

华南主要土壤类型的光谱 特性与土壤分类

黄应丰 刘腾辉

(华南农业大学, 510642)

摘 要

本文研究了华南地区主要土壤的光谱反射特性,进行了土壤光谱的主组元分析、模糊聚类及与土壤理化性状作相关性分析,土壤光谱特征分类与现行中国土壤分类系统及中国土壤系统分类进行了比较对照。其主要结果表明,华南地区主要的光谱曲线的形态特征,主要表现为平直型(玄武岩发育砖红壤类)、缓斜型(水稻土类)和陡坎型(红、黄壤类)三种类型;土壤光谱分类与按母质母岩划分高度一致;应用主组元分析对土壤光谱进行分类,结果与现行土壤分类有一定的吻合性,而不吻合部分(如水稻土、火山灰土)由于受地带性因素的深刻影响,被归属于所处地带的地带性土类;综合应用土壤光谱特征指标及其它一些分类指标(如 B 层粘粒硅铝率、阳离子交换量、砂粘比等能更有效区分土壤类型,分类结果与按中国土壤系统分类相当吻合。土壤光谱特征指标尤其适用于土属一级的划分,符合率在 83% 以上。

关键词 土壤光谱反射特性,数理分析,土壤分类

近年来,土壤分类已由传统的剖面形态、零散指标的比较走向定量、数理统计的轨道。由于以诊断层和诊断特性为依据的土壤分类,能借助电子计算机的方法进行分类,显示出了巨大的优越性,因而代表了当今世界许多国家土壤分类的新方向。《中国土壤系统分类(首次方案)》的提出^[1],标志着我国土壤分类由过去的定性土壤分类发展到定量分类的重要阶段。现在(首次方案)对各土壤类型的诊断层和诊断特性已提出了一些具体指标,但根据成土因素学说,土壤分类指标每因土壤类型而异,每种指标只适用于一部分土壤类别,因此,不断验证和充实不同地域土壤类型有比较统一的诊断层和诊断指标,对(首次方案)的完善是非常必要的。

土壤的光谱反射率是土壤内在的理化特性之光谱行为的综合反应,所以研究土壤光谱特性有可能为土壤分类提供判别指标。自 Bower 和 Hanks (1965) 开始用光谱辐射计对土壤光谱反射率进行研究以来^[2],许多学者用多种方法对土壤光谱反射率进行了研究^[6-8],但他们的工作多数局限于结合遥感特性或对表层土的初步分析,未能综合地提出较明确的土壤判别分类指标。

本文试图通过对华南几类主要土壤的发生层土壤光谱反射率的测定,运用对比分析和数学的手段提取出土壤的光谱特征差异,探讨光谱特征分类及土壤发生分类及土壤系统分类的吻合性,为土壤分类提供土壤光谱特征的分类指标。

一、材料与方 法

(一) 供试土壤样品 本研究收集了代表我国南方主要土壤的砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、水稻土和火山灰土等六个土类,共 33 个土壤剖面的心土层土样。它包括多种类型成土母质的发生层土壤。其基本情况见表 1。

(二) 光谱测定 采集到的土样经风干研磨,全部通过孔径 1 mm 筛,然后装盒用日立 340 型分光光度计,在室内测定 360—2500nm 的土样光谱反射率,每间隔 10nm 得一个数据,每个样品共测得 215 个反射率数据,同时自动打印出光谱反射率的变化曲线。

(三) 化学分析 粘粒全量分析按常规方法进行;土壤有机质采用丘林法;阳离子交换量用 EDTA-铵盐快速法测定;土壤机械组成用比重计法测定。

(四) 土壤光谱特征指标的提取 已有的研究表明^[4,8-10],450nm 波段的光谱值与土壤水分含量有关;500—640nm 波段与土壤中的氧化铁有关;620—660nm 波段与土壤有机质呈负相关。Stoner 等认为 750—1300nm 波段的反射率低,是与土壤中含大量的铁和粘重的质地有关^[6]。戴昌达认为 600—680nm 波段是土壤遥感的最佳波段^[11]。徐彬彬等在研究宁芜地区土壤遥感资料之后,初步确认宜于土壤遥感的最佳工作波段组合为 400—500,580—690,730—800,820—920,1080—1200,1540—1700,2050—2300nm^[2]。作者在参照前人研究结果的基础上,对测得 33 条土壤光谱曲线的形态变化进行分析,选取了 420—460,480—500,500—540,560—600,630—690,760—820,820—920,1080—1200,1540—1740,2050—2300nm 等 10 个特征波段,进行形态和斜率变化的分析,探讨其与土壤发生、分类的关系。被提取到的 10 个光谱特征变量的原始数据列于表 2。

