

DOI: 10.11766/trxb201802250012

测色仪与中国标准土壤色卡测定土壤颜色比较* ——以川中丘陵区为例

陈剑科 袁大刚[†] 晏昭敏 吕扬 翁倩 付宏阳 张楚 王昌全
张敬昇

(四川农业大学资源学院, 成都 611130)

摘要 Munsell色卡是测定土壤颜色的传统工具, 而测色仪是测定土壤颜色的新兴仪器。利用统计参数及相关颜色差异等级, 比较2种原理、价格不同的测色仪测定川中丘陵区27个拟定土系共97个过2 mm筛风干土壤Munsell颜色与利用《中国标准土壤色卡》目测(即目测法)的差异。结果表明, 川中丘陵区风干土壤色调集中于YR色调, 未出现RP色调, 明度较高, 彩度较低。2种测色仪均较目测法测定土壤Munsell颜色色调偏黄, 但明度、彩度较一致; 以目测值为参照, CM600d实测值和Nix校正值的色调、明度、彩度均方根误差(RMSE)分别为1.74、0.98、0.97和2.04、0.57、0.88, 与目测差异等级为“微弱”、“明显”和“强烈”数量分别为90.72%、8.25%、1.03%和84.54%、14.43%、1.03%, 表明使用2种测色仪均能辅助研究者判别土壤颜色, 提高土壤颜色判别精确度, Nix测定土壤Munsell颜色明度更接近目测, 且更具价格优势。

关键词 土壤Munsell颜色; 色卡; 测色仪; 色系转化

中图分类号 S152.2[†]4 **文献标识码** A

土壤颜色是人对土壤的直观感觉之一, 是土壤在可见光波段的反射光谱特性^[1], 是土壤剖面特征描述的重要内容^[2]。土壤系统分类中土壤颜色判别主要依据Munsell色空间绘制的土壤色卡^[3], 将土壤颜色用色调(Hue, 以下简称H)、明度(Value, 以下简称V)、彩度(Chroma, 以下简称C)进行解释, 明确土壤颜色在土壤Munsell色卡中的位置^[4-5]。利用色卡目测土壤颜色易受主客观条件影响, 例如判别者色彩敏感度, 判别土壤颜色时周围光线、空气湿度等环境条件^[6-8]。

随着光学技术进步, 测定土壤颜色的仪器设备已被陆续研发。光谱仪^[9]、数码相机^[10]及更

便捷的手机^[11]均可用于测定土壤颜色, 却也存在部分问题, 如光谱仪等较大型的设备便携性较差, 价格昂贵; 数码相机、手机这类便携式拍摄装置由于采用不同厂商的感光元件, 且无校正, 对同一土壤颜色还原程度仍有差距^[12]。能提供准确的色彩信息的便携式测色仪逐渐应用于测定土壤颜色, 冯力威等^[13]利用分光测色计CM700d测定河南仰韶村遗址剖面色度指标, 以反映该地区古气候变化特征; Stiglitz等^[14]利用色彩色差计Nix测定土壤颜色, 并利用色度指标预测土壤有机碳含量。目前正在开展的四川土系调查有大量土壤样品需测定土壤Munsell颜色, 本实验利用2种原理不同、价格差距

* 国家自然科学基金项目(41671218)和国家科技基础性工作专项项目(2014FY110200A12)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41671218) and Basic Work of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2014FY110200A12)

[†] 通讯作者Corresponding author, E-mail:690654034@qq.com

作者简介: 陈剑科(1993-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向为土壤系统分类。E-mail:736934486@qq.com

收稿日期: 2018-02-25; 收到修改稿日期: 2018-04-26; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-05-30

较大的便携式测色仪与利用色卡目测土壤Munsell颜色进行对比,比较二者间土壤颜色的差异,以实现对于土壤颜色更准确、快捷的判别,为后续相关研究提供更精准的土壤颜色信息。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

供试土样采集于川中丘陵区(图1)。川中丘陵属典型方山丘陵,位于四川盆地中东部,地跨 $103^{\circ} 15'$ 至 $108^{\circ} 30'$ E, $27^{\circ} 35'$ 至 $32^{\circ} 52'$ N,地处长江以北,沱江、涪江、嘉陵江、渠江等中下游,属亚热带湿润季风气候,地貌以中、浅丘为主,丘陵出露地层主要为中生界侏罗系中上统的紫红色泥岩和砂岩,区域内主要土壤类型为锥形土、新成土等(发生分类的紫色土等类型)。

1.2 土样采集与处理

2015至2016年间在川中丘陵区获取27个土壤剖面(图1),依据发生层次自下而上采集分析样品,共97个土样,其中发生分类的紫色土共18个剖面53个土样。由于新鲜土样土块大小不一,色彩均一性较差;水分含量不等,可能发生含水量过饱和现象^[15],进而对颜色测定产生一定影响,因此对土样进行风干、过筛、混匀处理,即先将采集的土样平铺于干净牛皮纸,然后剔除动、植物残体和砖瓦等侵入体,置于阴凉处风干,最后将风干土碾碎,过2 mm尼龙筛,混合均匀,装袋备用。

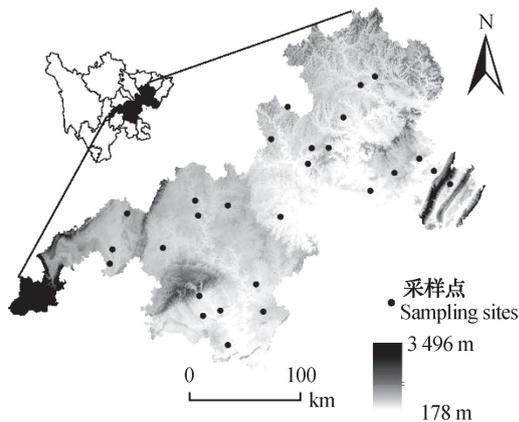


图1 土壤样点分布图

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites

1.3 土壤颜色测定

土壤色卡目测(以下简称目测)。实验者均

无色盲、色弱,有判别土壤颜色的基础。目测实验在实验室内利用《中国标准土壤色卡》(以下简称色卡)进行,比色时段控制在日出3h后至日落前3小时,此时段为目测物体颜色的标准自然光,同时避免在阳光直接照射下比色。比色环境内无彩色面积过大物体,如红砖墙等。将供试土样平铺于白瓷盘内,淡色土使用灰色卡框,深色土采用黑色卡框遮蔽其余部分。对比色卡HV/C值,最接近者为目测土壤颜色,若明度、彩度位于二者之间,可取平均值。实验者同一实验室内判别3次,后再由另一实验者判别,无争议后确定土样最终目测颜色并记录。

