

DOI: 10.11766/trxb202003020084

余星兴, 袁大刚, 陈剑科, 付宏阳. 四川盆地沙溪庙组地层 (J_{2s}) 岩石发育土壤的系统分类研究[J]. 土壤学报, 2021, 58 (6): 1448–1459.
YU Xingxing, YUAN Dagang, CHEN Jianke, FU Hongyang. Taxonomy of Soils Developed from Rocks of Shaximiao Formation (J_{2s}) Strata in Sichuan Basin[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58 (6): 1448–1459.

四川盆地沙溪庙组地层 (J_{2s}) 岩石发育土壤的系统分类研究*

余星兴, 袁大刚[†], 陈剑科, 付宏阳

(四川农业大学资源学院, 成都 611130)

摘要: 地理发生分类的紫色土在中国土壤系统分类中的归属一直受到高度关注, 以四川盆地分布最为广泛的侏罗系沙溪庙组地层岩石发育的土壤为研究对象, 在对 19 个典型剖面的成土条件、剖面形态特征和土壤理化性质分析的基础上, 根据《中国土壤系统分类检索 (第三版)》, 确定了供试土壤的诊断层和诊断特性及其在中国土壤系统分类中的高级类别。结果表明, 供试土壤归属于 3 个土纲、3 个亚纲、7 个土类和 12 个亚类; 色卡确定的颜色上满足“紫色砂、页岩岩性特征”的剖面仅 7 个; 但若在原颜色定义上增加“或色调为 2.5YR~5YR, 干态明度为 4~6, 干态彩度为 3~4”条件, 则有 11 个剖面的色卡定色符合“紫色砂、页岩岩性特征”, 3 个剖面的仪器定色符合该特征。

关键词: 紫色土; 土壤系统分类; 紫色砂、页岩岩性特征

中图分类号: S155.3 **文献标志码:** A

Taxonomy of Soils Developed from Rocks of Shaximiao Formation (J_{2s}) Strata in Sichuan Basin

YU Xingxing, YUAN Dagang[†], CHEN Jianke, FU Hongyang

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

Abstract: The Sichuan Basin is an area the most representative of purplish sandstones and shales distribution in China, with the Shaximiao formation (J_{2s}) being the most widely distributed strata. **【Objective】** The purpose of this article is to improve soil taxonomy in Sichuan Province, and to discuss rationality of the requirement for hue in classification of “L.C. of Purplish Sandstones and Shales” in line with the Chinese Soil Taxonomy. **【Method】** A total of 19 soil profiles typical of the Shaximiao formation in Sichuan were selected for analysis of soil-forming environment, morphological features and physico-chemical properties. In line with the criteria set in the Keys to the Chinese Soil Taxonomy (3rd edition), diagnostic horizons and characteristics of the soil profiles were determined and attributions of the profiles specified in the Chinese Soil Taxonomy. **【Result】** The 19 soil profiles could be sorted into 3 orders, 3 suborders, 7 groups and 12 subgroups, and only 7 of them were

* 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)

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

作者简介: 余星兴 (1996—), 女, 四川南充人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源可持续利用研究。E-mail: 1803927051@qq.com

收稿日期: 2020-03-02; 收到修改稿日期: 2020-10-06; 网络首发日期 (www.cnki.net): 2020-12-31

found in conformity with the requirement for hue of “*L.C. of Purplish Sandstones and Shales*”, accounting for only 43.75% of the purplish soil, which indicates that most of the purplish soil individuals did not meet this hue requirement. 【Conclusion】 The purplish soils matched 10 subgroups in the soil taxonomy. Compared with the system of soil genesis classification, the soil taxonomy pays more attention to properties of the purplish soil per se in classification. Taking into account the color characteristics of the purplish soil in this study, it is suggested that the hue range of “2.5YR~5YR, dry value of 4~6 and dry chroma of 3~4” be augmented in addition to the original hue requirements of “*L.C. of Purplish Sandstones and Shales*”, then the purplish soil individuals that match this diagnostic feature in visual colorimetry may reach 64.71% in proportion and increase from 0 to 3 in number in the instrumental colorimetry. Since visual colorimetry is more likely to have errors than instrumental colorimetry it is suggested that the Chinese Soil Taxonomy should stipulate the use of a modern, more objective and more accurate color measuring instrument, and on such a basis the color ranges of some diagnostic features need to be redrafted.

Key words: Purplish soil; Chinese soil taxonomy; Characteristics of purplish sandstones and shales

以诊断层和诊断特性为基础、定量化为特点的土壤系统分类是目前国际土壤分类的主流,我国在这方面从 20 世纪 80 年代发展至今已经取得了卓越的成就^[1-4]。地理发生分类中的紫色土是中国土壤学家确定的一类由紫色岩发育而成的岩性土,继承了母岩的颜色、颗粒组成、矿物组成、化学成分等明显特征^[5],中国土壤系统分类为此拟定了“紫色砂、页岩岩性特征”这一诊断特性,其中对颜色的定义为“色调为 2.5RP~10RP”。但从已有研究结果^[6-12]来看,能够满足此条件的“紫色土”很少,因此该颜色的限定一直存在争议。就紫色母岩的颜色而言,存在紫、灰紫、红紫(2.5RP~10RP),红、红棕、红橙(2.5R~10R)以及橙(2.5YR~5YR)等诸多色调^[13-14],因此以 RP 色调来定义“紫色”过于狭隘^[15-16]。

四川省新、老地层出露齐全,沉积岩出露最广,尤其是集中在四川盆地和川西南山地的侏罗系与白垩系,沙溪庙组地层则居侏罗系面积之首^[17]。沙溪庙组地层是指岩性为黄灰、紫灰色长石石英砂岩与紫红、紫灰色泥(页)岩不等厚韵律互层、与下伏新田沟组、千佛岩组及上覆遂宁组整合接触或平行不整合超覆于自流井组之上的地层^[18],因沉积时期的区域抬升和古气候变化^[19-20],这一地层的岩石及其发育的土壤颜色丰富多样,但能否满足现有的“紫色”定义还有待全面系统的研究。为此,本文依托国家科技基础性工作专项(2014FY110200A12),选取了四川盆地在四川省区域内的沙溪庙组地层岩石发育土壤的典型个体,依据《中国土壤系统分类检索(第三版)》对其进行系统分类研究,确定该地层