二、结果与讨论

(一) 土壤光谱特性分类

土壤光谱反射率的测定结果表明,成土母质对土壤光谱反射率有着重要影响。纵观 33 个土壤剖面的光谱曲线形状特征和斜率变化情况,可将它们分别归纳为平直型、缓斜型和陡坎型三类,这与戴昌达等的研究结果相类似^[4]。

平直型类土壤包括火山灰土和大部分玄武岩发育形成的砖红壤等(见图 1),这类土壤的氧化铁含量、有机质含量都较高,土体颜色较暗。其光谱特征表现在整个测定波段(360—2500nm)的斜率小而稳定,曲线基本上呈一条与 x 轴平行的曲线,造成这种特征曲线的原因主要与其高氧化铁及高有机质含量有关。

南方湿热条件下发育的红壤类包括花岗岩发育砖红壤、赤红壤、红壤及黄壤形成陡坎型曲线(见图 1)。其主要特征是:在可见光区曲线陡峻,斜率剧增,但斜率增高程度不等,形成几个波折。进入红外波段后,一般在 1400,1900,2200nm 附近有强烈的吸收谷,这几个吸收谷是水分的吸收带,通常认为与铁的氧化物及高岭类粘土矿物中所含 OH^- 有关。此外,还认为与氧化铁含量及铁的形态有关。

黄壤和花岗岩发育的砖红壤,其光谱曲线虽与红壤类同属陡坎型,但彼此又有些明显差异。砖红壤曲线位置总的偏低,这意味着砖红壤中含有比红壤或赤红壤更多的铁铝三氧化物。黄壤类的特征与砖红壤正好相反,即光谱曲线位置总的偏高,这与黄壤中氧化铁的高度水化有关。

表 1 供试样品的基本性质
Table 1 Basic properties of test soils

剖面号 Profile No.	采样地点 Locality	土壤名称 Soil name	成土母质 Parent material	地形 Topo- graphy	海拔 (m) Altitude	采样深度 (cm) Depth	有机质 (g/kg) O.M.	SiO ₂ (g/kg)	Fe ₂ O ₃ (g/kg)	Al ₂ O ₃ (g/kg)	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	机械组成 Mechanical composition		粉砂 粘粒 Silt/ clay	CEC cmol (+)/kg	水分 (风干, g/kg) H ₂ O (Air dry)	土壤颜色 ¹⁾ Soil color
												0.005— 0.001 (mm)	<0.001 (mm)				
1	海南琼 山灵山	砖红壤	玄武岩	台地	50—80	16—56	8.2	270.4	227.2	312.5	1.47	105	630.2	0.17	9.57	47.9	4.9YR4.9/5.5
2	海南儋 县加老岭	砖红壤	花岗岩	丘陵	180—190	17—39	11.6	429.8	55.9	313.5	2.33	82.2	431.7	0.19	10.46	27.1	10.0YR6.7/6.0
3	海南儋 县加老小学	砖红壤	花岗岩	丘陵	110—120	30—99	5.3	435.4	60.5	388.4	2.40	81.7	347.3	0.24	7.97	21.0	2.6YR7.2/4.7
4	海南澄 迈福山	砖红壤	玄武岩	台地	50—80	19—60	12.9	310.0	208.3	302.6	1.74	83.2	540.5	0.15	11.73	38.0	5.0YR4.5/5.6
5	海南尖 峰岭	砖红壤	花岗岩	山地	200—220	50—80	10.80	415.7	111.6	290.9	2.43	124.5	353.0	0.35	16.03	36.7	10.0R5.8/8.2
6	海南儋 县旧州	砖红壤	玄武岩	台地	50—80	23—50	8.7	373.3	202.6	205.2	25.3	61.6	143.7	0.43	10.09	25.6	10.0R4.5/8.0
7	广东湛 江农专	砖红壤	玄武岩	台地	50—80	43—100	8.5	—	—	—	—	126.8	634.0	0.20	19.66	53.6	2.3YR5.8/8.9
8	广东湛 江麻寮	砖红壤	玄武岩	台地	50—80	40—90	6.5	—	—	—	—	126.7	633.4	0.20	12.09	52.7	2.5YR4.8/5.3
9	广东遂 溪岭北	砖红壤	玄武岩	台地	50—80	27—55	22.8	—	—	—	—	176.7	574.1	0.30	36.16	94.3	0.9YR4.5/2.9
10	广东湛 江廉江	赤红壤	花岗岩	丘陵	100—150	28—65	9.8	—	—	—	—	123.3	534.4	0.23	7.40	26.9	5.0YR6.7/6.0
11	广州五 山	赤红壤	花岗岩	低丘	40—50	70—80	4.1	408.8	92.1	305.4	2.28	122.7	409.1	0.30	6.76	22.2	5.0YR7.3/6.0
12	广西南 宁武鸣	赤红壤	Q ₁ 红土	阶地	—	55—100	6.6	—	—	—	—	42.9	420.0	0.10	10.23	35.7	5.2YR6.6/5.5
13	广西南 宁武鸣	赤红壤	花岗岩	山地	210	60—100	4.2	446.4	197.7	280.6	2.7	143.7	390.2	0.37	11.44	26.1	4.6RP7.4/12.7
14	广州华 农大	赤红壤	花岗岩	低丘	40—50	20—76	2.5	—	—	—	—	142.1	284.2	0.50	4.73	14.7	3.2YR7.4/5.7
15	广州华 师大	赤红壤	红砂页岩	低丘	40—50	14—55	1.2	—	—	—	—	82.7	454.8	0.18	11.82	32.5	9.3YR6.8/15.9

