

应用光谱资料对土壤和 土地利用进行数值分类*

徐 彬 彬

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤的波谱反射特性是土壤遥感数据信息处理和计算机自动识别分类的物理学基础。我们曾以云南腾冲光谱试验区的室内外测试资料,应用聚类分析进行了土壤和土地利用分类的尝试¹⁾。本文拟用同样资料,应用主组元分析进行分类识别,以期为土壤遥感的数据处理,提供一个较为有利的途径。

主组元分析已在包括土壤和遥感在内的各个科学技术领域中得到广泛应用^{2),3)}。关于主组元分析的原理和计算步骤⁴⁾,本文不另赘述。

一、资料概况和计算结果

在云南省腾冲县,侍郎坝水库以东,我们建立了一个约 2.5 平方公里范围的光谱试验区⁴⁾。先在比例尺为 1:15,000 左右的航空象片上,勾划一个纵横间距各约 1 厘米(实地约 150 米)左右的随机格网。而后,在实地测试每个格网点上地面实况的光谱反射特性,共实测 115 个点位。

此外,在每个测试点上均采集了 0—5 厘米深度的土样供室内测试光谱反射特性,共采 107 个样品(有 8 个点位,因是水面或已灌水的稻田无法取样)。测试样品均风干后,研磨过 20 孔筛。

在野外使用 302 型分光光度计,有效光谱范围为 400—900 毫微米。室内使用苏制 CФ-10 分光光度计,测试范围为 400—750 毫微米。

把 107 个土壤样品室内测试资料的波段范围,以每 50 毫微米为间隔,分为 7 个波段。把 115 个野外地面实况测试资料的波段范围,以每 100 毫微米为间隔,分为 5 个波段。

室内外测试资料各波段反射率的平均值(\bar{x}_i)和标准差(S_i)分别列于表 1 和表 2。各波段反射率的相关阵分别列于表 3 和表 4。

从表 3 和表 4 中可见:所有波段的反射率彼此均成正相关,且在概率为 0.05 的显著

* 本项工作得到戴昌达、刘多森等同志指导和帮助;参加野外光谱测试工作的还有云南农垦总局设计院李涛、中国科学院林业土壤研究所刘振国、云南省保山农校刘基德等同志,在此一并致谢。

1) 戴昌达等, 1979: 腾冲土壤遥感的初步研究。(资料)

2) 村井 俊治、前田 絃, 利用陆地卫星图象资料的主成分分析进行水环境评价, 严蔚云译自写真测量とリモートセンシング Vol. 15, No. 1, 1976。

表 1 107 个土样室内测试的各波段反射率的均值(\bar{X}_j)和标准差(S_j)Table 1 Mean values (\bar{X}_j) and standard deviations (S_j) of the reflectances in each band of 107 soil samples in laboratory test

波段 (j)(nm) Band	1 (400-450)	2 (450-500)	3 (500-550)	4 (550-600)	5 (600-650)	6 (650-700)	7 (700-750)
$\bar{X}_j(\%)$	9.69	12.10	15.58	21.90	27.64	31.64	35.48
$S_j(\%)$	2.83	3.35	3.76	4.69	6.56	7.45	8.09

表 2 115 个野外地面实况测试的各波段反射率的均值(\bar{X}_j)和标准差(S_j)Table 2 Mean values (\bar{X}_j) and standard deviations (S_j) of the reflectances in each band of 115 field observation spots

波段 (j)(nm)Band	1 (400-500)	2 (500-600)	3 (600-700)	4 (700-800)	5 (800-900)
$\bar{X}_j(\%)$	11.03	17.99	28.02	37.61	39.79
$S_j(\%)$	3.52	5.49	6.73	10.02	10.29

表 3 土样各波段反射率相关阵

Table 3 Correlation matrix of the reflectances in each band of soil samples

相关系数 r 波段 Band	波段 Band	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	0.9916	0.9436	0.6052	0.2951	0.2188	0.1843
2	2		1	0.9779	0.6980	0.4074	0.3336	0.2996
3	3			1	0.8295	0.5833	0.5166	0.4850
4	4				1	0.9365	0.9051	0.8879
5	5					1	0.9965	0.9915
6	6						1	0.9984
7	7							1

