

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.05.007

# 贵州赤水河流域土壤持水特征的影响因素分析

黄兴成<sup>1,2</sup>, 熊仕娟<sup>3</sup>, 李渝<sup>1,2</sup>,  
张雅蓉<sup>1,2</sup>, 刘彦伶<sup>1,2</sup>, 蒋太明<sup>2,4</sup>

1. 贵州省农业科学院 土壤肥料研究所, 贵阳 550006;  
2. 农业农村部贵州耕地保育与农业环境科学观测实验站, 贵阳 550006;  
3. 贵州省农业科学院 辣椒研究所, 贵阳 550006; 4. 贵州省农业科学院, 贵阳 550006

**摘要:** 探索贵州赤水河流域土壤持水特征的影响因素, 为区域水资源的科学管理提供参考。采用典型样地调查法采集贵州赤水河流域 162 个表层土壤, 通过室内分析, 结合方差分析和数量化理论 I 方法, 评价不同土壤类型、土地利用类型和地形条件对土壤持水量特征的影响。研究表明, 贵州赤水河流域不同土壤类型下饱和持水量和田间持水量差异有统计学意义, 其中紫色土饱和持水量和田间持水量显著低于其他土壤类型。不同土地利用类型以稻田饱和持水量和田间持水量最高, 草地最低。方差分析结果表明, 土壤饱和持水量在不同土壤类型、土地利用类型和地形坡度间存在显著差异, 对土壤田间持水量影响显著的因素为土壤类型和土地利用。基于数量化理论 I 建立数学模型定量分析各因子对土壤持水量的影响, 结果表明土壤类型是影响土壤饱和持水量和田间持水量的首要因素。应当提升对贵州赤水河流域内紫色土分布区的监管保护力度, 以实现区域水资源的可持续利用。

**关键词:** 赤水河流域; 土壤; 持水量; 数量化理论 I

中图分类号: S157

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)05-0058-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## The Influencing Factors of Soil Water Holding Capacity in the Chishui River Basin of Guizhou

HUANG Xingcheng<sup>1,2</sup>, XIONG Shijuan<sup>3</sup>, LI Yu<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Yarong<sup>1,2</sup>, LIU Yanling<sup>1,2</sup>, JIANG Taiming<sup>2,4</sup>

1. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China;  
2. Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation and Agricultural Environment (Guizhou),  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guiyang 550006, China;  
3. Institute of Pepper, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China;  
4. Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China

**Abstract:** To explore the influencing factors of soil water holding capacity in the Chishui river basin of

收稿日期: 2020-10-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(31860132); 贵州省科技计划项目(黔科合基础[2020]1Y411); 中央引导地方科技发展专项资金项目(黔科中引地[2019]4003号)。

作者简介: 黄兴成, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事生态环境研究。

通信作者: 蒋太明, 研究员。

Guizhou province, and to provide reference for scientific management of regional water resources, 162 top-soil samples were collected from Chishui river basin of Guizhou province. The effects of different soil types, land use and terrain conditions on soil water holding capacity were evaluated by laboratory analysis. The relationship between soil water holding capacity and environmental factors was analyzed by using variance analysis and quantification theory I. The results showed that there were significant differences in saturated water-holding capacity and field water-holding capacity among different soil types in Chishui river basin. In different land use types, the saturated water-holding capacity and field water-holding capacity of paddy field are the highest, while grassland is the lowest. The results of variance analysis showed that there were significant differences in soil saturated water-holding capacity among different soil types, land uses and terrain slopes. The soil type and land use were the significant factors influencing soil field water-holding capacity. Based on quantification theory I, a mathematical model was established to quantitatively analyze the effects of various factors on soil water holding capacity. The results showed that soil type was the primary factor affecting soil saturated water-holding capacity and field water-holding capacity. The supervision and protection of purple soil distribution area in Chishui river basin of Guizhou province should be enhanced to achieve the sustainable utilization of regional water resources.