16	广州员村	赤红壤	红砂页岩	低丘	40—50	22—100	3.3	—	—	—	—	61.8	432.9	0.14	10.16	29.7	4.3YR6.8/6.9
17	广西南宁大明山	红壤	花岗岩	山地	350	20—70	10.1	400.9	176.7	268.6	2.8	124.7	373.9	0.33	14.83	37.3	8.0YR7.1/4.7
18	广东英德农科所	红壤	Q ₂ 红土	冲积平原	—	32—92	6.3	—	—	—	—	207.5	415.2	0.50	10.68	36.5	5.7YR7.1/5.2
19	广东阳山农科所	红壤	Q ₂ 红土	冲积平原	—	60—97	2.6	—	—	—	—	496.9	41.4	12.0	11.32	34.0	5.4YR7.0/5.2
20	广东阳山太平	红壤	凝灰岩	山地	600—900	26—50	5.8	—	—	—	—	472.0	61.6	7.66	8.44	25.5	5.4YR7.0/4.5
21	广东阳山大雾山	红壤	花岗岩	山地	600—900	39—64	6.2	—	—	—	—	123.9	414.3	0.45	14.02	34.6	7.6YR7.1/3.7
22	广东阳山秤架	红壤	花岗岩	山地	600—900	19—41	15.9	—	—	—	—	124.2	310.6	0.40	10.92	34.1	2.7YR6.5/5.1
23	广东阳山七拱	红壤	花岗岩	山地	600—900	35—100	9.4	—	—	—	—	315.6	246.9	0.75	12.93	28.1	5YR7.1/5.7
24	广西南宁大明山	山地黄壤	花岗岩	山地	860	20—100	1.9	498.4	165.6	254.0	3.3	182.1	121.4	1.50	6.47	11.5	5Y8.1/1.7
25	广西南宁大明山	森林黄壤	花岗岩	山地	1190	15—37	8.1	502.8	138.0	264.9	3.2	263.0	101.2	2.60	8.51	11.4	7.5Y7.6/1.6
26	广东阳山七拱	黄壤	花岗岩	山地	600—900	35—100	14.0	—	—	—	—	166.9	271.1	0.62	15.10	41.0	2.8YR5.7/6.9
27	广东阳山秤架	黄壤	花岗岩	山地	1050	18—43	12.4	—	—	—	—	102.5	61.6	1.66	8.35	25.2	2.6YR7.1/4.3
28	广东湛江麻章	水稻土	浅海沉积物	冲积平原	—	23—50 (G)	76.2	—	—	—	—	123.6	123.6	1.0	14.99	29.0	5.0R3.8/2.7
29	广东阳山太平	水稻土	谷地冲积物	冲积平原	—	28—49 (W)	6.3	—	—	—	—	40.6	40.5	1.0	6.26	13.3	7.5R5.8/2.4
30	广州华农大	水稻土	花岗岩	阶地	—	38—60	6.5	—	—	—	—	456.9	41.5	11.0	13.5	36.9	2.6YR7.0/4.4
31	广州车陂	水稻土	三角洲冲积物	冲积平原	—	37—65	22.1	—	—	—	—	123.4	41.1	3.0	13.3	27.1	0.8YR5.5/2.5
32	海南琼山永兴	火山灰土	玄武岩	台地	50—80	15—56	18.2	377.1	138.1	291.2	2.21	192.8	85.7	2.25	22.5	66.3	1.4YR4.3/4.3
33	海南琼山美丰坡	火山灰土	玄武岩	台地	50—80	19—50	25.6	318.5	237.0	232.5	2.33	174.8	109.2	1.60	36.19	84.4	2.5YR4.6/4.7

