

# 土壤颜色由 CIE 向 Munsell 系统的定量转换

岳智慧<sup>1</sup>, 黄强<sup>2</sup>, 肖理<sup>1</sup>, 李军<sup>1</sup>, 黄成敏<sup>1\*</sup>

1. 四川大学环境科学与工程系, 四川 成都 610065

2. 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876

**摘要** 颜色是土壤重要形态特征之一, 也为判断土壤理化特征、过程与功能的重要依据和指标。土壤颜色目前采用 Munsell 颜色系统表示, 主要依靠将土壤样品与土壤 Munsell 比色卡比对而确定。该方法由于受个人视觉感官和判别环境等因素限制, 导致土壤颜色判别结果存在主观性强, 易出现偏差等问题。为此, 寻求客观、定量、方便地表征土壤 Munsell 颜色的方法, 对于今后有关土壤颜色应用的研究工作极为重要。该研究试图利用分光光度计, 结合 Python 计算机语言编程, 采用邻近等明面插值等方法, 提出了一套可操作的从 CIE 到 Munsell 颜色系统转换的方法, 以实现土壤颜色从 CIE 到 Munsell 颜色系统的方便、快速、高精度转换, 达到土壤颜色的客观、定量、标准化测定。由分光光度计测得样品 CIELAB 颜色值, 利用 CIE 和 Munsell 两大颜色系统的已有的转换模型和方法, 由 CIELAB 值计算获得 Munsell 明度值 V 和色品坐标, 以 Python 语言编制程序, 实现样品的明度值和色品坐标的自动计算。进而采用邻近等明面数学插值法和色度变换图确定 Munsell 系统 H 和 C 值。以《中国标准土壤色卡》的 419 张色片和 22 个土壤与古土壤样品进行验证, 结果表明利用本文方法色调(H)测定值与色片标准值相比较, 仅有 12 张色片存在误差, 验证准确率为 97%。《中国标准土壤色卡》的明度值(V)、彩度值(C)测定值与标准值之间相关系数分别为 0.987 ( $p < 0.001$ ) 和 0.976 ( $p < 0.001$ ), 测定结果与标准值之间存在极显著相关关系。土壤与古土壤样品测定值与目视判别色调差异较小, 主要差别是明度和彩度, 这可能与目视判读受个人主观、光学环境等因素影响所致。基于过去已有的由 CIE 到 Munsell 颜色系统转换方法, 该研究利用 Python 计算机语言编程编写了程序代码, 实现 CIELAB 值到 Munsell 明度 V 值和色品坐标的转换过程的自动计算, 并提出一种基于邻近等明面新的插值方法, 转换步骤简明, 易实现, 为土壤颜色的快速、定量获取提供途径。

**关键词** 土壤颜色; CIELAB; Munsell; 定量; 转换

**中图分类号:** S151.9+2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)09-2842-05

## 引言

颜色是土壤最重要的特征之一<sup>[1]</sup>。作为土壤各种性状的综合反映, 土壤颜色成为判断土壤形成与发育、土壤肥力、土壤污染与质量、土壤水分以及重建气候与环境变化历史等特征、过程与功能的依据和指标, 广泛应用于土壤学、地球科学、农业、环境科学、生态学、遥感、考古等等领域的理论研究与实践过程<sup>[2-4]</sup>。

土壤颜色普遍采用门塞尔(Munsell)颜色系统表示, 该系统由色调(Hue, H)、明度(Value, V)和彩度(Chroma, C)要素构成, 可利用土壤 Munsell 比色卡人为目视测定<sup>[5-6]</sup>。土

壤 Munsell 颜色的目视判读依赖于个人经验和颜色视觉, 主观性强, 个人和判读环境影响差异较大, 导致土壤颜色判读易出现误差和偏差<sup>[6]</sup>。由此, 需要寻求客观、定量、方便地表征土壤 Munsell 颜色的方法。

利用光学系统测量物体的 CIE(国际照明委员会推荐的颜色系统)颜色是定量测定颜色的常见方法<sup>[7]</sup>。若能实现从光学仪器可测定的 CIE 向 Munsell 颜色系统的转换, 则可快速、精确、客观表征土壤颜色。现有关于 CIE 和 Munsell 两大颜色系统转换方法主要包括计算机转换法、查图法、线性插值法和数值公式转换法等<sup>[8-14]</sup>。计算机转换法通过建立 CIE 和 Munsell 系统数据库转换模型, 利用计算机实现两者间变换, 具有较高的转换精度, 但其转换过程抽象, 使得利