表 4 野外地面实况的各波段反射率相关阵

Table 4 Correlation matrix of the reflectances in each band of field observation spots

相关系数 r 波段 Band	波段 Band	1	2	3	4	5
1	1	1	0.9042	0.6449	0.2109	0.2532
2	2		1	0.8177	0.3327	0.3922
3	3			1	0.7812	0.7963
4	4				1	0.9671
5	5					1

性水准上,相关系数都是显著的;相邻波段的相关性极高,有的几乎接近于1。这说明各波段反射率所提供的信息有大部分是重叠的。

室内外资料各波段反射率相关阵的前二个主组元的贡献率列于表5。对应于前二个特征值的正规化特征向量(权系数)列于表6。

表 5 室内外资料的前二个主组元的贡献率

Table 5 Explained variance of first and second principal components obtained from laboratory and field data

主 组 元 Principal component	室 内 In laboratory		野 外 In field	
	1	2	1	2
特 征 值 λ , Eigenvalue	5.0738	1.9161	3.4749	1.3478
贡 献 率 (%) Explained variance	72.48	27.37	69.50	26.96
累 计 贡 献 率 (%) Cumulative variance	72.48	99.85	69.50	96.46

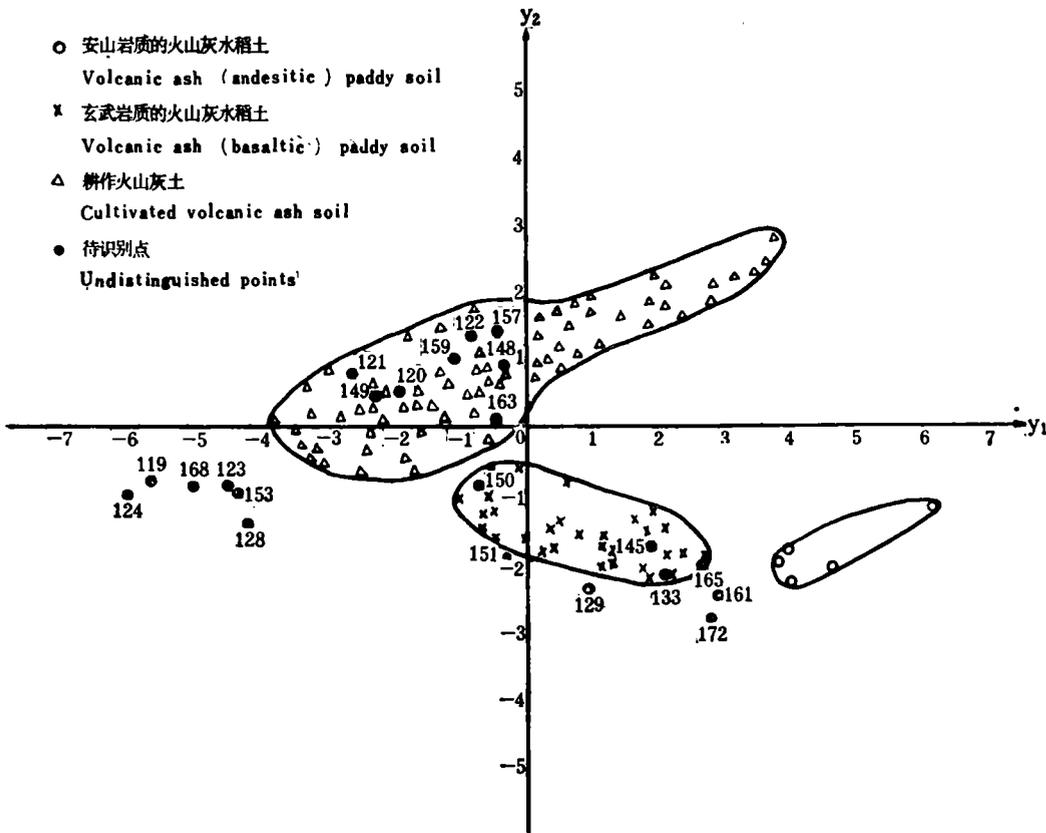