加拿大的NixTMPRO测色仪测定(以下简称Nix)。该仪器属色彩色差计,价格较低,可测定土壤RGB、CMYK、CIEL*a*b*、CIEL*C*h、XYZ等色空间/色度指标。土样平铺于白纸,直径约4 cm,厚度在1至2 mm,将传感器放置于土样上,传感器底部完全覆盖于土壤表面且底部无缝隙,通过手机蓝牙与传感器进行连接,在传感器提供的手机软件界面进行测定,测定参数为观测角度 2° 、内置C光源(色温6774K正常日光),测色口径15 mm,仪器出厂前由厂商进行校正,测试前无需再进行校正,同一土样重复测定3次,获得XYZ数据,取平均值记录。

日本Konica Minolta的CM600d分光测色计测定(以下简称CM600d)。该仪器属分光测色计,价格较高,可测定土壤CIEL*a*b*、CIEL*C*h、Hunter Lab、Yxy、XYZ、Munsell等色空间/色度指标。将供试土样放置于配套的粉末测试装置,使土样略多于装置,拧紧装置盖,待测土样制备完成。测定参数为观测角度 2° 、内置C光源,选用8 mm测色稳定片,测试前进行1次零校正,5次白板校正,将CM600d测定端放置于粉末测试装置进行测定,同一土样重复测定3次,获取HV/C(Munsell色空间)及XYZ数据。

1.4 土壤颜色转化

目测与CM600d可直接获取土壤颜色在Munsell色空间HV/C值,而Nix无法直接获取HV/C数据。因此,须利用色系转化公式,将Nix获取的XYZ值转化为Munsell色卡中的HV/C值;为便于分析比较,将CM600d获取的XYZ值也转化为Munsell色卡中的HV/C值。Miyahara和Yoshida^[16]

于1988年拟定了CIEXYZ转化为MunsellHV/C数值公式, Rossel等^[17]进一步将其公式精度提升, 具体转化过程如下:

首先, 对XYZ三原色刺激量进行校正, 如式(1)~式(3)所示:

$$X_C = 1.020 \times X \quad (1)$$

$$Y_C = 1.000 \times Z \quad (2)$$

$$Z_C = 0.847 \times Z \quad (3)$$

式(1)~式(3)中 X 、 Y 、 Z 分别为红、绿、蓝原色刺激量, X_C 、 Y_C 、 Z_C 为校正值。然后进行两种色度指标转换, 由于视觉感知颜色存在非均匀性, 需进行非线性转换, 转换过程如式(4)~式(5)所示:

$$M_1 = [(11.559 \times X_C)^{1/3} - 1.695] - [(11.396 \times Y_C)^{1/3} - 1.610] \quad (4)$$

$$M_2 = 0.4 \times [(11.510 \times Z_C)^{1/3} - 1.691] - [(11.396 \times Y_C)^{1/3} - 1.610] \quad (5)$$

式(4), 式(5)中, M_1 、 M_2 为等明度平面坐标上坐标值。转换完成后, 再次对空间颜色组成均匀性进行校正, 校正过程如式(6)~式(7)所示, S_1 、 S_2 分别为校正值:

$$S_1 = \{8.398 + 0.832 \times \cos[\tan^{-1}(M_2/M_1)]\} \times M_1 \quad (6)$$

$$S_2 = \{-6.102 - 1.323 \times \cos[\tan^{-1}(M_2/M_1)]\} \times M_2 \quad (7)$$

最后计算色调值 H , 明度值 V , 彩度值 C , 计算过程

如式(8)~式(10)所示:

$$H = |\tan^{-1}(S_2/S_1) \times (100/2\pi)| \quad (8)$$

$$V = (11.396 \times Y_C)^{1/3} - 1.610 \quad (9)$$

$$C = (S_1^2 + S_2^2)^{1/2} \quad (10)$$

需注意, 在土壤Munsell色卡中, 色调由2.5的整数倍与英文颜色缩写组合作为一个色调, 如2.5YR、5YR、7.5YR等, 实验将2.5R计为2.5, 2.5YR计为12.5, 2.5Y计为22.5^[17], 以此类推。

1.5 土壤颜色差异比较

测色仪与目测土壤颜色差异采用2种方式进行比较:

(1) 用极值、极差、平均值、均方误差(MSE)、均方根误差(RMSE)等描述性统计参数进行比较, 方法间极值、极差和平均值越接近, MSE、RMSE越接近于0, 表明方法间差异越小^[18], 测色仪测定越接近目测。

(2) 根据相关研究^[2-3], 采用土壤Munsell色卡差异等级, 拟定土壤Munsell颜色差异等级如表1所示。为统一HV/C差异, 1个 ΔH 单位为2.5个H计算值, 即2.5YR计算值为12.5, 5YR计算值为15, 两者计算差值2.5就是1个 ΔH 单位。差异等级越小, 即越“微弱”, 方法间差异越小, 测色仪测值越接近目测。

