

李家岗下蜀黄土剖面的反射光谱研究

夏应菲

汪永进

陈 峻

(南京师范大学地理系, 南京 210097)

(南京大学地球科学系, 南京 210093)

摘 要 采用色度学方法, 系统研究了下蜀黄土典型剖面的反射光谱特征。结合磁化率、微量元素 Rb、Sr 的含量和比值, 讨论了色度参数的古气候意义, 初步把下蜀黄土形成以来的古气候划分为 3 个波动旋回。下蜀黄土和黄土高原色度参数的对比, 揭示了长江中下游地区更强的化学风化作用和成壤强度。

关键词 下蜀黄土, 反射光谱, 古气候

中图分类号 S151⁺.1

土壤颜色是土壤性状的主要形态特征之一。土壤垂直剖面中的颜色变异具有发生学的诊断意义^[1]; 空间上的土壤颜色分带, 反映了气候要素对土壤性质的显著制约^[2]。由于凭借肉眼判别土壤颜色带有一定的主观性, 国际上往往采用芒赛尔标准色卡, 半定量鉴别土壤颜色, 我国在 80 年代末研制出适合我国土壤特点的土壤标准色卡, 在全国土壤调查中得到了较好的应用^[3]。

下蜀黄土普遍发育于长江中下游地区, 作为第四纪风成堆积的边缘相, 下蜀黄土堆积记录了东亚冬季风中晚更新世以来的南侵过程, 因而在东亚环境大断面古气候研究中具有较大的区位优势。由于该地区气候温暖湿润, 黄土古土壤之间的差异不甚明显, 野外难以准确判别古土壤的顶底界线, 导致不同研究者绘制的剖面图其古土壤的厚度差异明显。本文尝试应用色度学方法, 定量研究下蜀黄土的颜色变异。初步的研究结果表明, 下蜀黄土色度参数不仅可以定量地判别黄土和古土壤, 还可以作为一个测定快速、简便而廉价的气候代用指标。

1 原理简介

一定光源照射下物质内部外层电子发生跃迁, 选择性地吸收了不同波长的色光, 而引起物体表面显现补色。任何物体的颜色, 均可以用线性无关的三原色匹配而成。为了方便, 通常利用虚拟的光谱三刺激值 X 、 Y 、 Z 表征一个颜色, 并利用 X 、 Y 在三刺激值量值总和中的相对比例 x 、 y 建立色品坐标系, 由此确定物体反射光谱主波长。但在该色品图中不同色域和不同方向色差的灵敏阈值不同, 即 Stile 椭圆大小不一。为了建立具有均匀色空间的坐标系, 可以经过简单的色坐标变换。1976 年国际照明委员会 (CIE) 推荐了两个均匀

色空间坐标系,在食品、石油等工业上得到了广泛应用^[4]。其中,采用 L 、 a 、 b 参数表征样品颜色的 Munsell 坐标系在土壤颜色研究上被广泛采用。

$$L = 116 \times \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \right] \quad a = 500 \times \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b = 200 \times \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

利用仪器测定的物质三刺激色 X 、 Y 、 Z 经过简单的坐标变换,可以转换为 L 、 a 、 b 系统:其中, L 为样品光谱反射积分亮度值, a 、 b 为色品坐标分量^[4], 分别代表样品红色色度值和黄色色度值^[5]; X_n 、 Y_n 、 Z_n 为标准样品刺激值。

2 剖面与测试方法

宁镇沿江地区二级阶地上的下蜀黄土堆积厚度较大、保存完好,曾引起许多著名科学家的注意。李家岗下蜀黄土剖面位于南京城北新生圩,剖面厚度约 30m,下伏白垩系砂岩(图 1)。剖面中可以见到 5 层古土壤,其中第二层和第三层古土壤发育紧密,之间的黄土层较薄,被合称为“棕二条”,可以作为下蜀黄土区域对比的标志层位^[6]。在清除自然断面上表层风化物后,以 5cm 的采样间距从该剖面中共采集了 563 个样品。每个样品取 5g 左右,在 65℃ 下烘干,磨至 300 目,分别在直径 4cm 的塑质圆环内压片待测。

测试采用的仪器为日本 Nippon Denshoku Kogyo 公司生产的 N-D-101DP 色度仪,使用的白色参照物为国际 GSB A67002-86 陶瓷标准色板,2° 视场下标准色板的三刺激值 X 、 Y 、 Z 分别为:80.83, 82.78, 96.62, 测试环境温度为 12℃。为了检验测试结果的可信度,同时利用国产 WSD-101DPIII 色度仪检测了全部样品。