**Key words:** Chishui river basin; soil; water holding capacity; quantification theory I

土壤是地球陆地表面具有多孔结构的介质, 具有很强的吸水和持水能力. 大量研究指出, 土壤层是森林<sup>[1]</sup>、草地<sup>[2]</sup>、湿地<sup>[3]</sup>、农田<sup>[4]</sup>和水陆交错带<sup>[5]</sup>等生态系统水文效应最重要的一层, 是整个生态系统水分循环的主要贮蓄库和调节器<sup>[6]</sup>. 然而, 由于人们长期缺乏对水资源可持续利用的正确认识, 忽视了土壤持水功能在水资源可持续利用上的作用, 造成区域水土流失<sup>[7]</sup>、季节性干旱<sup>[8]</sup>和水体污染<sup>[9]</sup>等生态环境问题, 给社会经济发展带来了巨大的损失. 研究指出, 土壤特性<sup>[10]</sup>、地形条件<sup>[11]</sup>、土地利用方式<sup>[12]</sup>等因素均能显著地影响土壤的持水特性. 因此, 开展特定区域土壤持水特征研究, 明确影响区域土壤持水量的主控因素, 有利于推进生态环境保护与社会经济的协调发展.

赤水河是长江上游最重要的一级支流. 贵州省 2011 年颁布了《贵州省赤水河流域保护条例》, 为该区域水资源保护确立了良好的法律依据. 针对当前贵州赤水河流域土壤持水特性影响因素尚不明确的问题, 采用野外调查和室内分析相结合的研究方法, 明确影响贵州赤水河流域土壤持水特性的主要因素, 为贵州开展赤水河流域水资源的可持续管理提供理论参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

贵州赤水河流域位于贵州省北部, 东经 105°13′19″—106°58′34″, 北纬 27°13′16″—28°45′58″, 流域面积 11 392 km<sup>2</sup>. 地貌以山地丘陵为主, 山势陡峭, 岩溶地貌发育, 河谷深切狭窄. 流域土壤类型复杂多样, 地带性土壤为黄壤, 岩性土壤有石灰(岩)土、紫色土和粗骨土, 耕作土壤以黄壤、紫色土、石灰(岩)土及其发育的水稻土为主, 水土流失较为严重.

### 1.2 样品采集

采用典型样地调查法, 根据不同土壤类型(粗骨土、黄壤、石灰(岩)土、水稻土和紫色土)、土地利用类型(草地、旱地、林地、水田和园地)、地形条件(按照地形部位分为沟谷、坡底、坡腰和坡顶, 按照地形坡度分为平坡[0°, 5°]、缓坡(5°, 15°]、斜坡(15°, 25°]和陡坡(25°, 90°])等因素, 选择有代表性的地块设置采样点, 每个采样点用 100 cm<sup>3</sup>(高 50 mm, 直径 50.46 mm)的环刀采集 0~20 cm 的土层中部土壤原状样品, 两端削平, 用环刀底盖加封, 带回室内分析. 研究共采集 162 个土样, 采样时间为 2018 年 9—11 月.

### 1.3 土壤持水量测试

将采集的原状土样带回室内, 采用 LY/T 1215-1999《森林土壤水分-物理性质的测定》<sup>[13]</sup>方法, 将土样

放入水中浸泡, 饱和后称取土样质量(W1), 然后将其放在铺有干砂的平底托盘中, 静置一昼夜, 测定土壤质量(W2), 测试完成后在 105 ℃ 烘干至恒质量, 测定干土质量(W3), 据此测算出土壤饱和持水量和田间持水量. 计算公式如下:

$$\text{土壤饱和持水量}(\%) = \frac{W1 - W3}{100} \times 100$$

(1)

$$\text{土壤田间持水量}(\%) = \frac{W2 - W3}{100} \times 100$$

(2)