收稿日期: 2018-07-23, 修订日期: 2018-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771248, 41371225)资助

作者简介: 岳智慧, 1991 年生, 四川大学环境科学与工程系博士研究生 e-mail: yue\_zhihui@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: huangcm@scu.edu.cn

用计算机实现颜色系统之间的转换方法仍处于理论层面, 实际应用少<sup>[8-12]</sup>。查图法通过查阅图表来计算两个颜色系统的明度与色品坐标的办法实现系统转换, 精度较高, 但前期数学计算工作量巨大, 并且对查图的具体过程缺乏标准规范。线性插值法精度高, 但过去研究在数学插值过程中需要对各恒定色调线上的孟塞尔色样点沿彩度增加方向依次标号, 增加了工作量的同时减缓了转换速度<sup>[13]</sup>。数值公式转换法在转换过程中需要对颜色三刺激值和空间颜色组成均匀性进行校正, 繁复的转换和校正过程使其不能成为一种方便、实用的颜色定量转换方法<sup>[14]</sup>。近年来也有针对土壤颜色定量转换的研究报道<sup>[8, 10, 15]</sup>, 但其转换过程均运用了上述几种转换方法, 并未实现土壤颜色的快速与标准化测定。

为了实现土壤颜色从 CIE 到 Munsell 颜色系统的方便、快速、高精度转换, 试图利用分光光度仪, 结合 Python 计算机语言编程, 采用邻近等明面插值等方法, 提出了一套可操作的从 CIE 到 Munsell 颜色系统转换的方法, 实现土壤颜色的客观、定量、标准化测定。

## 1 实验部分

### 1.1 土壤颜色测定

《中国标准土壤色卡》<sup>[5]</sup>根据中国土壤颜色特征研制, 其色片颜色完整地涵盖了我国土壤颜色主要特征, 因其中 N 系列色片在色度变换图中并不存在, 因此本工作除去了 N 系列的 7 张色片, 将该色卡中余下的 419 张色片全部用于 CIE 系统的测定及其与 Munsell 系统的转换方法验证。另外选择主要受铁氧化物控制、致色机制清晰的云南省元谋盆地现代土壤和古土壤<sup>[3]</sup>以及采自四川省九寨沟县的黄土-古土壤共 22 件样品, 进行实际样品验证, 其 Munsell 颜色已对照土壤比色卡而判读。419 张标准土壤色卡和 22 件土壤与古土壤样品的 CIELAB 值测定采用分光色密度仪(美国 X-Rite 公司, 948 型)在四川大学皮革化学与工程教育部重点实验室完成。

### 1.2 CIE 颜色系统向 Munsell 颜色系统的转换方法

由分光光度仪获得的 CIE 颜色是国际照明委员会 1976 年推荐的 CIELAB 颜色系统。从 CIELAB 向 Munsell 系统的转换可分为两个步骤: (1) 由计算机辅助将颜色值从 CIELAB 计算到物体颜色的明度值  $V$  和色品坐标(即构成颜色的三原色坐标  $(x, y)$ ); (2) 通过读取色度变化图和采取邻近等明面数学插值法获得物体颜色的 Munsell 值。

#### 1.2.1 获取明度值 $V$ 和色品坐标

由分光光度仪测得样品 CIELAB 颜色值, 利用 CIE 和 Munsell 两大颜色系统的已有的转换模型和方法, 采用式(1)~式(3)可由 CIELAB 值计算样品明度值  $V$  和色品坐标<sup>[7, 11-12]</sup>。

(1) CIELAB 系统转换为 CIE-XYZ 系统

要实现颜色从 CIELAB 向 Munsell 系统的转换, 须先将 CIELAB 的  $L^*, a^*, b^*$  值转换到 CIE-XYZ 系统中的  $X, Y$  和  $Z$  三刺激值<sup>[7]</sup>。

$$\begin{cases} L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \\ b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $L^*, a^*, b^*$  分别为 CIELAB 颜色系统中的亮度、红度、黄度;  $X, Y, Z$  为 CIE-XYZ 颜色系统中的三刺激值;  $X_n, Y_n, Z_n$  为 CIE 标准照明体照射到完全漫反射体表面的三刺激值。