发育的土壤在中国土壤系统分类中的归属,旨在进一步推动我国对紫色土系统分类的研究,并为紫色土因地制宜的利用和保护提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

四川盆地处于我国西南部,位于 103°~108° E 与 28°~32° N 之间,总面积达 16.5×10⁴ km²。盆地四周为大巴山、大娄山、大凉山、大相岭、峨眉山、邛崃山、龙门山等中山和低山所环绕,以海拔 1 500~3 000 m 的中低山地为主。四川盆地是我国同纬度范围内热量最丰富的地区,属亚热带季风气候,无霜期较长,达 230~340 d;气温东高西低,南高北低,盆底高而边缘低,年均气温一般为 16 °C~18 °C,1 月平均气温为 4 °C~8 °C,7 月平均气温为 26 °C~28 °C,>10 °C 积温 4 000 °C~6 000 °C;年降水量 1 000~1 300 mm,但年内分配不均,70%~75% 的雨量集中于 6—10 月。四川盆地沉积岩广布,出露地层中以侏罗系面积最大,约占红层面积的 78%,其中沙溪庙组又约占侏罗系出露面积的 48%^[17]。

1.2 土壤调查、样品采集与测试

依据四川省第二次土壤普查资料,综合研究区地质、地貌、植被、交通及土壤类型等信息,于 2015 年 5 月至 2016 年 8 月选定 19 个典型样点(表 1)进行土壤调查与采样。从表 1 可见,典型土壤剖面所处区域海拔介于 309~567 m,均位于 800 m 以下的低山、丘陵区的坡地部位。成土母质根据全国地质资料馆/数字地质资料馆 1:25 万地质图或沉积建

造图和采集的母岩样本确定母岩所属地层, 均为中生代侏罗系沙溪庙组沉积岩风化形成的坡积物或残坡积物。典型土壤剖面所处区域年均土温、降水量、蒸散量和干燥度根据四川省 160 个气象站点的地面气候资料 (1951—1980 年) 通过 GIS 空间插值方法取得^[21-22]。年均土温为 17.7 °C~19.9 °C, 表明供

试土壤均为热性土壤温度状况, 年均降水量为 989.8~1220.8 mm, 年均潜在蒸散量为 658.6~847.1 mm, 年均干燥度为 0.5~0.8, 但当年 12 月一次年 2 月的干燥度为 1.05~3.28, 结合所处地形, 确定典型土壤剖面均为湿润土壤水分状况。土地利用现状以旱地和林地为主, 少量草地和果园。

表 1 供试土壤的成土条件

Table 1 Soil-forming factors of the tested soils

剖面 编号 Profile No.	地点 Location	海拔/m Altitude	地形及部位 Relief	母质 Parent material	年均土温 ^① /°C	年均降水量 ^② /mm	年均蒸散量 ^③ /mm	年均干燥 度 ^④	土地利用
									类型 Land use type
51-021	富顺县永年镇 永民村	329	丘陵上部中缓坡	砂岩坡积物	19.89	1067.81	791.29	0.74	旱地
51-136	仁寿县富加镇 泗店村	417	丘陵上部中缓坡	粉砂岩残坡积物	19.38	989.84	790.04	0.80	其他林地
51-137	威远县铺子湾 镇龙泉村	342	丘陵中部中缓坡	砂岩残坡积物	19.57	999.90	797.51	0.80	有林地
51-138	贡井区成佳镇 四平村	440	丘陵下部中缓坡	粉砂岩残坡积物	19.82	1029.16	793.45	0.77	旱地
51-139	大安区团结镇 红星村	345	丘陵上部缓坡	粉砂岩残坡积物	19.77	1026.06	802.02	0.78	旱地
51-142	屏山县大乘镇 柏杨村	567	丘陵中上部中坡	砂岩残坡积物	18.36	1137.35	691.79	0.61	有林地
51-144	江安区桐梓镇 桐梓乡	375	丘陵中上部缓坡	砂泥岩坡积物	17.77	1154.51	658.62	0.57	有林地
51-145	翠屏区李瑞镇 新庄村	374	丘陵中下部中坡	砂页岩残坡积物	19.63	1123.07	733.43	0.65	有林地
51-146	高县沙河镇大 里村	411	丘陵中上部中缓坡	砂页岩残坡积物	19.67	1130.45	720.41	0.64	有林地
51-156	隆昌县迎祥镇 关圣村	384	丘陵上部缓坡	粉砂岩残坡积物	19.31	1039.05	783.53	0.75	旱地
51-169	武胜县华封镇 黑水塘村	338	丘陵上部缓坡	粉砂岩残坡积物	19.20	1015.29	781.85	0.77	旱地
51-171	广安区大安镇 大碑村	420	丘陵上部缓坡	砂岩残坡积物	18.52	1054.71	759.64	0.72	其他草地
51-172	前锋区新桥乡 檀木村	353	丘陵上部缓坡	砂岩残坡积物	18.97	1094.74	753.37	0.69	旱地 (水改旱)

续表

剖面 编号 Profile No.	地点 Location	海拔/m Altitude	地形及部位 Relief	母质 Parent material	年均土温 ^① /°C	年均降水量 ^② /mm	年均蒸散量 ^③ /mm	年均干燥 度 ^④	土地利用
									类型 Land use type
51-173	邻水县城北镇 茨竹镇	486	丘陵上部中坡	砂岩残坡积物	18.75	1149.59	743.77	0.65	其他草地
51-175	渠县天星镇合 力村	309	丘陵中上部缓坡	粉砂岩残坡积物	18.91	1089.71	797.96	0.73	旱地
51-176	达州区斌郎乡 桥坝村	346	丘陵中上部中缓坡	粉砂岩残坡积物	18.49	1197.63	803.81	0.67	有林地
51-177	开江县新宁镇 桥亭村	504	低山中下部缓坡	砂岩残坡积物	17.70	1220.80	796.87	0.65	旱地
51-178	宣汉县毛坝镇 炉旺村	422	低山中下部缓坡	粉砂岩残坡积物	17.70	1191.59	847.10	0.71	有林地
51-193	井研县马踏镇 五里湾村	354	丘陵顶部缓坡	粉砂岩残坡积物	19.43	1126.49	747.68	0.66	果园