表1 土壤Munsell颜色差异等级划分规则

Table 1 Rules for grading of difference in Munsell soil color

差异等级 Contrast class	ΔH	ΔV	ΔC
微弱 Faint	$\Delta H < 0.5$	$\Delta V < 2.5$	$\Delta C < 1.5$
	$0.5 \leq \Delta H < 1.5$	$\Delta V < 1.5$	$\Delta C < 1.5$
	$1.5 \leq \Delta H < 2.5$	$\Delta V < 0.5$	$\Delta C < 0.5$
明显 Distinct	$\Delta H < 0.5$	$\Delta V < 2.5$	$1.5 \leq \Delta C < 4.5$
		$2.5 \leq \Delta V < 4.5$	$\Delta C < 4.5$
	$0.5 \leq \Delta H < 1.5$	$\Delta V < 1.5$	$1.5 \leq \Delta C < 3.5$
		$1.5 \leq \Delta V < 3.5$	$\Delta C < 3.5$
	$1.5 \leq \Delta H \leq 2.5$	$\Delta V < 0.5$	$0.5 \leq \Delta C < 2.5$
		$0.5 \leq \Delta V < 2.5$	$\Delta C < 2.5$
强烈 Prominent	$\Delta H < 0.5$	$\Delta V \geq 4.5$	$\Delta C \geq 4.5$
	$0.5 \leq \Delta H < 1.5$	$\Delta V \geq 3.5$	$\Delta C \geq 3.5$
	$1.5 \leq \Delta H < 2.5$	$\Delta V \geq 2.5$	$\Delta C \geq 2.5$
	$\Delta H \geq 2.5$	-	-

注: ΔH 、 ΔV 、 ΔC 分别为2种方式测定同一土壤颜色色调、明度、彩度差值的绝对值Note: ΔH , ΔV and ΔC stands for absolute value of the difference in Hue, Value and Chroma of the same soil between two methods

1.6 数据统计分析

描述性统计参数利用Excel2016计算，相关与回归显著性用SPSS22分析，图表用ArcGIS10.2及Excel2016制作。

2 结果

2.1 目测土壤Munsell颜色

目测土壤Munsell颜色统计参数见表2，频率分布

见图2。H值范围为12.50~22.50，即在2.5YR至2.5Y，共计5个色调，主要集中于YR色调，其中以5YR、10YR出现频率最高，分别为33和30次，发生分类的紫色土18个剖面53个土样，风干、过筛后均不显示系统分类中紫色砂、页岩岩性特征要求的RP色调；V值范围为4.00~8.00，C值范围为2.00~6.00，跨度不大。结合频率分布（图2）中土壤“明度/彩度”组合情况可以看出，5/3、5/4、6/4、7/4出现频率较高，表明供试土壤总体表现为明度较高，彩度较低。

表2 目测土壤Munsell颜色

Table 2 Ocular estimation of Munsell soil color

指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD				
H	12.50	22.50	10.00	16.60	2.91				
V	4.00	8.00	4.00	5.85	0.97				
C	2.00	6.00	4.00 </tr <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3.67</td> <td>0.91</td> </tr>					3.67	0.91
				3.67	0.91				

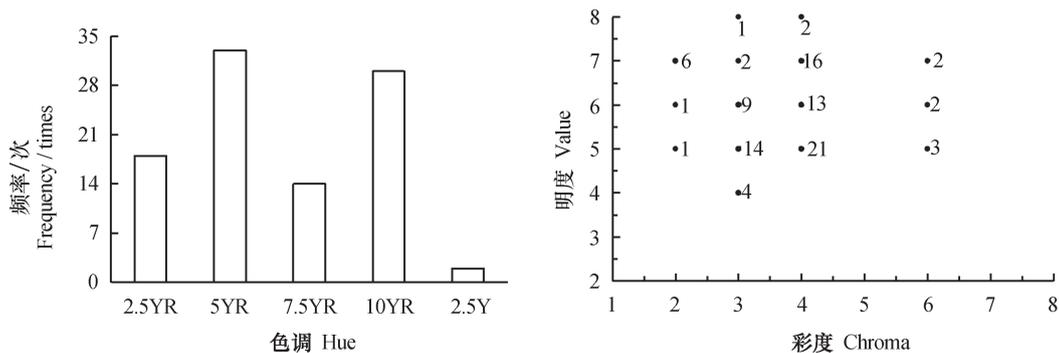


图2 目测土壤Munsell颜色频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of Munsell soil color using the ocular estimation method

2.2 CM600d测定土壤Munsell颜色

CM600d测定土壤Munsell颜色统计参数如表3所示。

从实测结果来看，H值范围为13.50~21.60，极差较目测偏小1.90，测定范围较窄，平均值较目测偏黄0.98，但不足一个色调，MSE、RMSE分别为3.03和1.74，表明实测结果与目测差异较大。V值范围为3.89~6.72，极差较目测偏小1.17，平均值较目测偏暗0.83，不足一个明度，MSE、RMSE分别为0.96和0.98，与目测差异较小。C值范围为1.96~6.03，极差较目测偏大0.07，平均值偏小0.10，与目测较一致，MSE、RMSE分别为0.62和

0.79，较H、V值更接近目测。

从用XYZ的转化结果来看，H值范围为16.08~24.66，极差较目测偏小1.42，略大于实测值，平均值较目测和实测分别偏黄3.55、2.57，即偏黄1.42、1.03个色调，MSE、RMSE分别为15.10和3.89，较实测偏大12.07、2.15，即转化后色调偏黄程度大于实测值。V值范围为3.43~6.03，极差较目测偏小1.40，平均值偏暗1.37，与实测值相比，转化值测定土壤Munsell颜色明度更暗。C值范围为1.69~5.18，极差较目测偏小0.21，平均值偏小0.58，MSE、RMSE分别为0.90、0.95，但与实测值相比，仍与目测差异较大。

表3 CM600d测定土壤Munsell颜色实测与转化结果

		Table 3 Measured Munsell soil color by CM600d and converted one						
	指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	均方误差 MSE	均方根误差 RMSE
实测结果 Measured results	H	13.50	21.60	8.10	17.58	2.24	3.03	1.74
	V	3.89	6.72	2.83	5.02	0.71	0.96	0.98
	C	1.96	6.03	4.07	3.57	0.89	0.62	0.79
转化结果 Converted results	H	16.08	24.66	8.58	20.15	2.56	15.10	3.89
	V	3.43	6.03	2.60	4.48	0.65	2.15	1.47
	C	1.69	5.18	3.79	3.09	0.79	0.90	0.95