(2) CIE-XYZ 亮度值  $Y$  转换为 Munsell 系统明度值  $V$

CIE-XYZ 系统颜色亮度值  $Y$  与 Munsell 系统明度值  $V$  可以通过牛顿迭代法直接进行转换<sup>[7, 11-12]</sup>, 其表达式为

$$Y = 1.253\ 302\ 8V - 0.237\ 049\ 5V^2 + 0.245\ 665\ 4V^3 - 0.021\ 548\ 9V^4 + 0.000\ 862V^5 \quad (2)$$

(3) CIE-XYZ 系统三刺激值与色品坐标的转换

在色度变换图中, 需要通过色品坐标来读取颜色的色调和彩度。CIE-XYZ 三刺激值与色品坐标  $(x, y)$  之间存在以下函数关系<sup>[7]</sup>

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \end{cases} \quad (3)$$

从 CIELAB 值到明度  $V$  值和色品坐标的转换过程计算量大, 我们采用 Python 语言编制程序, 实现样品的明度值和色品坐标的自动计算(程序代码可免费下载, 网址: <https://github.com/HQebupt/work-from-home/blob/master/color.py>)。

#### 1.2.2 Munsell 系统 $H$ 和 $C$ 值获取方法设计

在获取明度值和色品坐标后, 利用邻近等明面数学插值法和色度变换图得到相应的 Munsell 系统  $H$  和  $C$  值。

相对于过去线性插值法中需要对 Munsell 色样进行反复标号的过程<sup>[13]</sup>, 本研究所采用的等明面数学插值法是通过色样在两个邻近等明面中的投影点进行直接线性插值, 提升了转换速度。当明度值  $V$  为整数时, 可以直接从等明面内获取色品坐标相对应的色调  $H$  和彩度  $C$ 。而  $V$  常为非整数, 这时需要确定颜色样品相邻的两个等明面, 并通过在两个等明面之间进行数学插值得到样品 Munsell 系统的色调( $H$ )值和明度( $C$ )值。

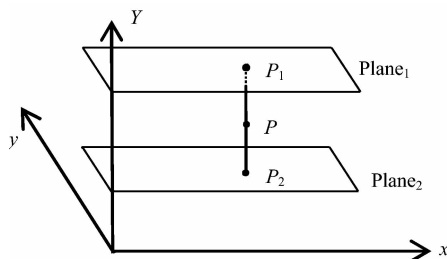


图 1 CIE-XYZ 向 Munsell 颜色系统转换时的插值

Fig. 1 Interpolation for the conversion of CIE-XYZ colorimetric data to Munsell notations

图 1 中,  $P$  点为所求的颜色点,  $Plane_1$  和  $Plane_2$  是  $P$  点颜色所在明度面的两个邻近等明面, 在等明面内所有点明度

值相同。 $Y_{xy}$  为 CIE 色度坐标系,  $P_1$  和  $P_2$  分别为通过  $P$  点在两个邻近等明面上的投影点。确定邻近等明面相应点的坐标以后,  $P$  点的色调 ( $H_p$ ) 和彩度 ( $C_p$ ) 可以由  $P_1$  和  $P_2$  点的色调和彩度值按照邻近等明面插值得到, 插值计算如式(4)

$$\begin{cases} H_p = H_{P_2} + \lambda(H_{P_1} - H_{P_2}) \\ C_p = C_{P_2} + \lambda(C_{P_1} - C_{P_2}) \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中,  $H_p$  为  $P$  点对应的色调值,  $C_p$  为  $P$  点对应的彩度值;  $H_{P_1}$  和  $C_{P_1}$  是  $P_1$  点在  $\text{Plane}_1$  的色调值和彩度值;  $H_{P_2}$  和  $C_{P_2}$  是  $P_2$  点在  $\text{Plane}_2$  的色调值和彩度值。 $\lambda$  为明度插值系数, 其表达式为

$$\lambda = \frac{V_p - V_{\text{Plane}_2}}{V_{\text{Plane}_1} - V_{\text{Plane}_2}} \quad (5)$$