1) 土壤颜色是由土壤光谱反射率计算而得。

表 2 土壤光谱特征的原始矩阵

Table 2 The original matrix of soil spectral characteristics

样本号 Sample No.	选取 10 个变量的原始数据 Original digits of 10 variables									
	420— 460	480— 500	500— 540	560— 600	630— 690	760— 820	820— 920	1080— 1200	1540— 1700	2050— 2300
1	1.1	0.7	2.2	6.3	1.7	-1.1	-2.7	0.3	0.2	-1.5
2	3.4	1.7	5.4	7.2	4.2	-0.3	-1.6	3.2	2.6	-11.4
3	4.4	2.7	7.4	7.4	4.0	-0.9	-3.3	4.2	2.7	-13.1
4	0.7	0.4	1.5	5.9	1.3	-0.7	-1.4	0.1	0.3	-1.2
5	1.7	1.1	3.5	8.5	5.6	-0.6	-3.6	5.1	2.6	-8.9
6	0.5	0.3	1.3	5.9	3.0	-0.1	0.3	2.1	1.7	-3.1
7	1.4	0.8	2.9	10.2	4.9	-2.2	-1.9	3.4	2.0	-7.9
8	1.2	0.9	2.8	4.4	2.1	-1.2	-2.7	-0.3	0.8	0.2
9	1.2	0.8	2.4	3.4	2.0	-0.8	-2.5	-0.2	0.8	0.7
10	2.7	1.9	5.5	11.4	2.2	-3.0	-4.5	7.9	1.4	-13.2
11	3.7	2.2	6.5	13.1	2.7	-2.5	-3.5	5.4	1.2	-11.9
12	3.1	2.5	7.4	8.3	1.3	-2.1	-5.9	5.6	0.7	-8.7
13	5.2	3.4	9.5	9.6	0.5	-2.8	-4.1	3.5	1.3	-3.4
14	3.9	2.0	5.8	12.6	3.5	-2.9	-2.7	6.5	1.0	-13.6
15	2.5	1.6	4.7	14.6	3.1	-4.0	-3.1	3.0	0.8	-5.9
16	2.3	1.5	4.3	13.7	2.9	-4.2	-2.3	3.6	1.2	-6.0
17	4.4	3.7	9.8	7.0	2.2	-1.4	-3.5	4.3	1.1	-3.9
18	3.5	2.7	7.4	11.4	2.0	-2.6	-3.9	4.2	1.0	-6.9
19	3.4	2.6	7.2	10.1	1.8	-2.4	-3.9	3.4	1.2	-5.9
20	3.7	2.8	6.9	8.1	1.9	-2.0	-3.6	3.0	1.4	-10.5
21	4.4	3.3	9.1	7.4	1.0	-2.6	-4.1	4.4	0.9	-5.6
22	3.3	2.5	6.4	6.2	2.3	-0.8	-2.7	4.2	1.7	-8.2
23	4.2	3.1	8.2	9.8	2.3	-2.8	-4.1	5.8	0.8	-5.9
24	8.2	5.5	14.1	4.2	0.1	-1.9	-4.5	3.3	1.7	-3.3
25	6.7	4.7	12.3	3.1	-0.6	-2.0	-3.7	1.5	0.9	-1.8
26	3.7	3.0	8.0	8.2	2.9	-2.0	-4.4	4.7	1.0	-4.1
27	4.5	3.1	8.6	5.2	2.9	-0.9	-1.5	3.7	2.6	-8.5
28	0.7	0.3	0.7	0.5	1.1	0.9	1.3	2.1	2.3	-0.8
29	2.5	1.1	2.2	1.4	1.3	0.9	0.6	1.9	2.8	-2.0
30	4.4	3.2	8.8	5.8	1.9	-1.4	-3.4	5.7	1.7	-8.9
31	2.8	1.5	3.2	1.7	1.2	0.4	-0.8	1.6	1.4	-1.1
32	1.1	0.8	2.2	2.6	2.1	0	-1.4	-0.1	0.6	0.7
33	1.2	1.0	2.7	3.4	1.8	0	-1.4	0.3	0.4	0.4