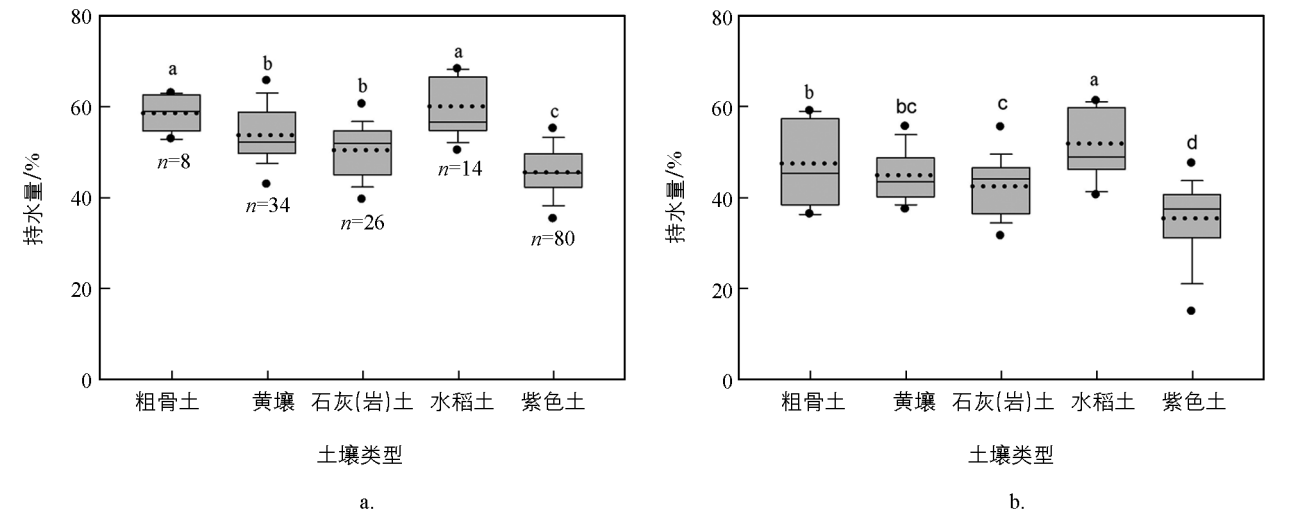
1.4 数据统计与分析

采用方差分析<sup>[14]</sup>和数量化理论 I 方法<sup>[15]</sup>研究各因素对土壤持水量的影响, 采用 SPSS 17.0 和 Sigma-plot 14.0 软件对数据进行统计分析和制图.

2 结果与分析

2.1 土壤类型对土壤持水量的影响

比较不同土壤类型表层土壤饱和持水量特征(图 1a), 结果表明, 不同土壤类型饱和持水量以水稻土和粗骨土最大, 平均值分别为 60.1%和 58.6%, 其次为黄壤和石灰(岩)土, 紫色土最低, 平均值仅 45.6%. 不同土壤类型表层土壤田间持水量差异有统计学意义(图 1b), 田间持水量以水稻土最大, 平均值为 51.9%, 其次为粗骨土、黄壤和石灰(岩)土, 紫色土田间持水量最低, 平均值仅 35.4%. 紫色土相较其他土壤类型持水量较低, 应当加强对于紫色土分布区水土的资源管理.



箱型图内虚线为平均值, 实线为中位数, 不同小写字母表明差异有统计学意义( $p < 0.05$ , Duncan), 下同.

图 1 不同土壤类型饱和持水量(a)和田间持水量(b)特征

2.2 土地利用类型对土壤持水量的影响

比较不同土地利用类型土壤饱和持水量特征(图 2a), 表明不同土地利用类型饱和持水量差异有统计学意义, 其中以水田土壤饱和持水量最大, 0~20 cm 土层饱和持水量平均值为 58.3%, 其次为旱地、园地和林地, 草地最低. 不同土地利用类型土壤田间持水量差异有统计学意义(图 2b), 土壤田间持水量以水田最大, 平均值为 49.5%, 草地最低, 平均值仅 24.0%.

2.3 地形条件对土壤持水量的影响

2.3.1 地形坡度对土壤持水量的影响

比较不同地形坡度土壤饱和持水量特征(图 3a), 表明不同地形坡度饱和持水量差异有统计学意义, 其中以平坡和缓坡土壤饱和持水量较大, 平均值分别为 53.3%和 52.0%, 斜坡和陡坡饱和持水量较低. 不同地形坡度土壤田间持水量差异有统计学意义(图 3b), 不同地形坡度田间持水量以平坡和缓坡最大, 平均值

分别为 45.3% 和 42.1%，陡坡和斜坡土壤田间持水量较低，平均值仅 39.3% 和 34.6%。表明随着坡度增加，土壤对水分的涵养能力降低，应当注意坡地水土保持。

