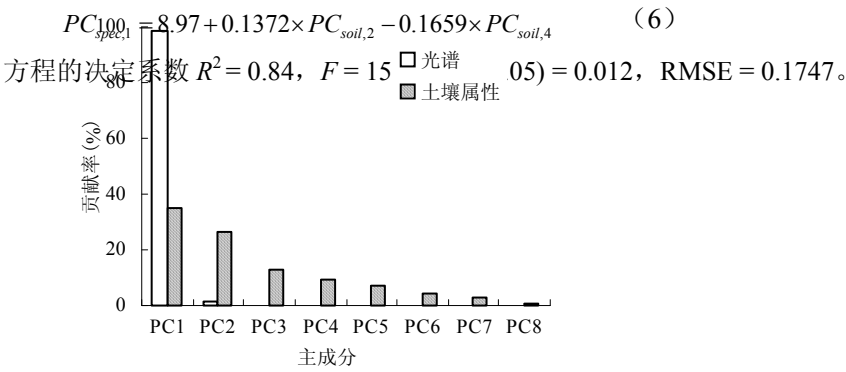


图 1 土壤光谱和属性的前 8 个主成分的贡献率

Fig. 1 Percent variability values of first 8 principle components by PCA on soil spectra and properties

图 1 土壤光谱和属性的前 8 个主成分的贡献率
Fig.1 Percent variability values of first 8 principle components by PCA on soil spectra and properties

页 968: [40] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-30 17:18:00
------------------	----------	---------------------

行距: 固定值 12 磅

页 968: [41] 删除的内容	xuxiaoyu	2008-11-30 17:00:00
-------------------	----------	---------------------

$PC_{soil,2}$ 和 $PC_{soil,4}$ 与 $PC_{spec,1}$ 的相关系数说明两个主成分与土壤光谱的作用密切 (表 3), 综合表 2 的系数表明, 8 个土壤属性对 $PC_{soil,2}$ 和 $PC_{soil,4}$ 的因子负荷量均为正, 但贡献不同。CEC 和 pH 对 $PC_{soil,2}$ 的贡献比较显著, 其值越高, 土壤光谱的反射率越高; 同样 WC, SOC, Fe_2O_3 , Mn 和 TN 等对 $PC_{soil,4}$ 的贡献显著, 但是它们的含量越高, 土壤光谱的反射率越低。相关研究在分析土壤光谱作用过程后认为^[11-12], 土壤中阳离子含量越高, 其电子活动越多, 与光谱的作用也越强烈, 因此 CEC 和 pH 提高土壤光谱反射率的作用较明显。而水分对光谱有很强的吸收作用, SOC 和 TN 是土壤有机质的主要组成, 当土壤中含有较多的有机质、 Fe_2O_3 或 Mn 时, 其颜色将变暗, 土壤反射率会明显降低。因此, 本文采用 PCA 和逐步回归处理的结果可以反映出类似的土壤属性对光谱的综合作用。

页 968: [42] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-14 17:08:00
------------------	----------	---------------------

字体: (国际) 黑体

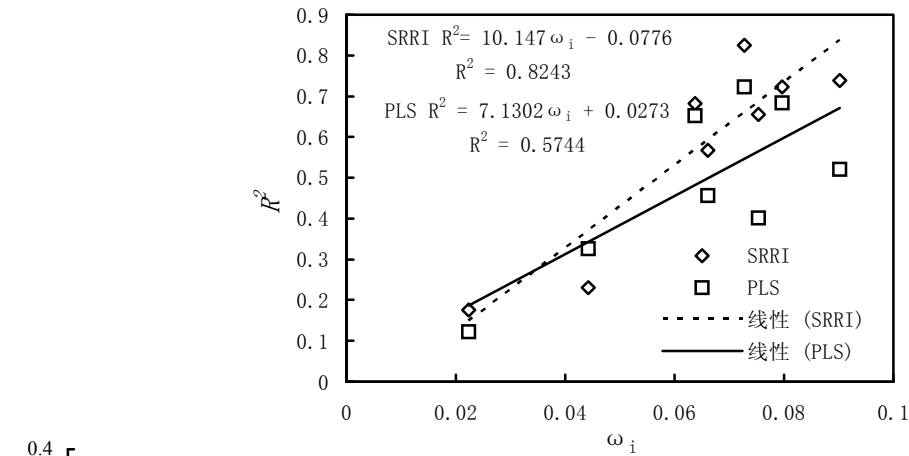
页 968: [43] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-14 17:08:00
------------------	----------	---------------------