水耕熟化形成的水稻土,其光谱曲线呈缓斜型。其主要特征是自可见光波段向红外波段缓缓抬升,形成一条斜线。

可见,应用土壤光谱反射曲线进行土壤高级分类具有一定的实际意义,值得进一步研究。

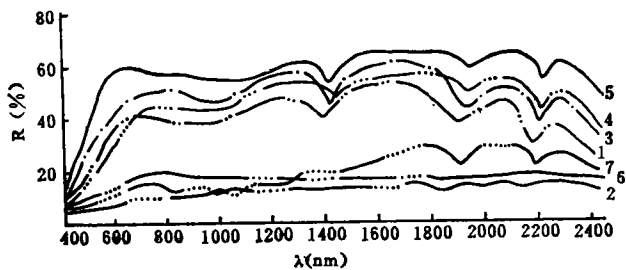
(二) 光谱特征值的数理分析

1. 主组元分析 原始指标矩阵经 jacobi 法转换,即可作主组元分类计算,得到前四个主组元的特征值(见表 3)。控制最小值为 2.000,提取到 3 个主组元,它们占全部主

组元方差的 70%。

选主组元 I 和 II 作 33 个土壤的主组元散点图 (如图 2)。33 个土壤依据其不同的成土作用特点而置于不同区域。其主组元 I 和 II 上的聚类结果如表 4, 5。

2. 模糊聚类分析 对 33 个土壤剖面进行模糊聚类分析, 其动态聚类过程见图 3。当 λ 取 0.80 时的模糊聚类结果列于表 6。



1. 为花岗岩发育砖红壤; 2. 为玄武岩发育砖红壤; 3. 为花岗岩发育赤红壤; 4. 为花岗岩发育红壤; 5. 为花岗岩发育山地黄壤; 6. 为玄武岩发育火山灰土; 7. 为浅海沉积物发育水稻土