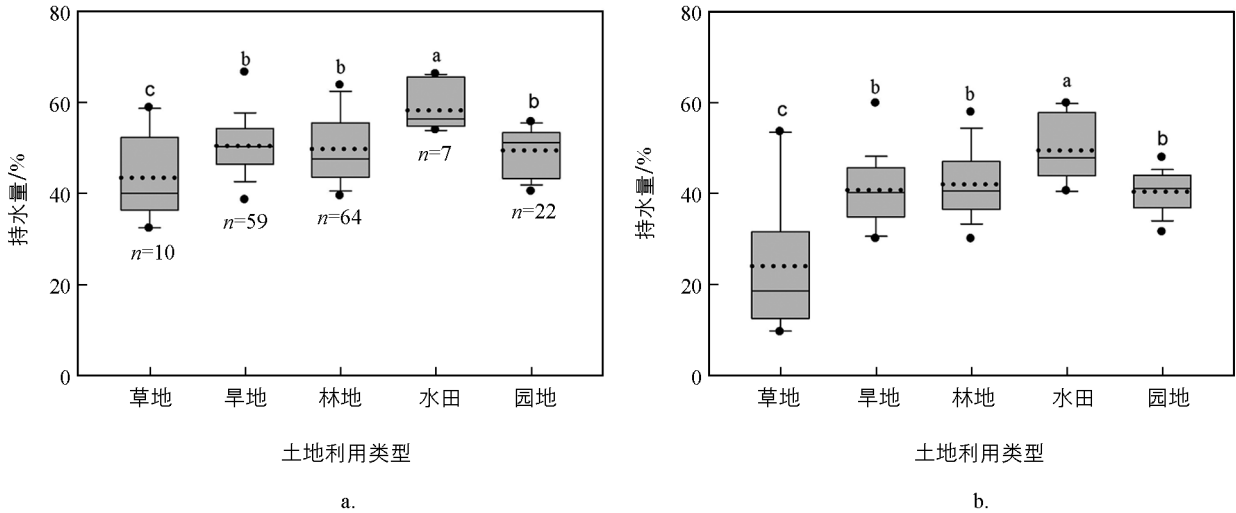


图 2 不同土地利用饱和持水量(a)和田间持水量(b)特征

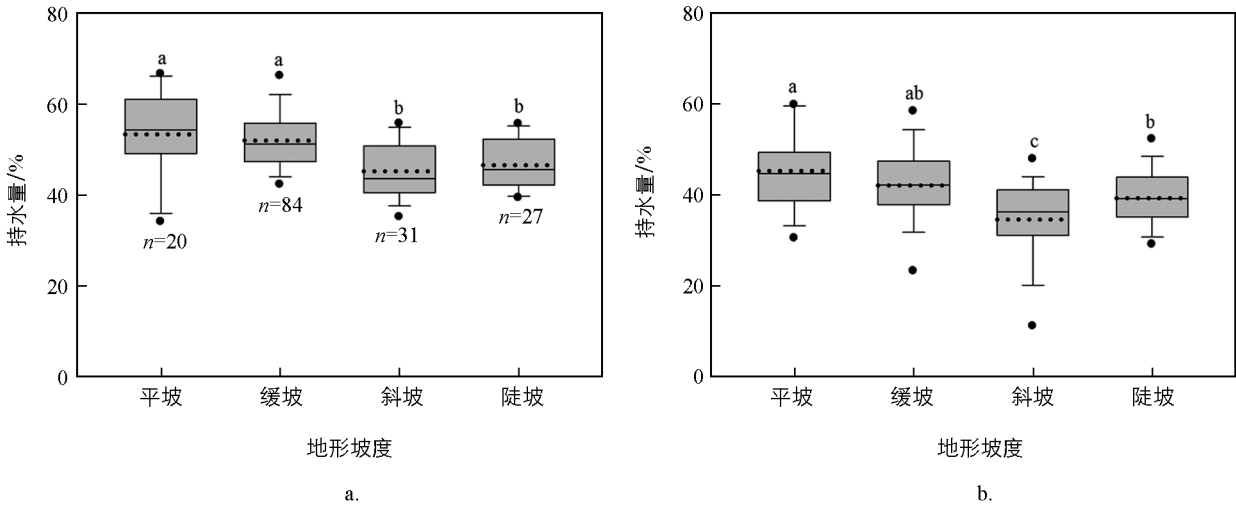


图 3 不同地形坡度饱和持水量(a)和田间持水量(b)特征

2.3.2 地形部位对土壤持水量的影响

比较不同地形部位土壤饱和持水量特征(图 4a)，表明不同地形部位饱和持水量差异有统计学意义。不同地形部位饱和持水量以沟谷和坡底较大，平均值分别为 54.8% 和 51.7%，坡腰和坡顶较低。不同地形部位土壤田间持水量差异有统计学意义(图 4b)，表现为沟谷最大，平均值为 47.4%，其次为坡底和坡腰，平均值分别为 42.1% 和 38.5%，坡顶田间持水量最低，仅 29.7%。