①Annual mean soil temperature, ②Annual mean precipitation, ③Annual mean evapotranspiration, ④Annual mean aridity index

利用手持 GPS 记录典型剖面的经纬度及海拔信息, 按照《野外土壤描述与采样手册》^[23]要求挖掘剖面 (图 1), 拍摄景观和剖面照片, 划分土层、记录各层深度范围, 自下而上采集各发生层分析样品, 同时观察记录其颜色、质地、结构、新生体、岩石碎屑、石灰反应等信息, 分析样品及时运回实验室, 经风干、去杂、研磨、过不同孔径筛后待用。

土壤颜色室内测定: 目测—采用《中国标准土壤色卡》^[24]在标准光源箱内肉眼观察描述过 2 mm 筛土样干、润态颜色; 仪器测定—采用日本 Konica Minolta 产 CM600d 型分光测色仪定量测定过 2 mm 筛土样干态颜色^[25-26]。土壤理化指标参照《土壤调查实验室分析方法》^[27]: pH-H₂O/KCl 浸提, 电位法测定; 颗粒组成采用吸管法测定; 有机碳 (SOC) 采用重铬酸钾-硫酸消化法测定; 阳离子交换量 (CEC₇) 采用 NH₄OAc (pH7.0) 交换法测定; 交换性盐基采用 NH₄OAc (pH7.0) 浸提, 原子吸收光谱法 (Ca、Mg) 和火焰光度法 (K、Na) 测定; 交换性氢、铝采用 KCl 交换—中和滴定法测定; 游离铁采用 DCB 浸提, 电感耦合等离子发射光谱仪 (ICP-AES) 测定; 碳酸钙相当物采用容量滴定法测定; 土壤矿物采用 X 射线衍射法测定。

1.4 数据处理方法

统计分析及图表制作采用 Microsoft Excel 2016。

2 结 果

2.1 土壤剖面形态特征

供试土壤主要呈 A- (AB) -B- (C) - (R) 和 A- (AC) -C-R 等剖面构型; 在矿质土表到 125 cm 的深度范围内, 有 18 个土壤剖面出现 R 层 (母岩, 准石质接触面), 其中 10 个剖面 R 层出现深度小于 50 cm。野外观察表明, 土壤多为亚角块状结构体类型, 仅剖面 51-172、剖面 51-175 和剖面 51-193 表层土壤为屑粒状结构体; 剖面 51-172 底层 (32~74 cm) 虽然黏粒含量较低 (93~104 g·kg⁻¹), 但其土壤结构近似棱块状, 且结构体表面可见明显的黏粒胶膜, 表明其为黏化层。剖面 51-172 和剖面 51-177 部分土层结构体表面可见不同数量的锈纹锈斑, 表明其具备氧化还原特征。51-136、51-138、51-142、51-145、51-156、51-169 和 51-176 等 7 个剖面土体中均含有一定数量的岩石碎屑, 其颜色分别为 10RP 5/2、10RP 4/2、10RP 6/2、10RP 5/3、10RP 6/3、5RP 5/1、5RP 4/1, 可判断为紫色砂、页岩碎屑, 表明这

7 个剖面均具有紫色砂、页岩岩性特征。51-139、51-156、51-169 和 51-193 全剖面均有轻度石灰反应, 51-138 全剖面有中度石灰反应, 剖面 51-175 仅中部土层有中度石灰反应, 51-136 全剖面均有强石灰反应, 剖面 51-176 各土层均具有轻度至强度石灰反应; 其余剖面无石灰反应。

颜色是土壤的重要性质, 也是反映土壤其他性质的重要指标。供试剖面的母岩/土壤色卡确定的色调(干态)有 10RP、10R、2.5YR、5YR、7.5YR 和 10YR, 其中以 2.5YR 最多; 51-144 全剖面色调均为 5YR, 51-136、51-138、51-139、51-142、51-146、51-169、51-175 和 51-176 全剖面色调均为 2.5YR, 51-193 全剖面色调均为 10R, 这 10 个剖面色调均为 5YR 或更红, 表明其土体具有铁质特性。统计结果表明, 各剖面发生层明度范围为 4~7, 主要为 5 和

6; 彩度范围为 2~8, 主要为 3 和 4。51-137 土壤剖面上部较下部偏黄, 近 1/2 的土壤色调与母岩有异。有 7 个剖面含紫色砂页岩碎屑, 其母岩色调满足“紫色砂、页岩岩性特征”的色调要求“2.5RP~10RP”。利用分光测色仪测定供试剖面发生层土样的 Munsell 颜色特征(干态)并与目测色调比较, 为了便于统计分析, 将色调转换为数字, 将 10R 计为 -2.5、2.5YR 计为 2.5 类推至 2.5Y 计为 12.5。图 2 显示, 土壤色调在整个 YR 至 1.4Y 之间均有分布, 较目测色调偏黄(图 2a); 土壤明度范围为 3.89~5.53, 集中在 4~5; 彩度范围为 1.66~4.61, 集中在 2~3(图 2b); 仪器测得的明度和彩度均较目测偏低。所有母岩经仪器测色, 也均显示为 YR 色调, 无 RP 色调, 但目测色调符合“紫色砂、页岩岩性特征”的母岩彩度明显更低。