字体: (国际) 黑体

页 968: [44] 带格式的	xuxiaoyu	2008-11-14 17:08:00
------------------	----------	---------------------

缩进: 首行缩进: 15 磅

进一步按照 (2)、(3) 式得到 SRRI 的计算式:



$$SRRI = 0.2356 PC_{spec,1} - 0.6666 \quad (7)$$

$$SRRI = -0.0753 \times WC - 0.0638 \times SOC + 0.0442 \times CEC + 0.0796 \times pH - 0.0223 \times CC - 0.0911 \times Ca^{2+} - 0.0661 \times Mn - 0.0727 \times TN$$

由 (7) 式和 8 个土壤属性计算得到的 SRRI 值和 $PC_{spec,1}$ 的相关性明显 (图 2), 说明 $PC_{spec,1}$ 包含的光谱信息与土壤属性有关, 也验证了 (4) 式的有效性。

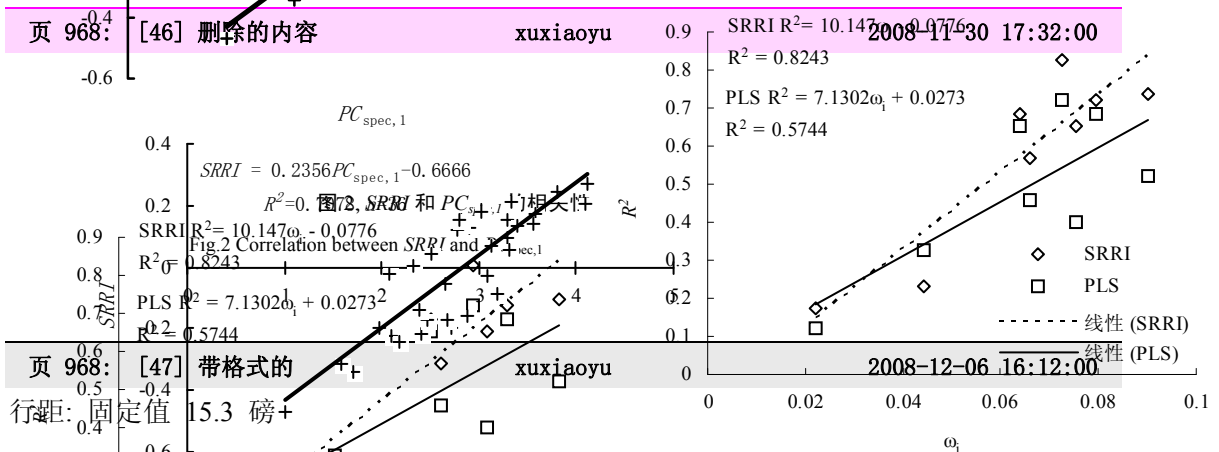


图 3 ω_i 和 SRRI 以及 PLS 两种估计的 R^2 的相关性

Fig. 3 Correlation between ω_i and R^2 of SRRI and PLS models respectively

行距: 固定值 15.3 磅

制表位: 225.7

图 2 SRRI 和 $PC_{spec,1}$ 的相关性

Fig. 2 Correlation between SRRI and $PC_{spec,1}$

缩进: 首行缩进: 0 字符

图 2 SRRI 和 $PC_{spec,1}$ 的相关性

Fig. 2 Correlation between SRRI and $PC_{spec,1}$

缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 固定值 12 磅

图 3 ω_i 和 SRRI 以及 PLS 两种估计的 R^2 的相关性
Fig. 3 Correlation between ω_i and R^2 of SRRI and PLS models respectively

缩进: 首行缩进: 2 字符, 行距: 固定值 16 磅