图 1 供试土壤[B]层的光谱反射率曲线

Fig. 1 The spectral reflectance curves of test subsoils

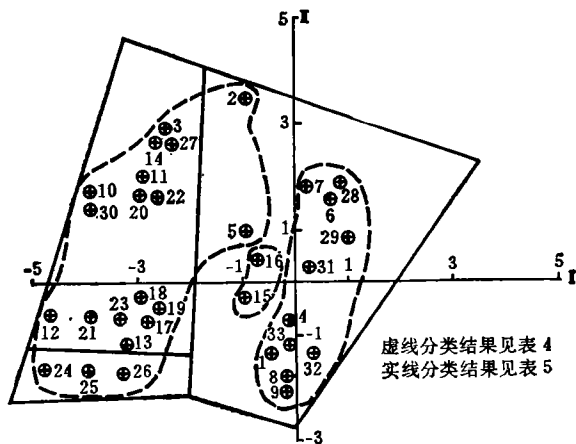


图 2 33 个土壤按第 I 和第 II 主组元 (y_1, y_2) 分类

Fig. 2 The classification of 33 soils based on the first and second

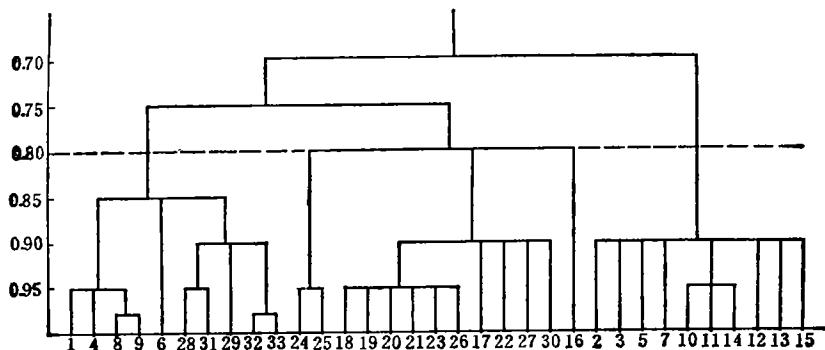


图 3 供试土壤的模糊聚类图

Fig. 3 The fuzzy categorical distribution of test soils

综合主组元分析及模糊聚类结果,表明按照土壤属性(母质、母岩)分类,两者的分类效果极其相似,符合率均在 83% 以上,且以模糊聚类的分类效果更好。应用主组元分析对土壤光谱进行分类结果,与现行土壤高级分类有一定吻合性,而不吻合部分(如水稻土、火山灰土)由于受到地带性因素的深刻影响,被归属于所处地带的地带性土类。

(三) 土壤分类

1. 土壤光谱特征与土壤属性的关系 为了探明土壤光谱特征指标的可行性,本文作者曾探讨过土壤光谱特性与土壤属性的关系^[3]。结果表明土壤光谱反射率与很多土壤属性指标是有直接联系的。根据土壤光谱反射特性与土壤属性的相关研究(见表 7),发现土壤光谱某些特征波段反射率与土壤氧化铁含量、水分等具有极好的相关性;而某些特定波段的反射率与土壤有机质、CEC 及粘粒 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、粉砂/粘粒等也相关显著,但在某些波段则相关不明显。可见,土壤光谱反射率仅是某些属性指标的综合反映,未能完全满足现行土壤分类的条件。因此,仅仅根据土壤光谱反射率来进行土壤分类是不够的,还应综合其它重要的属性指标进行分类。这与土壤光谱的主组元分析及模糊聚类结果是相一致的。

表 3 主成分的特征值和贡献率

Table 3 The eigenvalues and contribution rates of principal components

主组元 Principal component	I	II	III	IV
特征值(λ_i) Eigenvalue	2.481	2.364	2.245	1.562
贡献率(%) Contribution rate	24.81	23.64	22.45	15.62
累计贡献率(%) Cumulative contribution	24.81	48.45	70.90	86.52

表 4 供试样品在主组元 I、II 上的聚类结果

Table 4 The cluster results of test soils for the first and second principal components

分 类 Classification	I			II		III
	花岗岩类	Q ₂ 红土类	凝灰岩类	玄武岩类	冲积及沉积物类	红色砂页岩类
代表性母质母岩 Typical parent material	花岗岩类	Q ₂ 红土类	凝灰岩类	玄武岩类	冲积及沉积物类	红色砂页岩类
符合率(%) Suitability	100	100	100	100	100	100
母质母岩(个数) Parent materials (No.)	花岗岩(16) Q ₂ 红土(3) 凝灰岩(1)			玄武岩(8) 冲积及沉积物(3)		红色砂页岩(2)
样本数 No. of Samples	20			11		2

2. 土壤的归属 (1) 按中国土壤分类系统: 根据表 5, 应用主组元分析可将 33 个样品分成砖红壤、红壤及黄壤三大类。分析结果表明, 赤红壤没有单独成类, 是由于其位于红壤与砖红壤的过渡地带, 同时兼具有砖红壤及红壤的某些特征, 造成少数赤红壤样品归于砖红壤类, 而大部分则归于红壤类。水稻土属人为土类, 其犁底层以下还保留有相

当地带性土壤特性。因此在主组元分析中,除了剖面 29 外,其它水稻土均被归属于所处地带性土类。剖面 29 水稻土位于广东阳山,按地理发生学观点,其应归属于红壤类,但主组元分析结果归于砖红壤类,说明水稻土除了深受地带性因素影响之外,即在同一地区还会因成土母质、微地形、微气候之不同而在属性上有较大差异,因此认为单纯根据生物气候带来划分水稻土是不够的,我们还应重视水稻土重要土壤属性的作用。