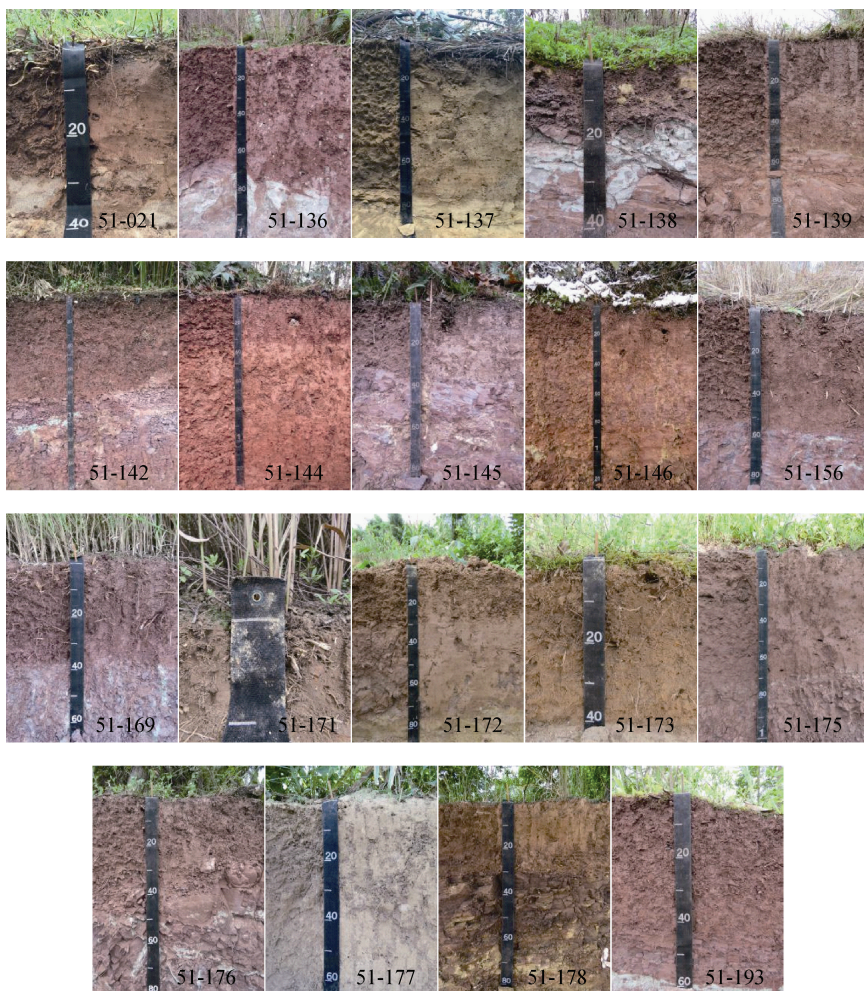


图 1 土壤剖面照片

Fig. 1 Pictures of the tested soil profiles

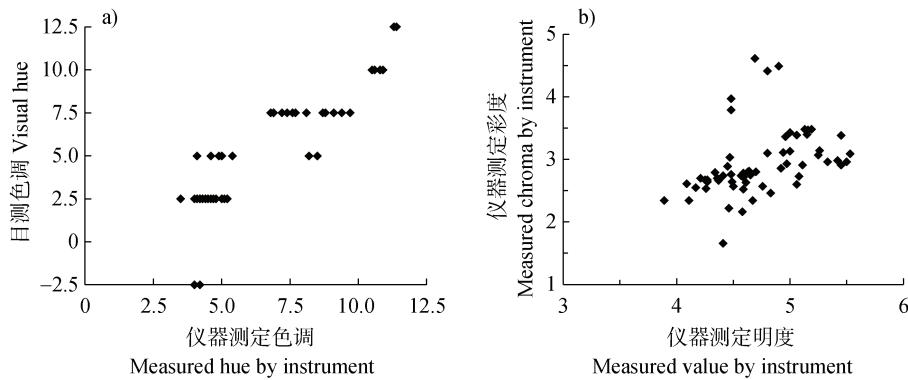


图 2 仪器测得 Munsell 颜色特征及其与目测色调比较

Fig. 2 Instrumentally obtained Munsell color characteristic and its comparison with visual hue

2.2 土壤理化性质

除剖面 51-146 的 40~83 cm 层次外, 供试剖面土体中石砾含量均不高 (大多数 < 2%), 结合石质接触面的深度可以判定剖面 51-021 和 51-171 为“石质”土类。各发生层土壤黏粒含量范围为 35~327 g·kg⁻¹, 平均含量为 156.7 g·kg⁻¹, 土壤质地包括砂土、壤质砂土、砂质壤土、壤土、黏壤土、粉质壤土等。各发生层 pH 范围为 3.8~8.3, 平均为 6.26, pH 总体较低, 有不少土层 pH < 5.5, 结合盐基饱和度数据及其深度范围, 可知剖面 51-145 具有“酸性”特征。各发生层的有机碳含量介于 1.2~23.4 g·kg⁻¹ 之间, 平均含量为 6.16 g·kg⁻¹, 有机碳主要积累在表层, 其中 4 个剖面表层 < 6 g·kg⁻¹, 结合颜色特征可知所有剖面均为淡薄表层。各发生层细土部分 DCB 浸提游离铁的含量介于 5.0~21.2 g·kg⁻¹ 之间, 平均为 12.13 g·kg⁻¹, 各土层含量均较低, 仅剖面 51-144 的 B 层中有 2 个亚层 ≥ 20 g·kg⁻¹; 铁游离度在 23.0%~50.5% 之间, 平均为 33.86%, 仅有 2 个剖面 ≥ 40%; 同时结合土壤色调可知, 51-136、51-138、51-139、51-142、51-144、51-146、51-169、51-175、51-176 和 51-193 等 10 个剖面具有铁质特性。各发生层 CaCO₃ 含量介于 3~136 g·kg⁻¹ 之间, 平均值为 26.43 g·kg⁻¹, 差异较大, 仅 51-136 剖面的 CaCO₃ 含量超过 100 g·kg⁻¹; 其中 51-136、51-138、51-139、51-156、51-176 和 51-193 等 6 个剖面从土表至 50 cm 范围内所有亚层的 CaCO₃ 含量均大于 10 g·kg⁻¹, 结合其石灰反应可知, 这些土体均具有石灰性。各发生层的黏粒 CEC₇ 含量范围为 52.1~252.2 cmol·kg⁻¹, 平均含量为 117.46 cmol·kg⁻¹, 均大于 24 cmol·kg⁻¹; KCl