式(5)中,  $V_p$  为  $P$  点明度值;  $V_{\text{Plane}_1}$  为  $P_1$  点在  $\text{Plane}_1$  的明度值,  $V_{\text{Plane}_2}$  为  $P_2$  点在  $\text{Plane}_2$  的明度值。

由上述计算获得的色调和彩度值很大可能与土壤 Munsell 比色卡的设定值不符合, 因此, 可利用色度变换图确定其土壤 Munsell 颜色值。譬如, 土壤 Munsell 比色卡相邻色调值间隔为 2.5 个单位, 由此, 在色度变换图中, 以色调中心值为准, 前后 1.25 个色调单位范围内的所有值均设定为色调中心值。以色调值 7.5R 为例, 它是 6.25R 到 8.75R 色调区间的色调中心值, 将落在该色调区间范围内的所有色调值均视作 7.5R (图 2)。等彩度线在色度变换图中的间隔为 2 个彩度单位, 可根据点所在的位置, 按比例来确定该点的彩度值。以位于等彩度线 2 和 4 中间的  $P$  点为例,  $P$  点彩度值可判读为 3 (图 2)。

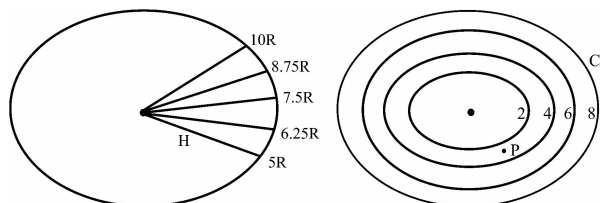


图 2 色度变换图中  $H$  和  $C$  取值示意图

Fig. 2 Value and chroma assigning in color conversion chart

## 2 方法验证与分析

利用分光光度计, 建立比色片和土壤样品的 CIELAB 数据库, 导入编制好的计算机程序中自动计算得到每张色片对应的明度值  $V$  及其色品坐标 ( $x, y$ ), 使用色度变换图获取两个邻近等明面投影点的色调值和彩度值, 并通过数学插值得到色片的 Munsell 值, 完成对土壤颜色的转换, 进而进行方法的精度比较。

### 2.1 《中国标准土壤色卡》验证与分析

利用分光光度计, 测得的《中国标准土壤色卡》419 张色片的 CIELAB 颜色值, 利用本研究的转换方法, 获得 Munsell 颜色测定值。将测定值与土壤 Munsell 比色卡标准值对比, 407 张两者一致, 只有 12 张色片的色调值 ( $H$ ) 存在误差, 仅占 3%。经测定、转换后所得的明度值 ( $V$ )、彩度值 ( $C$ ) 与土壤比色卡标准值之间的相关系数分别为 0.987 ( $p < 0.001$ ) 和 0.976 ( $p < 0.001$ ), 除个别异常值外, 定量转换结

果与标准值之间存在极显著线性相关关系, 进一步证明了测定、转换结果具有高精度 (图 3)。

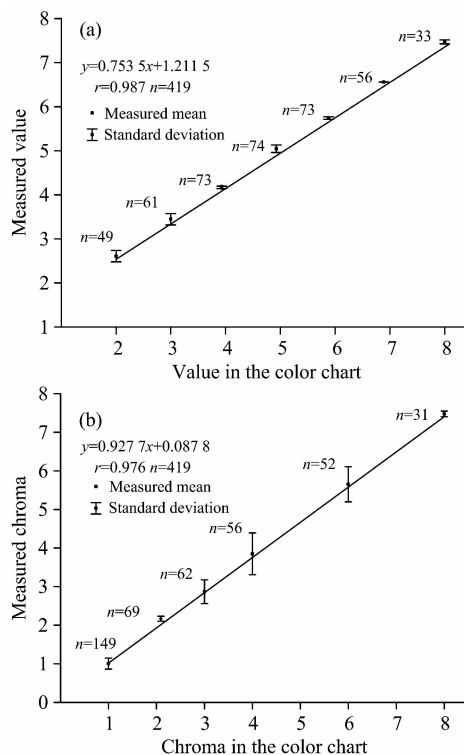


图 3 《中国标准土壤色卡》标准值与测定值的比较及标准方差分布

Fig. 3 Correlation and standard deviation comparisons between calculated Munsell value and the standard value in Munsell Soil Color Chart of China