2.4 各因素影响土壤持水量特征的差异性分析

方差分析结果(表 1)表明，土壤饱和持水量和田间持水量在不同土壤类型、土地利用类型和地形坡度间存在极有统计学意义( $p<0.01$ )至有统计学意义( $p<0.05$ )的差异，说明土壤类型、土地利用类型和地形坡度是影响赤水河流域土壤持水量的重要因素。土壤饱和持水量的影响因素中，土壤类型的  $F$  值最大，为 20.187，地形部位的  $F$  值最小，为 1.186，说明不同因素对土壤饱和持水量变异的影响存在较大的差异性。对土壤田间持水量影响显著的因素为土壤类型和土地利用，其  $F$  值分别为 14.214 和 11.509。

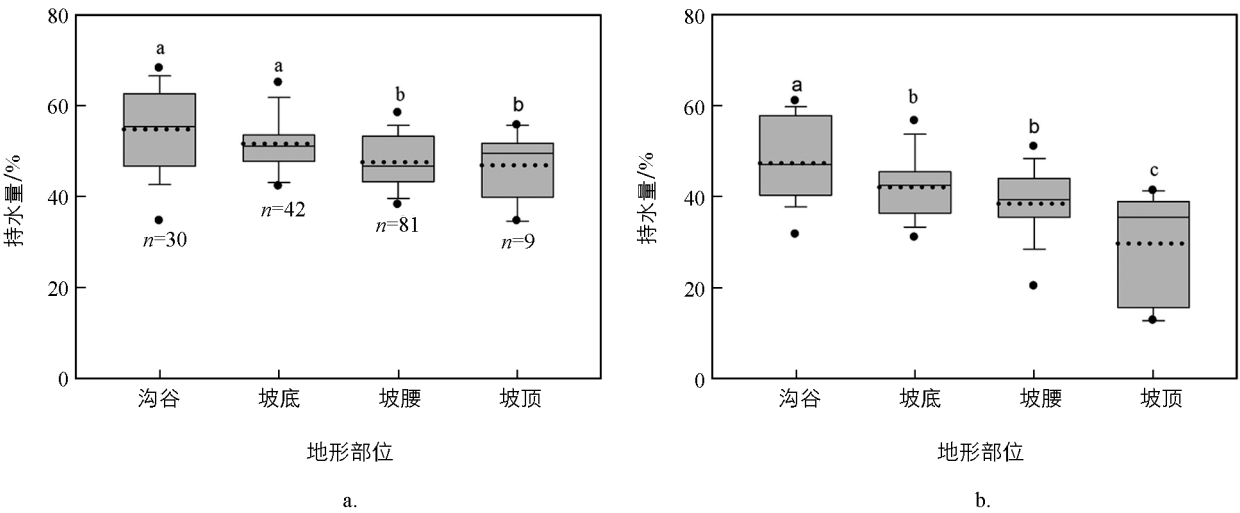


图 4 不同地形部位饱和持水量(a)和田间持水量(b)特征

表 1 各影响因素对土壤饱和持水量和田间持水量的方差分析

| 影响因子   | 饱和持水量     |     |         |        |       | 田间持水量     |     |         |        |       |
|--------|-----------|-----|---------|--------|-------|-----------|-----|---------|--------|-------|
|        | 平方和       | 自由度 | 均方      | F      | P     | 平方和       | 自由度 | 均方      | F      | P     |
| 土壤类型   | 2 320.677 | 4   | 580.169 | 20.187 | 0.000 | 2 411.553 | 4   | 602.888 | 14.214 | 0.000 |
| 土地利用类型 | 322.680   | 4   | 80.670  | 2.807  | 0.028 | 1 952.646 | 4   | 488.162 | 11.509 | 0.000 |
| 地形坡度   | 321.575   | 3   | 107.192 | 3.730  | 0.013 | 204.063   | 3   | 68.021  | 1.604  | 0.191 |
| 地形部位   | 102.228   | 3   | 34.076  | 1.186  | 0.317 | 254.410   | 3   | 84.803  | 1.999  | 0.117 |