浸提 Al 含量在 0.3~81.8 cmol·kg⁻¹ 黏粒之间, 变幅大, 平均含量为 22.61 cmol·kg⁻¹ 黏粒, 其中 5 个剖面的 KCl 浸提 Al ≥ 12 cmol·kg⁻¹ 黏粒; 铝饱和度介于 0.5%~80.1%, 平均为 26.87%, 总体较低, 仅 3 个剖面的土层铝饱和度 ≥ 60%; 结合 pH 及剖面分布情况, 表明 51-021、51-144、51-146 等 3 个剖面具有铝质特性或铝质现象。各发生层盐基饱和度在 18.3%~98.0%, 平均为 63.96%, 仅 51-144、51-145 和 51-146 等剖面盐基不饱和, 其余剖面为盐基饱和。

2.3 诊断层和诊断特性

表 2 列出了供试土壤具有的部分诊断层和诊断特性, 所有剖面均为淡薄表层, 故未列出。由表 2 可知, 共 14 个土壤具有雏形层, 仅 51-172 剖面具有黏化层。

根据前述成土条件、剖面形态特征和理化性质分析, 供试土壤涉及岩性特征、石质或准石质接触面、土壤水分状况、氧化还原特征、土壤温度状况、铁质特性、铝质特性/铝质现象、石灰性、盐基饱和度等诊断特性。(1) 岩性特征: 7 个剖面符合紫色砂、页岩岩性特征。(2) 石质或准石质接触面: 4 个和 14 个剖面分别具石质接触面和准石质接触面。(3) 土壤水分状况: 19 个剖面均为湿润土壤水分状况。(4) 氧化还原特征: 2 个剖面具氧化还原特征。(5) 土壤温度状况: 19 个剖面均为热性土壤温度状况。(6) 铁质特性: 依据土壤基质色调和/或 B 层细土部分 DCB 浸提游离铁的含量或游离度, 10 个剖面具铁质特性。(7) 铝质特性/铝质现象: 3 个剖面具铝质特性或铝质现象。(8) 石灰性: 6 个剖面具石灰性。(9) 盐基饱和度: 3 个剖面盐基不饱和。

表 2 供试土壤剖面的部分诊断层和诊断特性

Table 2 Some diagnostic horizons and diagnostic characteristics of the tested soil profiles

剖面 编号 Profile No.	雏形层 Cambic horizon	黏化层 Agric horizon	紫色砂、页岩岩 性特征 L. C. of purplish sandstones and shales	(准)石质接 触面 (Para) lithic contact	氧化还原 特征 Redoxic features	铁质特性 Ferric property	铝质特性/铝质 现象 Alic property or alic evidence	石灰性 Calcari property	盐基不饱和 Base unsaturation
51-021	√			√			√		
51-136	√		√	√		√		√	
51-137				√					
51-138			√	√		√		√	
51-139	√			√		√		√	
51-142	√		√	√		√			
51-144	√					√	√		√
51-145	√		√	√					√
51-146	√			√		√	√		√
51-156			√	√				√	
51-169	√		√	√		√			
51-171				√					
51-172		√		√	√				
51-173	√			√					
51-175	√			√		√			
51-176	√		√	√		√		√	
51-177	√			√	√				
51-178	√			√					
51-193	√			√		√		√	

2.4 土壤分类与参比

根据供试土壤的诊断层和诊断特性,依据《中国土壤系统分类检索(第三版)》,逐级检索、确定供试土壤的高级类别,并与地理发生分类参比。由表3可知,19个供试土壤分别归属于淋溶土、雏形土和新成土3个土纲的3个亚纲、7个土类和12个亚类;以雏形土为主。

根据《中国土壤》^[28],19个供试土壤剖面在地理发生分类中分别归属于铁铝土和初育土2个土纲

的4个亚类,以中性紫色土和酸性紫色土最多,各有7个。系统分类的淋溶土与地理发生分类的酸性紫色土相对应,系统分类的雏形土与地理发生分类的紫色土3个亚类以及黄壤相对应,系统分类的新成土仅与地理发生分类的紫色土相对应。具有紫色砂、页岩岩性特征的7个剖面分别被划分为石灰紫色湿润雏形土、石灰紫色正常新成土、普通紫色湿润雏形土3个亚类,它们在地理发生分类中对应石灰性紫色土、中性紫色土和酸性紫色土3个亚类。

表 3 供试土壤的划分与参比

Table 3 Classification and reference of the tested soils

中国土壤系统分类（第三版）CST ^{3rd} （2001）				剖面编号	发生分类 GSCC（1998）
土纲	亚纲	土类	亚类	Profile	亚类
Order	Suborder	Group	Subgroup	No.	Subgroup
淋溶土	湿润淋溶土	筒育湿润淋溶土	斑纹筒育湿润淋溶土	51-172	酸性紫色土
Argosols	Udic Argosols	Hapli-Udic Argosols	Mottlic Hapli-Udic Argosols	51-136	石灰性紫色土
			石灰紫色湿润锥形土	51-176	Calcareous purplish soil
			Calcaric Purpli-Udic Cambosols	51-145	中性紫色土
		紫色湿润锥形土	酸性紫色湿润锥形土	51-142	Acid purplish soil
		Purpli-Udic Cambosols	Dystric Purpli-Udic Cambosols	51-142	Acid purplish soil
			普通紫色湿润锥形土	51-169	Acid purplish soil
			Typic Purpli-Udic Cambosols	51-169	中性紫色土
锥形土	湿润锥形土		石质铝质湿润锥形土	51-021	Acid purplish soil
Cambosols	Udic Cambosols	铝质湿润锥形土	Lithic Ali-Udic Cambosols	51-144	Acid purplish soil
		Ali-Udic Cambosols	普通铝质湿润锥形土	51-146	Acid purplish soil
			Typic Ali-Udic Cambosols	51-139	Acid purplish soil
		铁质湿润锥形土	红色铁质湿润锥形土	51-175	中性紫色土
		Ferri-Udic Cambosols	Red Ferri-Udic Cambosols	51-193	Neutral purplish soil
			斑纹筒育湿润锥形土	51-177	黄壤
		筒育湿润锥形土	Mottlic Hapli-Udic Cambosols	51-173	Yellow earths
		Hapli-Udic Cambosols	普通筒育湿润锥形土	51-178	Yellow earths
			Typic Hapli-Udic Cambosols	51-138	石灰性紫色土
		紫色正常新成土	石灰紫色正常新成土	51-156	Calcareous purplish soil
		Purpli-Othric	Calcaric Purpli-Othric Primosols	51-156	中性紫色土
新成土	正常新成土	Primosols		51-171	Neutral purplish soil
Primosols	Othric		石质湿润正常新成土	51-171	Acid purplish soil
	Primosols	湿润正常新成土	Lithic Udi-Othric Primosols	51-137	Acid purplish soil
		Udi-Othric Primosols	普通湿润正常新成土	51-137	Acid purplish soil
			Typic Udi-Othric Primosols	51-137	Neutral purplish soil