实验结果中的转换误差主要在 YR 和 R 两个色卡区间内, 这与该颜色区间等色调线和等彩度线的曲率较大有关<sup>[13]</sup>。在颜色转换过程中, 12 张色调值出现误差的色片全部属于 YR 和 Y 色调色卡页。明度测定值误差主要出现在 YR, Y, B 和 PB 色卡页, 但这 4 种色卡页的明度测定值与标准值相关系数仍可达到 0.971 ( $p < 0.001$ ,  $n = 249$ ), 可见测定值精度依然高。彩度测定值的误差主要表现为较标准值低, 且更容易出现在低明度且高彩度的颜色区间, 这既与高彩度相关<sup>[6]</sup>, 也与色度仪的选择有关, 因为不同品牌分光光度计对物体颜色的测量效果存在一定差异<sup>[16-17]</sup>。

### 2.2 土壤与古土壤样品比较与分析

将土壤与古土壤样品由 CIELAB 系统转换的样品 Munsell 颜色与有经验的土壤学专家利用土壤 Munsell 比色卡目视判别的样品颜色进行对比, 两者基本符合, 明度和彩仅存在 1~2 个单位的差异 (表 1)。

除了一个样品的色调值 ( $H$ ) 相差 2.5 个单位 (土壤比色卡的基本单位), 其余样品的色调值 ( $H$ ) 一致。而明度值 ( $V$ ) 有 7 个样品一致, 11 个相差 1 个单位, 4 个相差 2 个单位。总体上, 两种方法获得的彩度值 ( $C$ ) 相差最大, 只有 4 个样品一致, 其余出现 1~3 个单位的差异, 且彩度值越大, 相差也越大。两种方法获得的样品 Munsell 颜色出现差异的原因

除了标准土壤色卡颜色、光度仪测定以及 CIE 系统转换为 Munsell 系统过程均存在一定色差和误差之外,可能主要在于:(1)由于个人视觉感官对物体颜色存在较强的主观性,

导致颜色判断失误;(2)环境对肉眼判别的影响,如光线等因素会影响人眼对土壤颜色判别的准确性<sup>[5]</sup>。

表 1 CIELAB 转换与土壤比色卡判读的土壤与古土壤 Munsell 颜色对比

Table 1 Comparison between the calculated and the visual-inspected values with Munsell Soil Color Chart of China for Munsell color of the soil and paleosols