对部分典型层位的同步样品测定了磁化率值和微量元素 Rb、Sr 的含量。磁化率分析采用的仪器为 Bartington MS2 型磁化率仪;X 荧光光谱法分析微量元素,制样方法同上。

3 结果与讨论

3.1 测试结果

测试的结果绘于图 1。从图中可以看出,两种仪器测试结果基本一致。亮度指数 L 和红度指数 a 的变化与剖面地层层位对应关系良好,能清晰地分辨出古土壤层的顶界,而古土壤的底界和下伏黄土层呈渐变关系,反映出古土壤是在黄土母质基础上发育而成。黄度指数 b 虽有变化,但由于下蜀黄土整体偏红,黄度值 b 的分辨率明显不如其它两个指标,只能从轮廓上把李家岗剖面分为偏黄和偏红的上下两个部分。

下蜀黄土色度参数在剖面中的峰谷变化,良好指示了地层序列中的黄土古土壤旋回,反映出色度参数可以作为地层划分的有效指标。黄土层位的光谱反射亮度值一般超过 13,李家岗剖面中第四层黄土为桔黄色,棱柱状节理发育,是比较典型的黄土,野外极易与相邻古土壤层区分,其最高光谱反射亮度值达 22.3,古土壤的亮度值一般在 11~13,与其

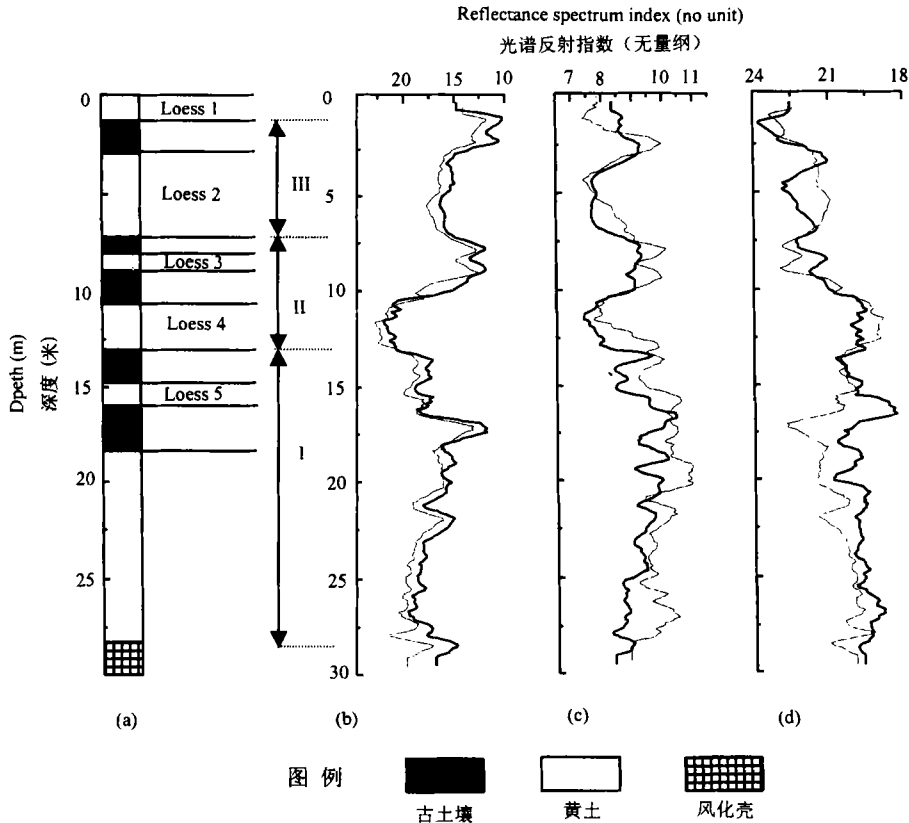


图1 李家岗下蜀黄土剖面色度参数变化曲线

Fig.1 Variation of reflectance spectrum index in Lijiagang profile

下的黄土层有明显的区别。同样,各层古土壤的红度系数也与作为母质层的下伏黄土有显著的区别,古土壤的红度值大于8.8,而典型黄土一般在7.3~8.5之间变化。但剖面下部(第五层古土壤之下)色度参数出现了异常,黄土层中出现了数个峰谷旋回,其中部分红度值高峰甚至达到剖面上部古土壤的量值范围。野外观察发现,剖面下部较厚的均质黄土整体偏红,但结构均一,并不具备古土壤的组构特征。相较于剖面其它黄土层,李家岗剖面基岩古风化壳之上均质黄土的厚度达到12m左右,这在其它下蜀黄土剖面中很少见到,可能是随剖面径流冲蚀而来的黄土堆积,其中混杂有顺坡分布古土壤侵蚀而来的物质。