将CM600d实测值与目测值进行相关分析(图3),结果表明,CM600d实测H、V、C值与目测值均在 $P<0.01$ 水平上相关,即呈极显著相关;CM600d实测H、V值与目测值决定系数 R^2 均大于0.7,而C值 R^2 小于0.4,偏小。综合1:1线,CM600d测定土壤色调总体上较目测偏黄,主要表现在10YR以下色调;明度偏暗,彩度较为一致,与统计参数分析结果一致。

将CM600d实测HV/C值与用XYZ转化的HV/C

值进行相关分析(图4),可以看出,转化值与实测值之间存在极显著相关关系,色系转化公式存在色调偏黄、明度偏暗、彩度偏低现象,与Rossel等^[19]研究结果一致。

2.3 Nix测定土壤Munsell颜色

Nix获取的XYZ值转化成HV/C值后,其统计参数如表4。根据CM600d实测HV/C值与用XYZ转化的HV/C值的相关关系(图4),再将转化的HV/C值进行校正,结果列于表4。

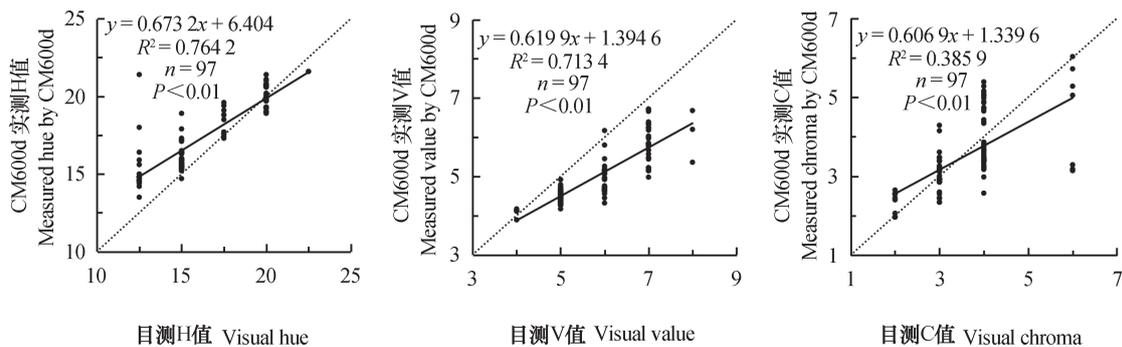


图3 目测与CM600d实测土壤Munsell颜色相关分析

Fig. 3 Correlation analysis of visual and measured Munsell soil color by CM600d

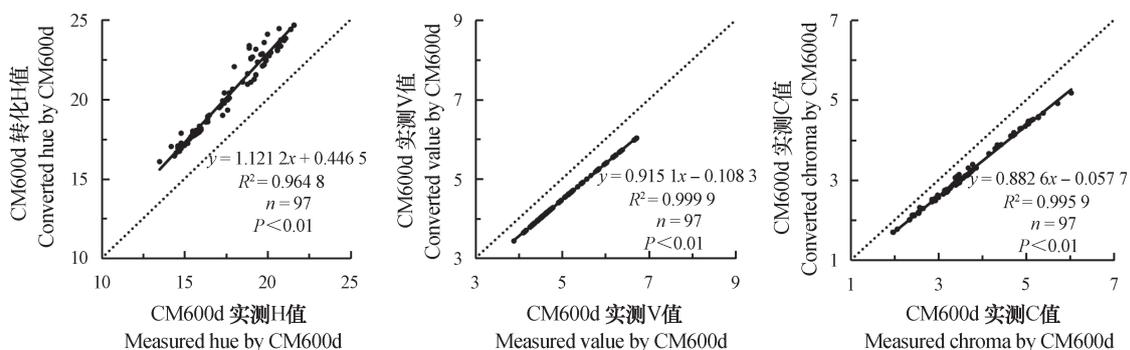


图4 CM600d测定土壤Munsell颜色实测值与转化值相关分析

Fig. 4 Correlation analysis of measured and converted Munsell soil color by CM600d

表4 Nix测定土壤Munsell颜色校正前后结果

Table 4 Measurement of Munsell soil color by Nix before and after calibration

校正 Correction	指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	均方误差 MSE	均方根误差 RMSE
前 Before	H	16.40	24.76	8.36	20.42	2.56	17.17	4.14
	V	3.91	6.82	2.91	5.02	0.71	0.97	0.98
	C	2.02	5.77	3.75	3.55	0.80	0.56	0.75
后 After	H	14.60	21.69	7.09	17.84	2.26	4.16	2.04
	V	4.39	7.62	3.23	5.61	0.78	0.33	0.57
	C	2.35	6.60	4.25	4.09	0.91	0.78	0.88

从表4可知，校正前，H值范围为16.40~24.76，极差较目测小1.64，平均值偏黄3.82，即1.53个色调，MSE、RMSE分别为17.17和4.14，色调整体偏离程度大。V值范围为3.91~6.82，极差较目测偏小1.09，平均值偏暗0.83，不足1个明度，与Rossel等^[19]研究结果一致，MSE、RMSE分别为0.97和0.98，与目测值差异较小。C值范围为2.02~5.77，极差较目测偏小0.25，平均值偏小0.12，MSE、RMSE分别为0.56和0.75，与目测较一致。

(图5a)，结果表明，校正前Nix测定值与目测值呈极显著相关，H值决定系数 R^2 为0.7014，回归线在1:1线上方，表明Nix测定结果较目测偏黄；V值决定系数 R^2 为0.7065，回归线位于1:1线下方，表明Nix测定明度值较目测偏暗；C值 R^2 偏低，为0.4012，回归线与1:1线交叉，这是由Nix测定C值较目测值上下偏移造成的。综上，校正前Nix测定土壤Munsell颜色与目测差异较大。