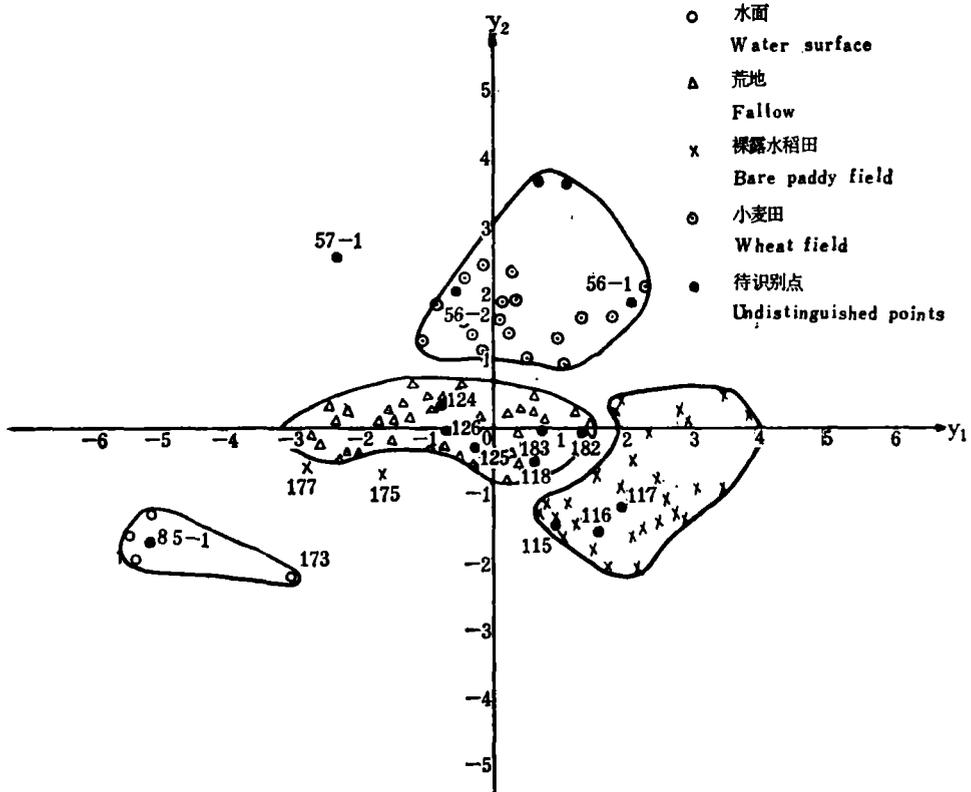
图 1 107 个土壤样品按第 1, 2 主组元 (y_1, y_2) 分类

Fig. 1 Classification of 107 soil samples based on the 1st and 2nd principal components (y_1, y_2)

表 6 室内外资料的前二个主组元的权系数

Table 6 Eigenvectors of first and second principal components obtained from laboratory and field data

波 段 Band	室 内 In laboratory		野 外 In field	
	1	2	1	2
1	0.3057	-0.5225	0.3803	-0.5689
2	0.3424	-0.4598	0.4411	-0.4686
3	0.3922	-0.3369	0.5247	0.0079
4	0.4409	0.0767	0.4317	0.4971
5	0.3975	0.3213	0.4463	0.4577
6	0.3805	0.3718		
7	0.3718	0.3934		

图 2 115 个野外点位按第 1, 2 主组元 (y_1, y_2) 分类Fig. 2 Classification of 115 field observation points based on the 1st and 2nd principal components (y_1, y_2)

由表 5 可见: 室内外资料的第 1, 2 两个主组元的累计贡献率分别为 99.85% 和 96.46%, 说明用这两个主组元所提供的信息几乎可以完全反映原来 7 个波段和 5 个波段所提供的全部信息。