| 序号 | 土壤剖面编号 | 深度 /cm  | CIELAB 颜色 |       |       | 转换后的 Munsell 颜色 | 由土壤比色卡判读的 Munsell 颜色 <sup>[5]</sup> | 颜色差值       |            |            |
|----|--------|---------|-----------|-------|-------|-----------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|
|    |        |         | L*        | a*    | b*    | H V/C           | H V/C                               | $\Delta H$ | $\Delta V$ | $\Delta C$ |
| 1  | YH04   | 14~32   | 43.27     | 17.77 | 26.76 | 2.5YR 4/6       | 2.5YR 4/8                           | 0          | 0          | 2          |
| 2  |        | 32~60   | 44.28     | 19.25 | 28.48 | 2.5YR 4/6       | 2.5YR 5/8                           | 0          | 1          | 2          |
| 3  | YH03   | 0~20    | 44.3      | 22.44 | 30.48 | 2.5YR 4/7       | 5YR 6/8                             | 2.5        | 2          | 1          |
| 4  |        | 20~50   | 40.36     | 20.59 | 26.8  | 2.5YR 4/6       | 2.5YR 5/8                           | 0          | 1          | 2          |
| 5  |        | 50~105  | 45.05     | 21.96 | 29.71 | 2.5YR 4/7       | 2.5YR 5/8                           | 0          | 1          | 1          |
| 6  | YH06   | 0~50    | 37.53     | 22.04 | 27.87 | 2.5YR 4/6       | 2.5YR 4/8                           | 0          | 0          | 2          |
| 7  |        | 50~100  | 37.64     | 21.73 | 27.86 | 2.5YR 4/6       | 2.5YR 5/8                           | 0          | 1          | 2          |
| 8  | YH07   | 0~10    | 37.49     | 15.07 | 22.35 | 5YR 4/5         | 5YR 5/6                             | 0          | 1          | 1          |
| 9  |        | 10~35   | 39.91     | 17.75 | 25.86 | 5YR 4/5         | 5YR 4/8                             | 0          | 0          | 3          |
| 10 | YH08   | 0~50    | 35.14     | 16.77 | 23.16 | 5YR 3/5         | 5YR 5/8                             | 0          | 2          | 3          |
| 11 |        | 50~120  | 34.82     | 13.35 | 19.91 | 5YR 3/4         | 5YR 3/4                             | 0          | 0          | 0          |
| 12 | YH01   | 3~13    | 44.04     | 13.94 | 22.99 | 5YR 4/5         | 5YR 5/8                             | 0          | 1          | 3          |
| 13 |        | 13~30   | 41.72     | 17.41 | 24.78 | 5YR 4/5         | 5YR 4/6                             | 0          | 0          | 1          |
| 14 |        | 30~100  | 40.57     | 17.36 | 24.75 | 5YR 4/5         | 5YR 4/6                             | 0          | 0          | 1          |
| 15 | YH02   | 10~52   | 46.97     | 13.21 | 22.05 | 5YR 5/4         | 5YR 5/6                             | 0          | 0          | 2          |
| 16 |        | 52~100  | 44.98     | 13.1  | 21.12 | 5YR 4/4         | 5YR 6/6                             | 0          | 2          | 2          |
| 17 | A01    | 565~570 | 57.58     | 6.77  | 18.44 | 7.5YR 6/3       | 7.5YR 7/4                           | 0          | 1          | 1          |
| 18 | A18    | 480~485 | 46.79     | 6.85  | 16.64 | 7.5YR 4/3       | 7.5YR 5/3                           | 0          | 1          | 0          |
| 19 | A37    | 385~390 | 53.34     | 6.46  | 17.52 | 7.5YR 5/3       | 7.5YR 6/3                           | 0          | 1          | 0          |
| 20 | A49    | 325~330 | 56.28     | 6.21  | 17.47 | 7.5YR 5/3       | 7.5YR 7/3                           | 0          | 2          | 0          |
| 21 | A67    | 235~240 | 59.42     | 5.6   | 17.46 | 7.5YR 6/3       | 7.5YR 7/2                           | 0          | 1          | 1          |
| 22 | A89    | 125~130 | 57.41     | 5.01  | 16.55 | 7.5YR 6/3       | 7.5YR 7/2                           | 0          | 1          | 1          |

### 3 结 论

针对土壤 Munsell 颜色难以客观、准确定量的现实问题,总结了一套新的将土壤颜色从 CIE 向 Munsell 系统转换的方法。利用分光光度仪测得样品的 CIELAB 值,采用已有的数学转换模型、Python 语言编程可计算样品色度坐标和明度值,结合邻近等明面插值法获得 Munsell 颜色值。与已有

的土壤颜色转换方法相比较,方法原理简单,算法更容易实现。对不同类型样品的颜色转换结果较理想,测定结果值与标准色卡值误差小,与目视判别的土壤与古土壤颜色对比更稳定,受环境条件影响小。相对于目前利用比色卡目测土壤颜色的方法,本工作提出的测定、转换方法更实用、快速、客观、定量表征土壤颜色。随着野外便携式分光光度仪的推广与应用,本文的颜色转换方法将在今后的野外土壤调查工作中更具有实际应用价值。

### References

[ 1 ] Fan Z S, Herrick J E, Saltzman R, et al. Soil Science Society of America Journal, 2017, 81: 1139.  
 [ 2 ] LIU Yan-de, WU Ming-ming, LI Yi-fan, et al(刘燕德, 吴明明, 李轶凡, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2017, 37(8): 2424.  
 [ 3 ] HUANG Cheng-min, WANG Cheng-shan, HE Yu-rong, et al(黄成敏, 王成善, 何毓蓉, 等). Chinese Journal of Soil Science(土壤通报), 2004, (3): 251.  
 [ 4 ] Liedgren L, Hornberg G, Magnusson T, et al. Journal of Archaeological Science, 2017, 79: 62.  
 [ 5 ] Institute of Soil Science, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences(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). New Standard Soil Color Chart of China(中国标准土壤色卡). Nanjing: Nanjing Press(南京: 南京出版社), 1989.