3 讨论

3.1 沙溪庙组地层发育土壤类型的多样性

结合表 4 可知, 沙溪庙组地层岩石涉及砂岩、砂泥岩、砂页岩、粉砂岩等多种岩性, 以砂岩和粉砂岩为主; 其矿物组成复杂, 长石等原生矿物较多; 出露地表后, 岩石中的泥质、硅质、铁质、钙质等胶结成分容易发生溶蚀, 这一系列特性使得岩石极易崩解^[5], 风化成土迅速, 因此其发育的土壤相对年轻, 土壤的颗粒大小级别和矿物学类别也与母岩基本一致。沙溪庙组地层岩石发育的土壤在地理发

生分类中主要为紫色土, 涉及其所有亚类; 但受成土条件、成土过程影响, 发育的土壤类型也有黄壤。本研究中的 3 个黄壤剖面主要受母岩颜色和颗粒组成等性质和地形影响, 土壤发育速度较快, 缩短了向地带性土壤——黄壤的演化进程。这 3 个剖面海拔相对较高, 但坡度较缓 ($5^{\circ}\sim 20^{\circ}$), 侵蚀作用较弱。从表 4 中可以看到, 剖面 51-173、51-177 的母岩为灰色砂岩, 剖面 51-178 的母岩为黄色粉砂岩, 这类岩石的碳酸钙和其他盐基较少, 且透水性好, 水分易于下渗淋溶, 因而很快完成了脱钙过程, 并且已发生强烈的脱盐基酸化, 同时伴随脱钙酸化过程, 发生脱硅富铝化。

表 4 沙溪庙组地层岩石岩性及土壤颗粒大小级别与矿物学类别

Table 4 Lithology, particle size fractions and mineralogical groups of the rock in the Shaximiao Formation

剖面编号 Profile No.	岩性 Lithology	颗粒大小级别 Particle size fraction	矿物学类别 Mineralogical group	剖面编号 Profile No.	岩性 Lithology	颗粒大小级别 Particle size fraction	矿物学类别 Mineralogical group
51-021	紫红色砂岩	砂质	长石型	51-169	紫斑粉砂岩	壤质	长石混合型
51-136	紫斑粉砂岩	黏壤质	长石混合型	51-171	灰色砂岩	砂质	硅质混合型
51-137	黄色砂岩	砂质	长石混合型	51-172	淡棕灰色长石砂岩	壤质	长石混合型
51-138	紫斑粉砂岩	壤质	混合型	51-173	灰色砂岩	砂质	长石型
51-139	紫红色粉砂岩	黏壤质	长石混合型	51-175	红棕色粉砂岩	壤质	长石混合型
51-142	紫斑砂岩	壤质	混合型	51-176	紫斑粉砂岩	壤质	长石混合型
51-144	紫红色砂泥岩	黏壤质	混合型	51-177	灰色砂岩	砂质	长石混合型
51-145	紫斑砂页岩	黏壤质	硅质混合型	51-178	黄色粉砂岩	砂质	长石型
51-146	紫红色砂页岩	粗骨黏壤质	硅质混合型	51-193	红棕色粉砂岩	壤质	混合型
51-156	紫斑粉砂岩	壤质	长石混合型				

在系统分类中, 沙溪庙组地层岩石发育为淋溶土、雏形土和新成土 3 个土纲的 3 个亚纲、7 个土类和 12 个亚类。地理发生分类中的紫色土仅依靠 pH 和碳酸钙含量 2 个指标续分为 3 个亚类, 而系统分类中高级类别的划分依据包括土壤颜色、新生体、岩性特征、石质接触面、土壤温度和水分状况、有机碳、pH、碳酸钙相当物、石灰性、游离铁、铁游离度、阳离子交换量、交换性铝、铝饱和度、盐基饱和度等形态特征和理化性质。

综上, 无论是地理发生分类还是系统分类, 沙溪庙组地层发育土壤类型丰富, 但相比之下地理发生分类划分依据少, 类型较少, 而系统分类划分依

据涉及指标多, 类型更为丰富。

3.2 “紫色砂、页岩岩性特征”的色调条件与鉴定方法

3.2.1 色调限定范围 系统分类将地理发生分类的紫色土根据反映紫色母质特性的“紫色砂、页岩岩性特征”划分出紫色湿润雏形土和紫色正常新成土两个土类^[13], 对细土或 <4 cm 石砾的色调要求十分苛刻, 为 2.5RP~10RP, 近年来关于修订其中色调规定的呼声越来越高。本研究中检出“紫色砂、页岩岩性特征”的剖面仅 7 个, 只占 16 个紫色土典型剖面中的 43.75%, 多数紫色土为红棕、橙、黄橙等颜色, 达不到该色调要求。通过分析、归纳本研

究中的紫色土剖面发生层土壤及其母岩的色调、明度和彩度,并结合近年来国内提出的修订“紫色砂、页岩岩性特征”色调的讨论^[12,14],建议在“紫色砂、页岩岩性特征”原色调定义中增加“或色调为 2.5YR~5YR,干态明度为 4~6,干态彩度为 3~4”条件,则 51-021、51-139、51-146 和 51-175 4 个剖面可划分至紫色湿润锥形土中,符合该诊断特征的剖面数量将达到 64.71%。之前检出的 7 个剖面中只有 <4 cm 的石砾符合原“2.5RP~10RP”色调要求,而细土均为 YR 色调,不符合该要求,若按上述建议则其中 4 个剖面的细土亦符合要求,这样更符合人们对土壤颜色的认识。