依每个样点的第 1 和第 2 主组元值 (y_{11} , y_{12}), 在以 y_1 和 y_2 为纵横座标的二维平面图上点图。107 个样品点分别聚集于耕作火山灰土和分属于玄武岩质及安山岩质的火山灰水稻土三个围线内 (图 1); 115 个野外点位分别聚于水面 (包括已灌水的稻田)、荒地 (包括轮荒地)、落干的水稻田、小麦田四个围线内 (图 2)。

二、未知类型的识别

根据表 1, 2 和 6 可分别建立土壤和野外地表实况的主组元方程。

土壤的第 1 和第 2 主组元 (y_1 , y_2) 方程为:

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.1080x_1 + 0.1022x_2 + 0.1043x_3 + 0.0940x_4 \\ &\quad + 0.0606x_5 + 0.0511x_6 + 0.0460x_7 - 10.8880 \\ y_2 &= -0.1847x_1 - 0.1373x_2 - 0.0896x_3 + 0.0164x_4 \\ &\quad + 0.0490x_5 + 0.0499x_6 + 0.0486x_7 - 0.1692 \end{aligned}$$

野外地表实况的第 1, 2 主组元方程为:

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.1080x_1 + 0.0803x_2 + 0.0780x_3 + 0.0431x_4 \\ &\quad + 0.0434x_5 - 8.1679 \\ y_2 &= -0.1616x_1 - 0.0853x_2 + 0.0012x_3 + 0.0496x_4 \\ &\quad + 0.0445x_5 - 0.3512 \end{aligned}$$

式中 x_j 分别为土样或野外点位第 j 波段的反射率。

在侍郎坝光谱试验区以外取若干待识别样点, 测试其土样或野外地表实况的光谱反射率, 并将该资料分别代入上述相应的主组元方程, 求得主组元值后, 分别在图 1 或图 2 上点图, 视落点的位置, 即可判定其属何类型。

22 个待识别的土壤样点判定结果列于表 7。

在图 1 上比较集聚的 119, 168, 123, 124, 128, 153 号待识别点, 据野外观察属于火山灰发育的自然土壤。由于参与主组元计算的土样中没有这类土壤, 故难以从图 1 准确判断其类型。但图 1 清楚地显示了, 火山灰土壤从自然状态经旱作或水耕后光谱反射特性之规律性变化。

水稻土无论其起源土壤的类型如何, 一经逐年灌水植稻, 发育成水稻土后, 其波谱特性是基本一致的¹⁾。因此, 不是火山灰发育的水稻土的 133, 145, 165, 172 号待识别点均落在图 1 火山灰水稻土围线内或围线外下部。从火山灰水稻土围线中的点可见, 种植水稻时间越长, 点位就越趋向围线内的下部。反之, 种稻不久的土壤, 尚保持一定耕种火山灰土的特性, 其点位则在围线内的上部, 并与耕种火山灰土的围线相近。