- [6] Munsell Color. Munsell Soil Color Chart—2009 revised ed. Michigan, USA: Munsell Color and X-Rite, 2013.
- [7] JING Qi-cheng, JIAO Shu-lan, YU Bo-lin, et al(荆其诚, 焦书兰, 喻柏林, 等). Chromatics Theory(色度学). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1979.
- [8] Kirillova N P, Vodyanitskii Y N, Sileva T M. Eurasian Soil Science, 2015, 48(5): 468.
- [9] Mahyar F, Cheung V, Westland S. Coloration Technology, 2010, 126(1): 31.
- [10] Rossel R A V, Minasny B, Roudier P, et al. Geoderma, 2006, 133(3): 320.
- [11] YE Cheng, LIU Zhen, WU Guang-yuan(叶程, 刘真, 吴光远). Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays(液晶与显示), 2016, 31(6): 626.
- [12] Simon F T, Frost J A. Color Research & Application, 2010, 12(5): 256.
- [13] XU Fu-shan, XU Hai-song, WANG Yong(徐芙珊, 徐海松, 王勇). Acta Photonica Sinica(光子学报), 2007, (4): 650.
- [14] Vodyanitskii Y N, Kirillova N P. Eurasian Soil Science, 2016, 49: 1259.
- [15] CHEN Jian-ke, YUAN Da-gang, YAN Zhao-min, et al(陈剑科, 袁大刚, 晏昭敏, 等). Acta Pedologica Sinica(土壤学报), 2019, 56(1): 78.
- [16] Stiglitz R, Mikhailova E, Post C, et al. Computers & Electronics in Agriculture, 2016, 121(C): 141.
- [17] Rabenhorst M C, Schmehling A, Thompson J A, et al. Soil Science Society of America Journal, 2015, 79: 193.

## Quantitative Conversion of Soil Color from CIELAB to Munsell System

YUE Zhi-hui<sup>1</sup>, HUANG Qiang<sup>2</sup>, XIAO Li<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1</sup>, HUANG Cheng-min<sup>1\*</sup>

1. Department of Environmental Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2. State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

**Abstract** Color is one of the critical morphological features of soils, which can be used as a basic index or proxy to reveal numerous soil physical and chemical properties, processes and functions. Soil color is universally expressed by the Munsell color system, and detected by the visual sense through the match of soil samples with the soil standard charts. However, the errors and bias in soil color readily occur using the current method due to the constrain of the difference in individual vision and variation in optical environment. An objective, quantitative and rapid method to determine the soil Munsell color is urgent to be invented. Here, with the combination of color measurement using the colorimeter, automatic calculation and linear interpolation between the adjacent Value (V) isoplanes, a procedure for the conversion of CIE color to Munsell color was proposed to obtain the soil color conveniently, rapidly and precisely. This protocol includes: (1) CIELAB color values of the samples are measured by the colorimeter; and (2) the color coordinates and the Munsell V values are computed automatically with the program in Python language on a base of the knowledge of the conversion between CIE and Munsell color systems; and (3) the linear interpolation between the adjacent V isoplanes and color conversion chart are employed to assign the Munsell Hue (H) and Chroma (C). 419 color chips from Munsell Soil Color Chart of China and 22 soil and paleosol samples were used to validate the protocol. The Munsell H values of 12 chips using our procedure were different from those in Munsell Soil Color Chart of China, and the measured accuracy reached 97%. Meanwhile, the correlation coefficients in Munsell V and C between the measured values and standard values were 0.987 ( $p < 0.001$ ) and 0.976 ( $p < 0.001$ ), respectively, exhibiting a robust significance. For the soil and paleosol samples, the difference in Munsell H between the measured values using our protocol and judged by visual sense is least while a discrepancy in Munsell V and C occurs possibly because of the visual values affected by the visual sense and optical environment. Based on the previous literatures on transformation in soil color between CIE to Munsell color systems, we established a procedure, particularly in making a Python program in order to complete the automatic calculation from CIELAB to the color coordinates and the Munsell V values, and providing a new interpolation method to acquire the Munsell V and C values, to facilitate the rapid and applicable conversion of CIE color system to Munsell color system for soils.

**Keywords** Soil color; CIELAB color; Munsell color; Quantitative; Conversion

(Received Jul. 23, 2018; accepted Nov. 25, 2018)

\* Corresponding author