表 5 三组土样的划分和成土母质

Table 5 Division of three soil groups and their parent materials

土壤组号 Soil group No.	1	2	3
土壤名称 Soil name	砖红壤类	红壤类	黄壤类
成土母质 Parent material	花岗岩、玄武岩、红色砂页岩、冲积及沉积物	花岗岩、Q ₂ 红土、凝灰岩	花岗岩
样本数 No. of samples	15	15	3

表 6 供试土样在 $\lambda = 0.80$ 的模糊聚类结果Table 6 The fuzzy categorical results of test soils at $\lambda = 0.80$

分 类 Classification	I			II		III	
代表性土属 Typical soil genus	玄武岩砖红壤类	冲积及沉积物水稻土类	玄武岩火山灰土类	花岗岩砖红壤类	花岗岩赤红壤类	红壤类	黄壤类
符合率(%) Suitability	83	100	100	100	100	100	100
土类(个数) Soil type (No.)	砖红壤(5) 火山灰土(2) 水稻土(3)			砖红壤(5) 赤红壤(5)		红壤(7)、黄壤(4) 赤红壤(1)、水稻土(1)	
样本数 No. of Samples	10			10		13	

这里的火山灰土属于第四纪更新世末玄武岩发育土壤,在主组元分析中被归属于砖红壤类,说明该时期玄武岩风化阶段,已不是处于火山灰高岭化阶段,而进入了红土化发育。采自广东阳山秤架的花岗岩发育土壤剖面 27,海拔高度为 1050 m,从土壤光谱的主组元分析结果归属于红壤类,说明在气候较湿热的粤北,在此海拔高度上花岗岩发育的土壤,其性质更接近于红壤。

综上所述,土壤光谱的主组元分析,作为土壤光谱特征在土壤分类中应用的一种方法,得到较满意的效果。分析结果显示,提取到的 10 个光谱特征作为区分我国华南地区主要土壤的土壤光谱特征指标是有效的。因此,可以作为土壤发生分类研究的特征指标。

(2) 按中国土壤系统分类:根据中国土壤系统分类(首次方案),首先明确土壤的诊断层和诊断特性,再进行分类检索。

系统分类土类级的划分强调应用土壤的诊断特性作为依据。由于土类级的划分与实

表 7 提取到的 10 个光谱特征指标与几个诊断指标的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between 10 selected soil spectral characters and some diagnostic indexes

诊断指标 Diagnostic index	420—460	480—500	500—590	560—600	630—690	760—820	820—920	1080—1200	1540—1700	2050—2300
SiO ₂	0.852**	0.813**	0.829**	0.061	-0.160	-0.502	-0.577*	0.562*	0.571*	-0.359
Fe ₂ O ₃	-0.297	-0.195	-0.231	-0.350	-0.530	0.052	0.247	-0.596*	-0.743**	0.839**
Al ₂ O ₃	0.063	-0.020	0.004	0.353	0.355	-0.099	-0.310	0.246	0.316	-0.608*
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0.805**	0.834**	0.829**	-0.169	-0.336	-0.409	-0.468	0.403	0.343	-0.031
有机质 O.M.	-0.401*	-0.388*	-0.432*	-0.547**	-0.096	0.370**	0.563**	-0.288	0.139	0.380
颗粒组成 Particle composition	0.289	0.365*	0.343	0.026	-0.211	-0.176	-0.304	0.101	-0.145	-0.072
粉砂/粘粒 Silt/clay	0.192	0.236	0.213	0.428*	0.302	-0.358*	-0.265	0.009	-0.287	-0.105
CEC	-0.439*	-0.357*	-0.362*	-0.322	0.059	0.291	0.177	-0.456**	-0.290	0.505**
水分(风干) H ₂ O (Air dry)	0.266	-0.469**	-0.457**	-0.217	0.114	0.213	0.094	-0.496**	-0.432*	0.468**

** 表示在 0.01 水平显著; * 表示在 0.05 水平显著, 除 SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂/Al₂O₃ 指标 N = 13 外, 其余指标均为 N = 33。