将校正前Nix测定值与目测值进行相关分析

经校正，Nix测定H值范围为14.60~24.76，极

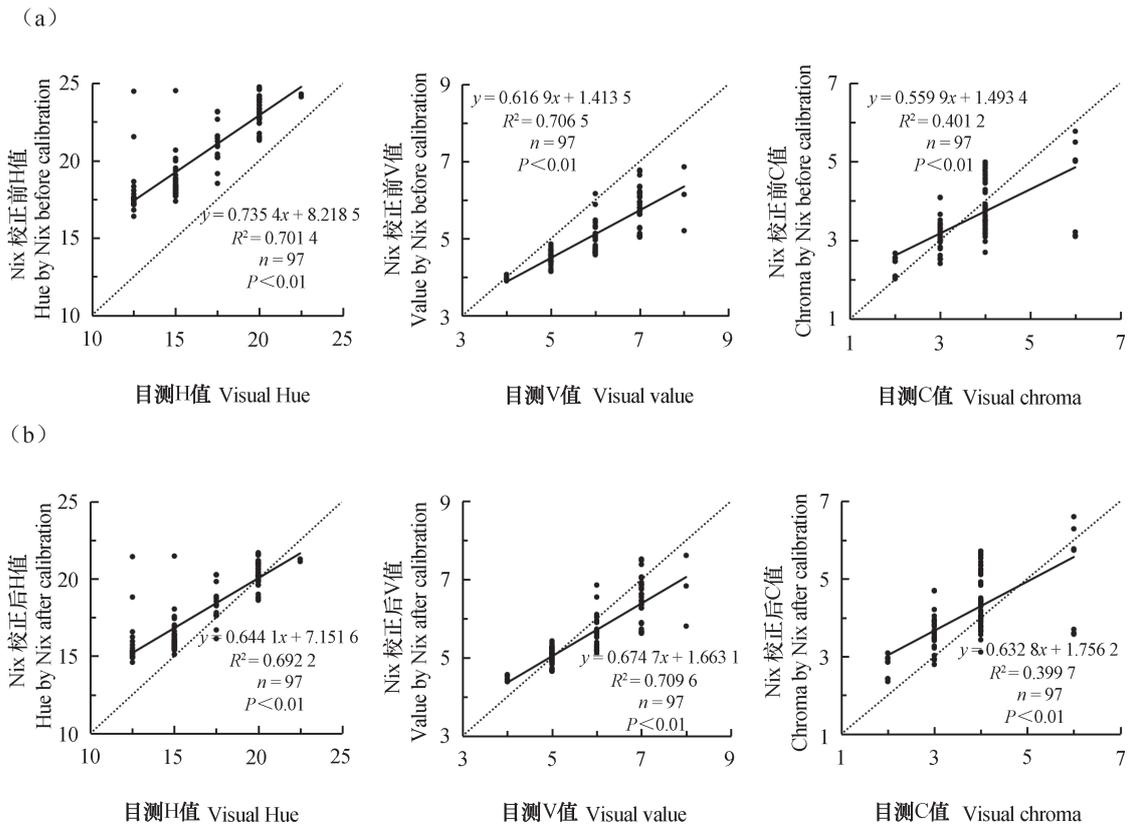


图5 目测与Nix测定土壤Munsell颜色校正前(a)后(b)相关分析

Fig. 5 Correlation analysis of Munsell soil color between visual and Nix before (a), after (b) calibration

差较目测偏小2.91, 平均值偏黄1.24, 不足1个色调, MSE、RMSE分别为4.16和2.04, 与校准前相比减少13.01、2.10。V值范围为4.39~7.62, 极差较目测偏小0.77, 平均值偏暗0.24, MSE、RMSE仅为0.33和0.57, 与校准前相比减少0.64、0.41, 与目测结果较一致。C值范围为2.35~6.60, 极差较目测偏大0.25, 平均值偏大0.42, 校正后Nix测定彩度更鲜明、丰富, MSE、RMSE分别为0.78和0.88, 与校准前相比, 增加0.22、0.13。

校正后Nix测值与目测值的相关分析(图5b)可发现, 校正后, H值回归线向下移动, 更接近1:1线, 偏黄现象得到改善。V值回归线对比校正前向上移动, 偏暗现象得到改善。C值回归线对比校正前向上移动, 彩度更鲜明、丰富。 R^2 校正前后变化不大, 差值均小于0.01。

对比CM600d实测值与校正后Nix测定值。2种测色仪与目测之间虽存在一定差异, 但均与目测存在极显著相关关系, CM600d实测土壤Munsell颜色HV/C值MSE、RMSE分别为3.03、0.96、0.62和1.74、0.98、0.79, Nix校正土壤Munsell颜色HV/C值MSE、RMSE分别为4.16、0.33、0.78和2.04、0.57、0.88, CM600d在测定色调和彩度方面较Nix更接近目测, Nix测定明度较CM600d更接近目测。

同时对比图3~图5可以看出, 测色仪与目测土壤Munsell颜色之间决定系数 R^2 均不高, C值最为突出, 主要表现在横坐标点重合度高。由于使用色卡

进行目测时, Munsell色卡色调均为2.5的整数倍, 明度和彩度最小精度为0.5, 使用测色仪时, 其转化值、测定值最小精度达0.01, 测色仪在测定土壤Munsell颜色时较目测精度更高。

2.4 土壤颜色差异等级

从表1所示土壤Munsell颜色差异等级划分规则可以看出, 不同方式测定土壤Munsell颜色若差异等级为“微弱”, 其限制性条件为方法间彩度必须满足“ $\Delta C < 1.5$ ”, 而色调与明度要求方法间差距(ΔH 与 ΔV)允许在一定条件下大于1.5。因此, 当色调、明度、彩度差值均满足小于1.5时, 方法间差异等级一定为“微弱”。

统计方法间色调、明度、彩度单项差值小于1.5和同时满足3项差值小于1.5的数量, 如表5所示。可以看出, 以目测值为参照, CM600d转化值与Nix未校正值的4项指标分别为67.01%、63.92%、94.85%、38.14%和55.67%、90.72%、96.91%、49.48%, 表明2种测色仪使用色系转化公式测定色调均与目测差异较大, 满足条件“ $\Delta H < 1.5$ ”的数量仅为67.01%和55.67%, 与Rossel等^[19]研究结果一致。