3.2.2 色调鉴别方法 《中国土壤系统分类》推荐使用《中国标准土壤色卡》和日本《标准土色贴》测定土壤颜色,但《中国标准土壤色卡》自 1989 年发行第一版后长达三十年未再重制而难以购买,日本《标准土色贴》虽不断更新重印,但色调信息还有待丰富完善。目视测定主观性较强,受人眼的光谱响应特性、光源、样品表面特性等影响^[29],存在无法消除的误差,在实际操作中容易混淆。尤其是在紫色土颜色的判定中,由于 R~5YR 色调中中等明度和较低彩度的色片与 RP 色调的色片极其相似,肉眼难以准确分辨,测色结果存在不确定性,这也侧面印证了“紫色砂、页岩岩性特征”色调规定的不合理性。

在追求量化、标准化、可比较的土壤系统分类中,这种结果模糊的主观测色方式已经不能适应科学技术的飞速发展,应当寻求一种更为客观合理的测色方式。近年来测色技术有了极大的发展,研究人员已经开发出平板扫描仪、数码相机、颜色传感器等多种平价便携式测色仪器^[30-32],通过内置光源、选择镜面反射等方法消除误差,能够客观准确地测量土壤颜色。且测色仪器所得数据能在 Munsell HV/C、CIE L*a*b*、XYZ 等各个表色系统参数间互相转换,在土壤调查制图等实际应用中十分便捷^[33-34]。另一方面,色卡限制了土壤颜色的数据量,土壤色卡上的色调数值为 2.5 的倍数,明度和彩度为 1 或 2 的倍数;而仪器测色的色调数值可达到小数点后一位,明度和彩度可达到小数点后两位,相比之下仪器测色明显更精确,因此也有建议使用测色仪辅助色卡比色^[25-26]。综上所述,建议《中国土壤系统分类》推荐使用现代测色仪器开展土壤

颜色测定。

由图 2 可知,色卡目视比色与仪器测色的结果有一定差异,后者结果中无一符合“紫色砂、页岩岩性特征”原色调要求,即使如上所述增加色调范围,也仅有 51-139、51-144 和 51-146 等 3 个剖面符合该诊断特征,且诊断结果与目测并不完全一致。因此,若在系统分类中采用仪器测色,则涉及颜色的诊断特征也应在土壤调查后重新拟定相关颜色范围。

4 结 论

供试的 19 个沙溪庙组地层岩石发育的土壤剖面在发生分类中主要归属于紫色土,受母岩性质和地形影响,偶见黄壤;在中国土壤系统分类中被划分为淋溶土、锥形土、新成土 3 个土纲及下属 3 个亚纲、7 个土类、12 个亚类中,其中紫色土共对应了 10 个亚类。与地理发生分类相比,系统分类更注重紫色土本身多样的性质,划分出的类型更丰富。本研究中仅检出 7 个符合“紫色砂、页岩岩性特征”的剖面,在分析紫色土剖面样品的颜色后建议在原有色调之外增加“2.5YR~5YR,干态明度为 4~6,干态彩度为 3~4”色调范围。利用土壤色卡进行目视比色的测色方式误差较大,建议《中国土壤系统分类》推荐使用现代测色仪器开展土壤颜色测定,部分诊断特征的颜色范围也需重新拟定。

参考文献 (References)

- [1] Gong Z T. Chinese soil taxonomy: Theory, method and practice[M]. Beijing: Science Press, 1999. [龚子同. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [2] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Chinese soil taxonomy[M]. Beijing & New York: Science Press, 2001.
- [3] Zhang G L, Wang Q B, Zhang F R, et al. Criteria for establishment of soil family and soil series in Chinese Soil Taxonomy[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(4): 826—834. [张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 826—834.]
- [4] Li D C, Zhang G L. On difficulties and countermeasures in describing soil series in Chinese Soil Taxonomy[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(6): 1563—1567. [李