13 个待识别的野外地面实况的判定结果列于表 8。由图 2 和表 8 可见, 根据地表实况的光谱资料基本上能准确区分土地利用类型。

1) 戴昌达等, 1979: 腾冲土壤遥感的初步研究(资料)。

表 7 试验区外的土壤类型识别

Table 7 Identification of soil types outside the test area

土壤样品号 Number of soil samples	实际类型 Real type	识别类型 Identification type
119	火山灰土 Volcanic ash soil	在图上左侧 On the left of the figure
123	火山灰土 Volcanic ash soil	在图上左侧 On the left of the figure
124	火山灰土 Volcanic ash soil	在图上左侧 On the left of the figure
128	火山灰土 Volcanic ash soil	在图上左侧 On the left of the figure
153	火山灰土 Volcanic ash soil	在图上左侧 On the left of the figure
168	火山灰土 Volcanic ash soil	在图上左侧 On the left of the figure
120	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
121	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
122	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
148	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
149	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
157	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
159	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
163	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil	耕作火山灰土 Cultivated volcanic ash soil
129	玄武岩质的火山灰水稻土 Volcanic ash (basaltic) paddy soil	在玄武岩质的火山灰水稻土围线边上 Close to the contour of the volcanic ash (basaltic) paddy soil
150	玄武岩质的火山灰水稻土 Volcanic ash (basaltic) paddy soil	玄武岩质的火山灰水稻土 Volcanic ash (basaltic) paddy soil
151	玄武岩质的火山灰水稻土 Volcanic ash (basaltic) paddy soil	在玄武岩质的火山灰水稻土围线边上 Close to the contour of the volcanic ash (basaltic) paddy soil
161	玄武岩质的火山灰水稻土 Volcanic ash (basaltic) paddy soil	在玄武岩质的火山灰水稻土围线下面 Under the contour of the volcanic ash (basaltic) paddy soil
133	黄泥田 Huangnitian soil (paddy soil derived from diluvial materials)	在玄武岩质的火山灰水稻土围线末端 On the right edge of the volcanic ash (basaltic) paddy soil
145	草甸性水稻土 Paddy soil derived from meadow soil	在玄武岩质的火山灰水稻土围线末端 On the right edge of the volcanic ash (basaltic) paddy soil
165	沙泥田 Shanitian soil (coarse-textured paddy soil derived from diluvial and diluvial materials)	在玄武岩质的火山灰水稻土围线末端 On the right edge of the volcanic ash (basaltic) paddy soil
172	河泥田 Honitian soil (paddy soil derived from alluvial materials)	在玄武岩质的火山灰水稻土围线下面 Under the contour of the volcanic ash (basaltic) paddy soil

表 8 试验区外的土地利用类型识别¹⁾

Table 8 Identification of land use patterns outside the test area

野外点位号 Number of field observation spot	利用实况 Real regime	识别类型 Identification type
124	荒 地 Fallow	荒 地 Fallow
125	荒 地 Fallow	荒 地 Fallow
126	荒 地 Fallow	荒 地 Fallow
182	荒 地 Fallow	荒 地 Fallow
183	荒 地 Fallow	荒 地 Fallow
115	裸露水稻田 Bare paddy field	裸露水稻田 Bare paddy field
116	裸露水稻田 Bare paddy field	裸露水稻田 Bare paddy field
117	裸露水稻田 Bare paddy field	裸露水稻田 Bare paddy field
118	裸露水稻田 Bare paddy field	荒 地 Fallow
56-1	小 麦 田 Wheat field	小 麦 田 Wheat field
56-2	小 麦 田 Wheat field	小 麦 田 Wheat field
57-1	小 麦 田 wheat field	在小麦田围线的左侧 The left of wheat field contour
85-1	水 面 Water surface	水 面 Water surface

1) 56-1, 56-2, 57-1, 85-1 的光谱数据系根据中国科学院七八〇工程指挥部1979年5月印发的资料。

三、结果分析

通观室内外主组元分析资料, 第1主组元显示着土样或地表实况波谱的总的反射水准, 即决定于该物体的平均亮度水准, 故第1主组元的特征向量(权系数)的各分量均为正值, 且数值大致相同。第2主组元则显示着土样或地表实况波谱中, 长波波段与短波波段反射水准之比率, 故在第2主组元的特征向量中, 相应于波长小于黄红光的波段(即400—550或400—600毫微米)的各分量均为负值, 而红光及近红外波段均为正值, 且两者的绝对值相近, 因此, 经线性组合后的第2主组元的代数值直接反映了土样或地表实况的长波波段反射水准。

土样的第1主组元的物理意义主要是反映了该土壤有机质含量和暗色矿物的多寡。土壤有机质含量越高, 其点位越在图1的左侧。如自然状态的火山灰土的有机质含量一般均在20%左右(168, 153号点的有机质含量分别为19.55%和17.78%), 高的则可达30%以

上^[6](124号点有机质含量为37.55%)。经过耕种以后,有机质含量下降,点位逐渐向右移动,如耕种火山灰土中149,157,148号点的有机质含量依次为6.28%,4.53%,4.37%;再如火山灰水稻土中150,151,161号点的有机质含量分别为8.24%,7.29%,4.40%。由于安山岩的暗色矿物(黑云母、辉长石,角闪石等)含量较少,所以由安山岩质火山灰上发育的水稻土位于图1右侧。