采用实测值, 或校正后, CM600d、Nix对比目测4项指标的数量分别增加28.87%、22.99%、2.06%、44.33%和40.21%、8.25%、-9.28%、32.99%, CM600d实测值较转化值更接近目测, Nix经校正, 除“ $\Delta C < 1.5$ ”数量略有下降, 其余指标较校正前更接近目测。

表5 不同方式测定土壤Munsell颜色差异数量

Table 5 Difference between the methods in measured Munsell soil color

对比 Compared	$\Delta H < 1.5$ /%	$\Delta V < 1.5$ /%	$\Delta C < 1.5$ /%	$\Delta HV/C < 1.5$ /%
CM600d转化值-目测值 Converted data by CM600d-Visual	67.01	63.92	94.85	38.14
Nix校正前值-目测值 Data by Nix before calibration -Visual	55.67	90.72	96.91	49.48
CM600d实测值-目测值 Measured data by CM600d-Visual	95.88	86.91	96.91	82.47
Nix校正后值-目测值 Data by Nix after calibration-Visual	95.88	98.97	87.63	82.47
CM600d实测值-Nix校正后值 Measured data by CM600d- by Nix after calibration	100.00	100.00	100.00	100.00

对比CM600d实测值与Nix校正值可知，2种测色仪与目测满足“ $\Delta H < 1.5$ ”数量均为95.88%，CM600d满足“ $\Delta V < 1.5$ ”数量较Nix

校正值少12.06%，满足“ $\Delta C < 1.5$ ”数量较Nix校正值多9.28%，满足“ $\Delta HV/C < 1.5$ ”数量均为82.47%。

表6 不同方式间测定土壤Munsell颜色差异等级

Table 6 Grading of differences between the methods in measured Munsell soil color

对比 Compared	差异等级Contrast class		
	微弱Faint	明显Distinct	强烈Prominent
	%	%	%
CM600d转化值-目测值 Converted data by CM600d-Visual	39.18	56.70	4.12
Nix校正前值-目测值 Data by Nix before calibration-Visual	64.95	26.80	8.25
CM600d实测值-目测值 Measured data by CM600d-Visual	90.72	8.25	1.03
Nix校正后值-目测值 Data by Nix after calibration-Visual	84.54	14.43	1.03
CM600d实测值-Nix校正后值 Measured data by CM600d- by Nix after calibration	100.00	-	-

利用表1所示土壤Munsell颜色差异等级，对不同方法测定的97个土样HV/C值进行对比并划分差异等级如表6所示。使用色系转化2测色仪与目测差异等级为“微弱”“明显”“强烈”的数量分别为39.18%、56.70%、4.12%和64.95%、26.80%、8.25%，未校正前，2种测色仪测定土壤Munsell颜色与目测差异较大。

采用实测值，或校正后，CM600d和Nix与目测差异等级为“微弱”“明显”“强烈”的数量分别为90.72%、8.25%、1.03%和84.54%、14.43%、1.03%，差异等级为“微弱”数量分别增加51.54%和19.59%，差异等级为“明显”数量分别减少48.45%和12.37%，“强烈”数量减少3.09%和7.22%。

对比CM600d实测值、Nix校正值与目测的差异等级，差异等级“微弱”数量CM600d较Nix多6.18%，差异等级“明显”数量CM600d较Nix减少6.18%，“强烈”数量持平。因此，CM600d较Nix更接近目测，但是Nix经校正，与目测差异为“微弱”数量仍能保持在84%以上，效果良好。

对比2种测色仪实测值、校正后值的单项差值可以看出，测色仪间差异在色调、明度、彩度差异均小于1.5，2种测色仪间差异等级均为“微弱”，

无“明显”“强烈”差异等级出现，表明2种测色仪测定土壤颜色结果较一致，使用测色仪可助提高测定土壤Munsell颜色的精度。

3 讨论

土壤颜色是土壤理化性质的集中体现，是土壤系统分类一项重要指标。土壤系统分类判别土壤颜色目前主要采用Munsell色空间下的土壤色卡，采用目视判别^[20]。随土壤颜色与土壤理化性质之间的深入研究发现，采用Munsell色卡目测存在较大主观性，且为定性结果，难区别细微色差，数学分析较难^[21]。实验中发现采用Munsell色卡目测较测色仪精度更低，主要表现在图3、图5中横坐标点重合度高，沈星诚等^[22]利用色卡目测和测色仪对“日本红枫”叶片色彩进行测定，结果也表明色卡精度较测色仪更低。采用测色仪对土壤颜色进行判别，能避免目测判别中的主观误差，利用测色仪内置标准光源等设置减少环境造成的客观误差。目前土壤颜色描述以HV/C色度指标为主，应用则多为L*、a*、b*^[23-25]等色度指标，采用能获取多种色空间、色度指标的测色仪，更利于提升研究土壤颜色的数据种类、数量。

目前土壤颜色色系转化公式之一, XYZ三刺激值向HV/C色度指标转化公式存在一定误差, 主要表现在色调偏黄明显^[18], 实验通过能直接获取土壤HV/C的CM600d将XYZ转化为HV/C, 将转化值与实测值进行相关分析, 利用其回归方程校正Nix转化值, 以降低公式误差造成的影响。目前, 色空间之间的相互转化方式众多, CIEYxy^[26]、CIEL*a*b*^[27]等色空间均不断更新向Munsell色空间HV/C色度指标转化方式与精度^[28], 因此, 下一步研究将选取合适色空间及色度指标, 以明确其向土壤Munsell色空间转化过程, 以提升土壤颜色判别精度。