与黄土高原的黄土古土壤序列相比,下蜀黄土中古土壤的红度值明显偏高。如西安段家坡黄土剖面中古土壤的红度值一般为7.5左右, S_2 中最高红度值达到8;黄土高原中部洛川剖面中 S_1 的红度值达到8.5^[5]。而在李家岗下蜀黄土剖面中,古土壤的红度值一般超过8.5,其中第五层古土壤达到10,是整个剖面中最红的层位;剖面中典型黄土的红度值超过7.5,强风化黄土层达到8.5,基本达到了黄土高原区古土壤的量值范围。

3.2 色度参数与其它指标的对比

高万一等对黄土高原的两个剖面研究结果表明^[5],光谱反射亮度值、红度值与磁化率均有显著的线性相关,反映出色度参数也可以作为风化成壤强度的有效指标。微量元素

Rb、Sr 比值直接反映了化学风化强度,在黄土高原能够很好地指示了古降雨量的演化^[8]。表 1 同时列出了磁化率和微量元素的分析结果。从表 1 中可以看出,李家岗下蜀黄土剖面中色度参数 L 、 a 不仅能较好地地区分地层中的黄土和古土壤,还与磁化率和 Sr 含量、Rb / Sr 有较好的相关性。第四层古土壤光谱反射亮度值和红度值均反映其风化程度较低,也能得到 Sr 含量和 Rb / Sr 的确证。

表1 李家岗剖面中黄土和古土壤色度参数、微量元素含量与磁化率的对比

Table 1 The reflectance spectrum indexes, magnetic susceptibility and the content and ratio of element Rb to Sr in Lijiagang profile

古土壤 (Paleosol)						黄土 (Loess)					
层次	L	a	Sus	Sr	Rb/Sr	层次	L	a	Sus	Sr	Rb/Sr
第一层	11.6	8.8	18.5	110	0.97	第一层	13.5	8.3	12.1	118	0.81
第二层	12.1	8.9	14.2	97	1.19	第二层	16.2	7.5	9.1	120	0.90
第三层	12.2	8.8	14.3	93	1.29	第三层	13.3	8.5	9.3	112	0.97
第四层	17.2	8.3	14.9	122	0.98	第四层	21.7	7.5	10.4	131	0.83
第五层	12.8	9.5	14.6	101	1.10	第五层	17.7	8.6	15.6	139	0.78

注:表中所列数据为各层样品的平均值,其中微量元素的单位为 $\mu\text{g/g}$,Sus 为磁化率($\times 10^{-6}$,SI制), L 为亮度值, a 为红度值(下表同)。

与黄土高原的古土壤序列相比,李家岗剖面中的色度指标均呈现显著高值,部分黄土层位的值也达到了黄土高原古土壤的量值范围。表 2 中下蜀黄土和洛川黑木沟剖面磁化率、微量元素含量和比值的对比也反映出类似的现象,反映了亚热带地区更强烈的成壤作用和化学风化作用。

表2 李家岗剖面色度参数、微量元素含量与洛川剖面的比较

Table 2 Comparison of reflectance spectrum index between Lijiagang and Luochuan profiles

参数 Index	李家岗剖面 (Lijiagang profile)		洛川剖面 (Luochuan profile)	
	第一层古土壤	下伏黄土	S_1	L_1
L	10~13	21.5~22.5	66%~64%	58%~60%
a	8.5~9.1	7~8	5~5.5	7.5~8.3
Rb	113~110	131~123	105.1~109.1	82.5~94.4
Sr	84~95	102~107	165.7~140.0	221~196.2

注:洛川剖面的色度参数引自文献[5];微量元素含量($\mu\text{g/g}$)引自文献[8]。

3.3 光谱反射指数的气候意义

黄土古土壤序列的物质组成和其相对含量的变化是色度参数变化的主要原因。黄土中的主要矿物成分为石英、长石和方解石,它们均为浅色矿物,决定了黄土在可见光光谱区内具有较高的光谱反射亮度值。而有机质、腐殖质等对反射光谱有较强的吸收能力,如胡敏酸在可见光波段内亮度系数很低,为 0.02~0.03 左右,决定了相对富含有机质的古土壤具有较低的光谱反射值。有机质的含量和种类的变化对样品的色调也有明显的影响,橙黄色的富里酸在黄土地层中含量较高,而古土壤中含有较高含量的灰色调的胡敏酸^[7]。