2.5 基于数量化理论 I 的影响因素分析

方差分析可以定性分析各因素对土壤持水量影响的差异性，但不能定量比较各因素的重要性。采用数量化理论 I 建立数学模型量化评估对土壤持水量具有显著影响的各指标得分(表 2)。研究表明，影响土壤饱和持水量的首要因素是土壤类型，其得分范围最大，达 16.153；其次为土地利用和地形坡度，得分范围分别为 5.672 和 4.125。对土壤田间持水量起首要影响的因素是土壤类型，得分范围为 19.217；其次为土地利用，得分范围为 16.400。

表 2 项目得分范围及类目得分

| 项目     | 类目     | 饱和持水量  |        | 田间持水量   |        |
|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|        |        | 得分值    | 得分范围   | 得分值     | 得分范围   |
| 土壤类型   | 粗骨土    | 12.146 | 16.153 | 10.663  | 19.217 |
|        | 紫色土    | 0      |        | 0       |        |
|        | 黄壤     | 6.815  |        | 9.194   |        |
|        | 石灰(岩)土 | 4.356  |        | 6.375   |        |
|        | 水稻土    | 16.153 |        | 19.217  |        |
| 土地利用类型 | 水田     | −1.800 | 5.672  | −3.484  | 16.400 |
|        | 旱地     | −1.353 |        | −3.565  |        |
|        | 园地     | −2.439 |        | −8.294  |        |
|        | 林地     | 0      |        | 0       |        |
|        | 草地     | −5.672 |        | −16.400 |        |
| 地形坡度   | 平坡     | −4.125 | 4.125  | —       | —      |
|        | 缓坡     | 0      |        | —       |        |
|        | 斜坡     | −3.032 |        | —       |        |
|        | 陡坡     | −3.748 |        | —       |        |

### 3 讨论

贵州赤水河流域是长江上游重要的生态屏障,保护该区域生态环境已经成为地区可持续发展的战略要求<sup>[16-17]</sup>。然而,由于自然地质特征和人类活动等因素影响,赤水河流域内水土流失严重,生态环境破坏问题加剧<sup>[18-20]</sup>。明确区域土壤持水特征的主控因素,为区域水土资源保护提供科学依据,成为当前赤水河流域亟待解决的问题。本研究结果表明,贵州赤水河流域土壤饱和持水量和田间持水量主要受到土壤类型、土地利用类型和地形坡度的影响,研究结果对于指导赤水河流域水土资源区划和保护具有一定的指导意义。同时,值得注意的是,不同研究者对特定区域的研究结果显示,区域间土壤持水特性的影响因素差异较大;陈明等<sup>[21]</sup>对四川省调查结果显示,该区域影响土壤最大持水量的主导因子是坡向、地貌、土厚和部位;刘小宁等<sup>[22]</sup>对甘肃的典型土壤类型研究结果表明,由于土壤类型的区域性分布规律,甘肃不同区域土壤持水特征存在显著的分异;方露等<sup>[23]</sup>对岷江上游的研究结果显示,土地利用和坡向对土壤水分的影响呈显著的交互影响。因此,不同区域对土壤持水量的主导因子需要具体的实证分析。

本研究条件下,影响贵州赤水河流域土壤持水量的主要因素是土壤类型,区域内以白垩系砂岩发育的紫色土分布最为广泛,土壤容质量大<sup>[24]</sup>,持水量较低,同时由于土壤颗粒以粗砂为主,缺少黏粉粒,土壤抗剪强度低<sup>[25]</sup>,更容易造成水土流失,是制约区域土壤水源涵养的主要土壤类型。学者亦指出,不同土壤类型性质差异较大,土壤结构、容质量、土壤黏粒、土壤盐分、土壤总孔隙度、不同吸力条件等土壤因素与土壤持水量均密切相关<sup>[26]</sup>。因此,未来的研究仍然需要进一步解析紫色土土壤持水量较低的科学机制,从而为提升土壤持水能力提供科学依据。值得注意的是,为了区域环境保护和分区精准管理政策的制定,未来的研究应当进一步明确区域土壤持水特征的空间分布特征。