- 德成, 张甘霖. 中国土壤系统分类土系描述的难点与对策[J]. 土壤学报, 2016, 53 (6): 1563—1567.]
- [5] He Y R, et al. Purple soils in China (Part two) [M]. Beijing: Science Press, 2003. [何毓蓉, 等. 中国紫色土 (下篇) [M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [6] Xu J Z, Tang S J, He Y R. Purplish soils in Chinese Soil Taxonomy development understanding and its comparison with Soil Census Taxonomy[J]. Soil Agrochemical Bulletin, 1998, 13 (4): 44—48. [徐建忠, 唐时嘉, 何毓蓉. 紫色土系统分类发展认识及其与土壤普查分类的对比[J]. 土壤农化通报, 1998, 13(4): 44—48.]
- [7] He Y R, Jing R, Chen X H, et al. Study on the characteristics and sustainable use of soil series of purplish cambosols developed from J₃p in the central Sichuan Basin[J]. Soil Agrochemical Bulletin, 1998, 13 (3): 4—7. [何毓蓉, 景锐, 陈学华, 等. 川中蓬莱镇组 (J₃p) 紫色锥形土的土系与持续利用研究[J]. 土壤农化通报, 1998, 13 (3): 4—7.]
- [8] He Y R, Yang Z Z, Chen X H, et al. Characteristics and classification of K₂g purplish cambosol in the west of Sichuan Basin[J]. Journal of Mountain Science, 1999, 17 (1): 28—33. [何毓蓉, 杨昭琮, 陈学华, 等. 四川盆地西部灌口组 (K₂g) 紫色锥形土的特征与分类[J]. 山地学报, 1999, 17 (1): 28—33.]
- [9] Liu F C, Gu Y P, Shi X Z. Genetic properties and taxonomic classification of purple soils in Xiutun Basin, Anhui Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33 (4): 241—245. [刘付程, 顾也萍, 史学正. 安徽休屯盆地紫色土的特性和系统分类[J]. 土壤通报, 2002, 33 (4): 241—245.]
- [10] Gu Y P, Liu F C. Taxonomic classification of soils derived from purple-red rocks of south Anhui Province[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44 (5): 776—783. [顾也萍, 刘付程. 皖南紫红色砂石岩上发育土壤的系统分类研究[J]. 土壤学报, 2007, 44 (5): 776—783.]
- [11] Ouyang N X, Zhang Y Z, Sheng H, et al. Attribution of purplish soils of eastern Hunan in Chinese Soil Taxonomy[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48 (6): 1281—1287. [欧阳宁相, 张杨珠, 盛浩, 等. 湘东地区紫色土在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤通报, 2017, 48 (6): 1281—1287.]
- [12] Ci E, Tang J, Lian M S, et al. Higher category partition for purplish soils in Chongqing in Chinese Soil Taxonomy[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55 (3): 569—584. [慈恩, 唐江, 连茂山, 等. 重庆市紫色土系统分类高级单元划分研究[J]. 土壤学报, 2018, 55 (3): 569—584.]
- [13] Tang S J, Xu J Z, Zhang J H, et al. Study on purplish soil taxonomy[J]. Mountain Research, 1996, 14 (Suppl): 14—19. [唐时嘉, 徐建忠, 张建辉, 等. 紫色土系统分类研究[J]. 山地研究, 1996, 14 (增刊): 14—19.]
- [14] Yan Z M, Yuan D G, Yu X X, et al. Proposal on revising color definition for “L.C. of Purplish Sandstones and Shales” ——Based on color characteristics of parent rock of purplish soil in Sichuan[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57 (1): 60—70. [晏昭敏, 袁大刚, 余星兴, 等. “紫色砂、页岩岩性特征”颜色修订建议——基于四川紫色土母岩颜色特征[J]. 土壤学报, 2020, 57 (1): 60—70.]
- [15] Hesung Y. Soil color research[J]. Geological Review, 1937, 2 (1): 5—22. [熊毅. 土壤颜色之研究[J]. 地质论评, 1937, 2 (1): 5—22.]
- [16] Huazhong Agricultural College. Standard soil color charts[M]. 2nd ed. Wuchang: Huazhong Agricultural College Color Chart Printing Plant, 1982. [华中农学院. 标准土色卡 (第2版) [M]. 武昌: 华中农学院比色卡印制厂, 1982.]
- [17] Shi C C. Correction of stratigraphic distribution statistics in Sichuan Basin[J]. Soil Agrochemical Bulletin, 1998, 13 (2): 3—4. [石承苍. 关于四川盆地地层分布统计的补正[J]. 土壤农化通报, 1998, 13 (2): 3—4.]
- [18] Gu X D, Liu X H. Stratigraphy (lithostratic) of Sichuan Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. [辜学达, 刘啸虎. 四川省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.]
- [19] Wang L G, Yu F L, Deng K L, et al. He sedimentary environment of Jurassic depression in the west of Sichuan[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8 (6): 13—16. [王亮国, 余福林, 邓康龄, 等. 川西坳陷侏罗系沉积环境[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8 (6): 13—16.]
- [20] Qian L J, Chen H D, Lin L B, et al. Geochemical characteristics and environmental implications of middle Jurassic Shaximiao formation, western margin of Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30 (6): 1061—1071. [钱利军, 陈洪德, 林良彪, 等. 四川盆地西缘地区中侏罗统沙溪庙组地球化学特征及其环境意义[J]. 沉积学报, 2012, 30 (6): 1061—1071.]
- [21] Weng Q, Yuan D G, Li Q Q, et al. Spatial distribution of soil temperature regime in Sichuan Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48 (3): 583—588. [翁倩, 袁大刚, 李启权, 等. 四川省土壤温度状况空间分布特征[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 583—588.]
- [22] Weng Q, Yuan D G, Zhang C, et al. Spatial distribution of soil moisture regime in Sichuan Province[J]. Soils, 2017, 49 (6): 1254—1261. [翁倩, 袁大刚, 张楚, 等. 四川省土壤水分状况空间分布特征[J]. 土壤, 2017, 49 (6): 1254—1261.]
- [23] Zhang G L, Li D C. Field guidelines for describing and sampling soils[M]. Beijing: Science Press, 2017. [张甘霖, 李德成. 野外土壤描述与采样手册[M]. 北京: 科学出版社, 2017.]

- [24] ISSAS, IOPMAS. New standard soil color charts[M]. Nanjing: Nanjing Press, 1989. [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[M]. 南京: 南京出版社, 1989.]
- [25] Chen J K, Yuan D G, Yan Z M, et al. 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[J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, 56 (1): 78—89. [陈剑科, 袁大刚, 晏昭敏, 等. 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[J]. 土壤学报, 2019, 56 (1): 78—89.]
- [26] Yan Z M, Yuan D G, Chen J K, et al. Comparison of color accuracy between Chinese Standard Soil Color Charts and Japanese New Standard Soil Color Book[J]. Soils, 2019, 51 (5): 1042—1048. [晏昭敏, 袁大刚, 陈剑科, 等. 《中国标准土壤色卡》与日本《新版标准土色贴》颜色准确性的比较[J]. 土壤, 2019, 51 (5): 1042—1048.]
- [27] Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods[M]. Beijing: Science Press, 2012. [张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.]
- [28] National Soil Survey Office. Soils of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998. [全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.]
- [29] Melville M D, Atkinson G. Soil colour: its measurement and its designation in models of uniform color space[J]. Journal of Soil Science, 1985, 36 (4): 495—512.
- [30] Kirillova N P, Sileva T M. Colorimetric analysis of soils using digital cameras[J]. Moscow University Soil Science Bulletin, 2017, 72 (1): 13—20.
- [31] 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[J]. Eurasian Soil Science, 2015, 48 (5): 468—475.
- [32] Roxanne S, Elena M, Christopher P, et al. Evaluation of an inexpensive sensor to measure soil color[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 121: 141—148.
- [33] Stiglitz R, Mikhailova E, Post C, et al. Soil color sensor data collection using a GPS-enabled smart phone application[J]. Geoderma, 2017, 296: 108—114.
- [34] Han P, Dong D, Zhao X, et al. A smart phone-based soil color sensor[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2016, 123 (C): 232—241.

(责任编辑：檀满枝)