测色仪逐渐应用于土壤Munsell颜色测定, 各类测色仪之间虽存在一定差距, 但均能与目测保持较好的一致性。Islam等^[9]使用Cary 5 000紫外-可见-近红外分光光度计中可见光波段测定土壤Munsell颜色, 其测定结果与目测值决定系数 R^2 均保持在0.84以上, 具有良好相关关系。Stiglitz等^[12]对比了Nix与CR400彩色色差计, 表明2种测色仪均能较好测定土壤Munsell颜色, 且价格较低的Nix在测定干、润2种状态土壤均优于CR400。实验选用Nix和CM600d与目测进行比较, 结果表明, CM600d与目测差异在“微弱”等级的数量保持在90%以上, Nix略少, 但也能保持在84%以上, 且Nix测定土壤Munsell颜色明度优于CM600d。综合两者价格, CM600d售价在人民币10万左右, Nix官方售价为349美元(人民币2 300元左右), 土壤Munsell色卡价格在人民币4 000元左右, 因此, 选用Nix辅助土壤颜色测定, 有助于降低工作强度, 增加数据精度; 若对光谱数据要求更高, 且对光源、色空间多样性等有更多要求, 价格较高、功能更丰富的分光测色计CM600d更能满足研究需求。

4 结论

通过2种原理不一样、价格差距较大的测色仪与目测对风干土壤Munsell颜色进行测定, 除H值偏黄外, V、C均有较一致的测定范围, 且不同方法间测定值均有极显著相关关系。通过测色仪与目测差值划分差异等级, 使用CM600d和Nix测定土壤Munsell颜色与目测差异等级为“微弱”数量分别为90.72%和84.54%, Nix在判别土壤Munsell颜

色明度方面更接近, 且更具价格优势。建议在研究者使用土壤Munsell色卡测定土壤颜色时, 同时选用合适的测色仪进行辅助, 以确保实验数据精度, 减少土壤颜色偏离问题产生。

参考文献

- [1] 徐彬彬, 戴昌达. 土壤颜色的分光光度计算法. 土壤学报, 1979, 16(4): 397—408
Xu B B, Dai C D. Computation of soil color by reflectospectomter analysis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1979, 16(4): 397—408
- [2] Schoeneberger P J, Wysocki D A, Benham E C, et al. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Lincoln: Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Centre, 2012
- [3] Thompson J A, Pollio A R, Turk P J. Comparison of Munsell soil color charts and the GLOBE soil color book. Soil Science Society of America Journal, 2013, 77(6): 2089—2093
- [4] 龚子同. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践. 北京: 科学出版社, 1999
Gong Z T. Chinese soil taxonomy: Theory, methodology, practice (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [5] GómezRobledo L, LópezRuiz N, Melgosa M, et al. Using the mobile phone as Munsell soil-colour sensor: An experiment under controlled illumination conditions. Computers & Electronics in Agriculture, 2013, 99(7): 200—208
- [6] Mauk L. Billmeyer and Saltzman's principles of color technology. Color Research & Application, 2001, 26(4): 322—324
- [7] Kirillova N P, Vodyanitskii Y N, Sileva T M. Conversion of soil color parameters from the Munsell system to the CIE-L*a*b* system. Eurasian Soil Science, 2015, 48(5): 468—475
- [8] 吴才武, 杨越, 夏建新. 基于RGB的黑土有机质快速测定方法研究. 土壤通报, 2016, 47(4): 853—859
Wu C W, Yang Y, Xia J X. Rapid method for estimating organic matter of black soil based on RGB (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47(4): 853—859
- [9] Islam K, McBratney A B, Singh B. Estimation of soil colour from visible reflectance spectra. Super Soil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference, Sydney, 2004
- [10] Levin N, BenâDor E, Singer A. A digital camera as

- a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26 (24): 5475—5492
- [11] Fan Z, Herrick J E, Saltzman R, et al. Measurement of soil color: A comparison between smartphone camera and the Munsell color charts. *Soil Science Society of America Journal*, 2017, 81 (5): 1139—1146
- [12] Stiglitz R, Mikhailova E, Post C, et al. Evaluation of an inexpensive sensor to measure soil color. *Computers & Electronics in Agriculture*, 2016, 121 (C): 141—148
- [13] 冯力威, 吴克宁, 查理思, 等. 仰韶文化遗址区古土壤色度特征及其气候意义. *生态环境学报*, 2015, 24 (5): 892—897
Feng L W, Wu K N, Zha L S, et al. Chroma characteristics and its climatic significance of Yangshao Cultural Relic (In Chinese). *Ecology and Environment*, 2015, 24 (5): 892—897
- [14] Stiglitz R, Mikhailova E, Post C, et al. Using an inexpensive color sensor for rapid assessment of soil organic carbon. *Geoderma*, 2017, 286: 98—103
- [15] 刘洋, 丁潇, 刘焕军, 等. 黑土土壤水分反射光谱特征定量分析与预测. *土壤学报*, 2014, 51 (5): 1021—1026
Liu Y, Ding X, Liu H J, et al. Quantitative analysis of reflectance spectrum of black soil as affected by soil moisture for prediction of soil moisture in black soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (5): 1021—1026
- [16] Miyahara M, Yoshida Y. Mathematical transform of (R, G, B) color data to Munsell (H, V, C) color data. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 1988, 1001 (3): 650—657
- [17] Rossel R A V, Minasny B, Roudier P, et al. Colour space models for soil science. *Geoderma*, 2006, 133 (3): 320—337
- [18] 谢文, 赵小敏, 郭熙, 等. 基于组合模型的庐山森林土壤有效铁光谱间接反演研究. *土壤学报*, 2017, 54 (3): 601—612
Xie W, Zhao X M, Guo X, et al. Composite-Model-Based indirect reversion of soil available iron spectrum of forest soil in Lushan (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 (3): 601—612
- [19] Rossel R A V, Cattle S R, Ortega A, et al. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 2009, 150 (3): 253—266
- [20] 余建军, 陈沅, 白晓梅, 等. 《中国标准土壤色卡》中芒塞尔颜色系统的建立. *土壤*, 1997, 29 (4): 212—214
Yu J J, Chen Y, Bai X M, et al. The establishment of Munsell color system in Chinese Standard Soil Color Card (In Chinese). *Soils*, 1997, 29 (4): 212—214
- [21] 付旭东, 周广胜, 张新时. 浑善达克沙地沙丘剖面颜色变化的古气候意义. *沉积学报*, 2016, 34 (1): 70—78
Fu X D, Zhou G S, Zhang X S. Color variations of paleosol-sand profiles across Otindag Sandy Land and its paleoclimatic implications (In Chinese). *Acta Sedimentologica Sinica*, 2016, 34 (1): 70—78
- [22] 沈星诚, 周婷, 范俊俊, 等. “日本红枫”春季叶片色彩评价. *南京林业大学学报(自然科学版)*: 2017: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20171204.1029.006.html>
Shen X C, Zhou T, Fan J J, et al. Evaluation of leaf color of Japanese Maple in spring (In Chinese). *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2017: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20171204.1029.006.html>
- [23] 石培宏, 杨太保, 田庆春, 等. 靖远黄土-古土壤色度变化特征分析及古气候意义. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2012, 48 (2): 15—23
Shi P H, Yang T B, Tian Q C, et al. Chroma characteristics in the loess-paleosol at Jingyuan section and its signification to paleoclimate (In Chinese). *Journal of Lanzhou University (Natural Science)*, 2012, 48 (2): 15—23
- [24] 高鹏坤, 庞奖励, 黄春长, 等. 陕南丹凤茶房村黄土-古土壤剖面色度参数特征. *沉积学报*, 2015, 33 (3): 537—542
Gao P K, Pang J L, Huang C C, et al. Chroma characteristics and its significances of the Chafangcun loess-paleosol profile in southeast Shaanxi, China (In Chinese). *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33 (3): 537—542
- [25] Baumann K, Schöning I, Schrupf M, et al. Rapid assessment of soil organic matter: Soil color analysis and Fourier transform infrared spectroscopy. *Geoderma*, 2016, 278: 49—57
- [26] 徐芙姗, 徐海松, 王勇. 孟塞尔色序系统与CIE1931标准色度系统转换新算法. *光子学报*, 2007, 36 (4): 650—654
Xu F S, Xu H S, Wang Y. A new conversion algorithm between Munsell color order system and