### 4 结论

贵州赤水河流域土壤饱和持水量和田间持水量受到土壤类型、土地利用类型和地形坡度的显著影响,影响土壤持水量的主要因素是土壤类型。

贵州赤水河流域不同土壤类型以水稻土饱和持水量和田间持水量最高,紫色土饱和持水量和田间持水量较低;不同土地利用类型以水田土壤持水量最高,草地土壤持水量较低;不同地形坡度以平坡土壤持水量最高,斜坡和陡坡土壤持水量较低,应当加强对区域内紫色土分布区坡地的管理,从而实现区域水资源的可持续管理。

### 参考文献:

- [1] 谢聪,赵良菊,孟飞,等. 黑河上游森林生态系统植物水分来源 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2020, 56(4): 502-508.
- [2] 邹慧,高光耀,傅伯杰. 干旱半干旱草地生态系统与土壤水分关系研究进展 [J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3127-3136.
- [3] 朱锦. 图们江流域湿地生态系统水源涵养功能综合评估 [D]. 延吉: 延边大学, 2019.
- [4] 裴宏伟,沈彦俊,刘昌明. 华北平原典型农田氮素与水分循环 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 283-296.
- [5] 樊晶晶,慈恩,连茂山,等. 三峡水库不同高程消落区水分变化对土壤有机碳的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(5): 120-127.
- [6] WU X, SHI W J, GUO B, et al. Large Spatial Variations in the Distributions of and Factors Affecting Forest Water Retention Capacity in China [J]. Ecological Indicators, 2020, 113: 106152.
- [7] 凡非得,王克林,熊鹰,等. 西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征 [J]. 生态学报, 2011, 31(21): 6353-6362.



[8] 张斌, 张桃林. 南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策研究 [J]. 生态学报, 1995, 15(4): 413-419.

[9] 闵继胜, 孔祥智. 我国农业面源污染问题的研究进展 [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2016(2): 59-66, 136.

[10] OLORUNFEMI I, FASINMIRIN J, OJO A. Modeling Cation Exchange Capacity and Soil Water Holding Capacity from Basic Soil Properties [J]. Eurasian Journal of Soil Science (Ejss), 2016, 5(4): 266.

[11] ZHENG D L, HUNT E R, RUNNING S W. Comparison of Available Soil Water Capacity Estimated from Topography and Soil Series Information [J]. Landscape Ecology, 1996, 11(1): 3-14.

[12] 张治伟, 朱章雄, 文志林. 岩溶山地不同用地类型表层土壤持水性能研究 [J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(4): 95-99.

[13] 国家林业局. 森林土壤水分-物理性质的测定: LY/T 1215-1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[14] 王子维, 解燕, 程昌新, 等. 曲靖烤烟钾含量空间变异特征及主控因素解析 [J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(2): 306-315.

[15] 袁雪丽, 汪阳东, 黄兴召, 等. 基于数量化理论对山苍子立地类型划分及评价 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(5): 91-96.

[16] 杨世凡, 安裕伦, 王培彬, 等. 贵州赤水河流域生态红线区划分研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1405-1411.

[17] 翟红娟, 邱凉. 赤水河流域水资源保护与开发利用 [J]. 环境科学与管理, 2011, 36(8): 38-40.

[18] 张为, 杨斌. 赤水河干流水环境影响因素分析 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47(5): 80-83.

[19] 蔡宏, 林国敏, 康文华. 赤水河流域中上游坡地景观特征对河流水质的影响 [J]. 地理研究, 2018, 37(4): 704-716.

[20] 秦立, 付宇文, 吴起鑫, 等. 赤水河流域土地利用结构对氮素输出的影响 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1): 175-183.

[21] 陈明, 陈继平, 陈昌利. 土壤最大持水量与环境因子的关系 [J]. 绵阳农专学报, 1991(4): 26-30.

[22] 刘小宁, 隆瑞红, 罗珠珠, 等. 甘肃省典型土壤持水特性及影响因素研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 143-151.

[23] 方露, 李晓宁, 唐香君, 等. 岷江上游杂谷脑河流域林树下线土壤持水性及影响因素 [J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 95-102.

[24] 江秋菊, 黄兴成. 贵州赤水河流域土壤容重特征及其影响因素 [J]. 山西农经, 2020(20): 89-90, 168.

[25] 许冲, 薛乐, 李贤, 等. 粒组缺失对紫色土抗剪强度的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 135-141.

[26] 苏杨, 朱健, 王平, 等. 土壤持水能力研究进展 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(14): 140-145.

责任编辑 包颖