对黄土古土壤序列色调影响最大的是不同价态的铁质矿物。氧化铁是黄土的主要赋色成分,如褐铁矿呈不同色调的黄色,并随结合水分子的增加而更黄。粘土矿物本身并不呈黄色,黄土的显著黄色调只是侵染含水褐铁矿的结果。古土壤的红棕色则与其中大量红色赤铁矿、红棕色含水赤铁矿等红色调矿物有关^[5]。

古土壤是下伏黄土经过强烈风化作用而形成的。在温暖湿润的气候条件下,化学风化和生物风化十分强烈,大量腐殖质、氧化铁等着色成分形成复合胶膜覆盖在矿物微粒、团聚体表面,使得反射光谱受到不同程度的吸收而减弱,而红色调得到加强。

从色度参数变化图中可以看出,第二、三层古土壤发育紧密,之间的黄土层仅能勉强区分,反映了该层黄土也经历了较强的风化作用;同时,李家岗剖面的五层古土壤的发育程度并不一致,如第四层古土壤的光谱反射亮度值较低,甚至弱于强风化的黄土层。微量元素 Rb、Sr 的含量也显示相同的特征。因此,根据色度参数可以把下蜀黄土形成以来的古气候划分为三个主要旋回(见图 1)。第三层黄土层风化程度较高,可能是间冰期中的亚冰段内形成;第四层古土壤则可能代表了冰期内的亚间冰期。

4 结论

典型剖面的反射光谱研究发现,色度参数能较好地地区分下蜀黄土的地层序列,并能敏感地辨别其中不同风化程度的古土壤和黄土层。结合磁化率,微量元素 Rb、Sr 含量的变化,可以把下蜀黄土形成以来的古气候划分为三个明显的气候阶段。下蜀黄土中古土壤的色度参数明显高于黄土高原中部和南部的古土壤序列,部分黄土层也达到黄土高原典型古土壤的量值范围,反映出亚热带地区具有更强烈的化学风化作用和成壤强度。色度参数与已有气候代用指标,如磁化率,微量元素含量及比值的对应关系良好,反映出光谱反射方法在长江中下游地区具有较好的古气候研究潜力。

参 考 文 献

1. 罗扎诺夫. 土壤形态学. 北京: 科学出版社, 1998. 223~240
2. 熊毅, 李庆逵. 中国土壤, 北京: 科学出版社, 1987. 20
3. 中国科学院南京土壤研究所, 中国科学院西安光学精密机械研究所. 中国标准土壤色卡. 南京大学出版社, 1989
4. 郝允祥, 陈遵举, 张保洲. 光度学. 北京师范大学出版社, 1988, 101~146
5. 高万一, 林本海, 孙东怀. 黄土反射光谱与气候波动. 见: 刘东生主编, 黄土·第四纪地质·全球变化. 第三辑. 北京: 科学出版社, 1993. 92~100
6. 李立文, 方邨森. 南京附近下蜀黄土的研究. 南京师大学报, 1993, 16(增刊): 3~21
7. 徐彬彬, 季耿善. 土壤光谱反射特征与理化性状的相关分析, 土壤专报, 1987, 41: 66~76
8. 陈峻, 王洪涛, 鹿化煜. 陕西洛川黄土沉积物中稀土元素及其它微量元素的化学淋滤研究. 地质学报, 1996, 70(1): 61~72

SYSTEMATIC STUDY ON REFLECTANCE SPECTRUM OF XIASHU LOESS IN LIJIAGANG, NANJING

Xia Ying-fei Wang Yong-jin

(Department of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

Chen Jun

(Department Of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Summary

This paper deals with the reflectance spectrum of Xiashu Loess. Lijiagang profile, a typical profile of Xiashu loess, has been selected to study the difference in reflectance spectrum between the loess layers and its overlapping paleosol layers. The results determined by two kinds of color differential meter show that both of the brightness and the red index can be served as a useful tool to discriminate the paleosols from the sequence. The paleoclimate revealed by color indexes in Xiashu loess has been divided into 3 main cycles based on the configuration of reflectance spectrum, which can be also confirmed by the signals of magnetic susceptibility and the contents and ratio of element Rb to Sr. Compared with the equivalents in Loess Plateau, west China, the Xiashu loess shows higher values in reflectance spectrum, which implies a relative stronger chemical weathering and pedogenesis in the lower reach area of Changjiang River.

Key words Xiashu loess, Reflectance spectrum, Paleoclimate