- CIE1931 standard colorimetric system (In Chinese). *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36 (4): 650—654
- [27] 叶程, 刘真, 吴光远, 等. 基于结构相似的CIE L*a*b*颜色信号向孟塞尔色序系统分级转换. 液晶与显示, 2016, 31 (6): 626—633
- Ye C, Liu Z, Wu G Y, et al. Hierarchical conversion algorithm of signal from CIELAB space to Munsell system which based on structure correlation analysis (In Chinese). *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31 (6): 626—633
- [28] Mahyar F, Cheung V, Westland S. Different transformation methods between CIELAB coordinates and Munsell hue. *Coloration Technology*, 2010, 126 (1): 31—36

Comparison between Colorimeter and New Standard Soil Colour Chart of China in Determining Munsell Color of Soils —A Case Study of Central Sichuan Hilly Region

CHEN Jianke YUAN Dagang[†] YAN Zhaomin LÜ Yang WENG Qian FU Hongyang ZHANG Chu
WANG Changquan ZHANG Jingsheng

(College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract 【Objective】 Soil color is a reflectance spectra characteristic of the soil in the visible light band and also a kind of visual perception. The Munsell color chart is a traditional tool to determine Munsell color of soils, however, soil color determination by color charts may be subjective due to the impacts of human subjective consciousness and environmental conditions. With advancement of the optical technology, numerous instruments have been developed one by one for determining soil colors, such as spectrographs, digital cameras, and even more convenient mobile phones that can all be used to determine soil colors. However, spectrometers are often quite expensive and bulky, and digital cameras and mobile phones are not so easy to get calibrated. So portable colorimeters pop up as a new type of tool that has the advantages of being small in size, easy to carry, and moderate in price. The use of colorimeters to determine soil colors helps to avoid subjective factors and some objective environmental factors, and hence improves work efficiency. The object of this study is to compare the *New Standard Soil Colour Charts* with two types of portable colorimeters in determining Munsell color of soils, in an attempt to find out differences between them and select a superior one for determination of Munsell color of soils. 【Method】 A total of 97 soil samples of 27 soil series were collected in the Central Sichuan hilly region, for determination of Munsell color after they were purged of plant and animal residues, air-dried, ground to pass a sieve, and mixed to get homogenized, separately. Each sample under went three treatments, that is, determination of Munsell soil color, with the *New Standard Soil Colour Charts*, Nix and CM600d, separately. The data of hue, value and chroma of soil Munsell color could be achieved directly via ocular estimation of the sample against the *New Standard Soil Colour Charts*, the use of CM600d, and the use of the color conversion formula to process the CIE XYZ data obtained with NIX. Then with the help of statistical parameters and rules for grading differences in Munsell soil color, comparison was done of the data obtained with the three different methods. 【Result】 The hue of the air-dried soil in Central Sichuan hilly area lingered mainly in YR, with 5YR and 10YR appearing the most frequently, or 33 and 30 times, respectively. The soil classified as purple soil in the Chinese Soil Genetic Classification System, after being air-dried, did not show any hue of RP, and lingered in the range of 4 ~ 8 in value and in the range of 2 ~ 6 in chroma, with “value/chroma” ratio being 5/3, 5/4, 6/4 and 7/4, the most frequently, indicating that the soils tested were quite high in value, but

low in chroma. With the result of the ocular estimation method as reference for comparison, the Munsell soil color obtained with the colorimeter method tended to be yellowish and agreeable value and chroma. The RMSE of hue, value and chroma measured with the CM600d was 1.74, 0.98 and 0.97 unit, respectively, and that with the NIX was 2.04, 0.57 and 0.88 unit, respectively. The difference between the ocular estimation method and the colorimeter methods in Munsell soil color could be graded into “Faint”, “Distinct” and “Prominent”, which was 90.72%, 8.25% and 1.03%, respectively, for CM600d and 84.54%, 14.43% and 1.03%, respectively for NIX. 【 Conclusion 】 The two kinds of colorimeters are useful to help researchers measure Munsell soil color, and improve accuracy of the measurement, too. The Nix method is closer to the ocular estimation method in measuring value of the Munsell soil color and moreover superior in price.

Key words Munsell color of soils; Color charts; Colorimeter; Color system conversion

(责任编辑：檀满枝)