际应用结合得最为密切,因此这一级的分类指标除了要有代表性及独立性外,分类指标还应能反映土壤的更多的重要信息。土壤光谱特征指标的提出,正满足了这方面的要求。从结果表 4、表 6 说明,应用土壤光谱特征指标进行土壤分类与按土壤属性(母质、母岩)的分类相当吻合。可见,土壤光谱特征分类与按中国土壤系统分类的结果更为接近。因此说,综合应用土壤光谱特征指标及其它分类指标(如 B 层粘粒阳离子交换量、硅铝率、粘粒矿物组成及砂粘比等)能更有效区分土类,与现行中国土壤系统分类有较好的吻合性。也就是说,土壤光谱特征指标能反映土壤中相当一部分信息,依其分类结果重视了土壤属性在高级分类中的意义,也为土壤诊断层和诊断特性增添了新的内容。故综合应用土壤光谱特征指标及其它分类指标对土壤进行分类,其结果与按中国土壤系统分类是相一致的。即从诊断层及诊断特性出发,重点研究土壤光谱特征指标,[B]层粘粒的阳离子交换量、粘粒硅铝率、粘粒的矿物组成及土壤的砂粘比等指标,可将华南地区主要土壤划分为砖红壤(赤红壤)、红壤、黄壤及水稻土、火山灰土等土类。更值得一提的是,按土壤光谱特征指标的分类结果(见表 4, 6)与按代表性土属的划分具有相当高的符合性,符合率达 83% 以上。因此说,土壤光谱特征指标应用在中国土壤系统分类中土属一级的划分效果将会更好。

参 考 文 献

1. 戴昌达,1981: 中国主要土壤光谱反射特性分类与数据处理的初步研究,遥感文选,315—323页,科学出版社。
2. 徐彬彬等,1986: 土壤遥感最佳工作波段的选择和验证,土壤专报,第 41 号,科学出版社。
3. 黄应丰、刘腾辉,1989: 土壤光谱反射特性与土壤的属性的关系——以南方主要土壤为例。土壤通报,第 20 卷 4 期,158—160 页。
4. 中国科学院南京土壤研究所系统分类课题组及协作组,1991: 中国土壤系统分类(首次方案),科学出版社。
5. Bower, S. A., Ilkank, R. J., 1965: reflectance of Radiant Energy from soils. *Am. J. Soil Sci.*, 100(2): 130—138.
6. Stoner, E. R., et al. 1981: Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Am. J. Soil Sci.*, 45: 116—1165.
7. Cipra, J. E., et al. 1980: Comparison of multispectral measurements from some nonvegetated soils using landsat digital data and a spectroradiometer. *Am. J. Soil Sci.*, 44: 80—84.
8. Condit, H. R. 1970: The spectral reflectance of American Soils. *Eng. photogram.* 36: 955—966.
9. Condit, H. R. 1972: Application of characteristic vector analysis reflectance of American Soils. *Appl. Dpt.* 11: 74—86.
10. Cipra J. E. et al., 1971: Measuring radiance characteristics of soil with a Field spectroradiometer. *Am. J. Soil Sci.*, 6: 477—485.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF MAIN TYPES OF SOILS IN SOUTHERN CHINA AND SOIL CLASSIFICATION

Huang Yingfeng and Liu Tenghui

(*South China Agricultural University, 510642*)

Summary

This paper deals with the spectral characteristics of main types of soils in southern China. Meanwhile, using methods of principal component analysis (PCA) and fuzzy category, 33 samples are classified according to 10 spectral character indexes. The results are compared with traditional soil classification and Chinese Soil Taxonomic Classification. The relationships between the spectral characters and physical and chemical properties of the soils have been also investigated. The results show that different soil groups give different spectral reflectance curves, including flat type of latosels developed from basalts, slope type of the paddy soils and steep type of red soils and yellow soils sequences; the suitability between soil spectral character classification and parent material types is very high; and by the method of PCA, it can be found soil spectral classification is identical to traditional soil classification in some senses. Then, as paddy soils and andosols are deeply affected by natural zonal factors, they can be sorted into different groups of zonal soils. Using soil spectral characteristic indexes and other classification indexes (e.g. clay $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ of subsoil, CEC, coarse silt/clay, etc.), the soils can be classified effectively, the results are consistent with those obtained based on Chinese Soil Taxonomic Classification. The soil spectral characteristic indexes is especially suitable to be used for the division of soil genus, and the suitability between soil spectral characteristic classification and soil genus classification is more than 83 percent.

Key words Soil spectral characteristics, Mathematical analysis, Soil classification