土样的第2主组元的物理意义主要是反映了土壤中铁的形态。在当地旱作土壤中,铁一般以氧化铁的形态存在,而铁的氧化物在失水情况下呈鲜艳的红色。土壤中氧化铁的含量越高,则色泽越红,其长波波段的反射必然越强。反之,种植水稻后,在长期渍水条件下,随着氧化还原电位的降低,高价铁逐步还原成亚铁。氧化亚铁一般呈浅蓝,灰蓝或微灰绿色^[7]。因此,水稻土必然在短波波段的反射率较强。在主组元分类图(图1)上,旱作时间越长,氧化铁含量越高,则点位越趋向于上部。反之,植稻时间越长,还原作用越强,则点位越趋向于下部。

地表实况的第1主组元的物理意义主要是反映野外土壤含水量。由于野外测试时,正当旱季,落干的水稻土表层非常干燥,增加了它的光谱反射能力,因此,均排列在图2的右侧。水面在整个波段的反射率均很低,所以其点在图的左侧,湿度介于两者之间,地表有干枯荒草覆盖的荒地的点位,则在图的中部。有趣的是,177,175两个水稻土,由于测试时刚灌过水不久,地面虽无积水,但土壤甚湿,其点位就逸出水稻土的围线,而趋于左侧。同样,173号点是正在灌水的稻田,水非常混浊,实际上是水和土的高浓度悬浊液,它的光谱反射特性也反映了水和土的混合影响,所以它的点位又有别于其它清澈的水面而向右侧移动。

地表实况的第2主组元的物理意义主要是反映了地表绿色植物的覆盖度。含有叶绿素植物光谱反射的共同特性是在近红外波段(大于700毫微米)出现一个强烈的反射带。因此,长波波段的反射率的高低,必然反映了地表绿色植物的长势和覆盖度。如图2最高的两个点,则是小麦长势最好的二个点位。测试时,小麦高40厘米左右,地表覆盖度达90%以上,而当时长势一般的小麦株高仅约20厘米,覆盖度只有50%左右。

从上述结果分析可以看出,根据土壤波谱特性的室内外测试资料,运用主组元和聚类分析两种不同的多元分析方法进行土壤类型和土地利用类型分类识别,其结果是吻合的,比较而言,二种方法各有参差。聚类分析,能依土壤亲疏关系逐级进行分类,能得出分支明显的谱系图;然而,由于定义类与类之间的距离方法较多,需视实际问题而定,故增加了计算的复杂性和灵活性。主组元分析则方法固定,一次计算即可完成,能明确反映各种土壤波谱特性的物理意义,即主组元的物理意义。因此,若能将二者结合使用,互为补充,则效果更好。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质研究所编著,1977: 数学地质引论 159—195页,地质出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编,1978: 中国土壤。345—350页,科学出版社。
- [3] 刘多森,1979: 主组元分析在分辨土壤类型及风化—成土过程上的应用。土壤学报,第16卷2期,172—183页。
- [4] 周慧珍、赵锐,1980: 电子计算机自动绘制土壤图的尝试——以云南腾冲侍郎坝土壤图为例。土壤,第4期,131—136页。
- [5] Gruijter, J. J. de, 1977: Numerical Classification of Soils and its Application in Survey. Soil Survey

Papers, No. 12, 59—62, Soil Survey Institute, Wageningen, The Netherlands.

- [6] Ministry of Agriculture and Forestry Japanese Government, 1964; Volcanic Ash Soils in Japan. 135—137, Sakurai-Kosaido Printing Co. Ltd. Tokyo.

NUMERICAL CLASSIFICATION OF SOILS AND LAND USE BY SPECTRAL DATA

Xu Bin-bin

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

Based on the spectral data obtained from laboratory and field experiments in Teng-chong spectral test area, the automatic identification and classification of soil types and land use patterns had been carried out by the use of the principal component analysis. Two principal component equations based on the laboratory data can be used to identify soil types developed from different parent materials and of different land use patterns: Another two principal component equations based on field data can be used to distinguish different land use patterns such as fallow, bare land, wheat field and water etc.