

Research Progress on the Relationship between Forest Vegetation Degradation and Water Conservation Service in Rocky Desertification Mountain Area

Changlan Li

Qiantao Ecological Protection Station, Huaxi District, Guiyang Guizhou
Email: 1256463611@qq.com

Received: Mar. 10th, 2020; accepted: Mar. 25th, 2020; published: Apr. 1st, 2020

Abstract

Rocky desertification is the most serious ecological and environmental problem in Southwest China. The degradation of forest vegetation in the rocky desertification is closely related to the water supply that serves its growth, which has always been widely concerned by researchers. By using the method of literature analysis, this paper analyzes the research status and development trends of vegetation degradation characteristics, water conservation service function and their relationship in rocky desertification mountainous areas. At present, a lot of researches have been carried out in the structure and function of degraded vegetations, the movement and heterogeneity of water in litter and soil. Some researchers also have revealed the source of plant water use, but they fail to reveal the role and mechanism of water conservation services in the process of karst vegetation degradation. In future, more attentions should be paid to the provision of water conservation services for karst degraded ecosystem. Water is the main limiting ecological factor in rocky desertification area. Moreover, it should be considered that the process of vegetation degradation in rocky desertification mountain area should be understood from the change of water conservation function and its services.

Keywords

Water Conservation Services, Vegetation Degradation, Research Progress, Rocky Desertification Mountain Area

石漠化山区森林植被退化与水源涵养服务的关系研究进展

李昌兰

贵阳市花溪区黔陶乡生态保护站, 贵阳 贵州
Email: 1256463611@qq.com

收稿日期: 2020年3月10日; 录用日期: 2020年3月25日; 发布日期: 2020年4月1日

摘要

石漠化是中国西南地区最严重的生态环境问题, 石漠化区森林植被退化与服务其生长的水源情况关系密切, 历来受到科研工作者的广泛关注。本文采用文献分析法, 分析了石漠化山区植被退化特征、水源涵养服务功能及其二者关系的研究现状及发展动态, 目前在退化植被结构及功能、枯落物和土壤水分运移规律及异质性等方面进行大量研究, 部分研究也揭示了植物水分利用来源, 但未能揭示水源涵养服务在喀斯特植被退化过程中的作用与机理。今后应从枯落物层、土壤层及岩溶裂隙水分的角度去阐明喀斯特退化生态系统水源涵养服务的提供, 同时针对水分是石漠化区主要限制性生态因子, 从水源涵养功能变化及其服务去认识石漠化山区植被退化过程。

关键词

水源涵养服务, 植被退化, 研究进展, 石漠化山区

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建设美丽中国作为新时期全面建设社会主义现代化国家的重大目标, 加快解决喀斯特石漠化区生态环境问题更为迫切。石漠化是在湿润亚热带区自然因素和人为因素共同驱动下, 山区地表土壤流失、岩石裸露、土地生产力下降、植被退化的过程。植被的恢复与重建已成为决定我国西南地区生态、环境、经济和社会可持续发展的关键。虽然我国西南石漠化地区降水比较充沛, 但因喀斯特地貌常具有二元三维水文空间结构, 由于缺乏植被系统的调节, 地表水大量通过表层岩溶带裂隙、管道、落水洞等渗漏、地下水深埋, 加上该地区土层浅薄且零星分布、土壤涵养水源能力低, 岩溶干旱相对严重, 水分亏缺依然是该地区植被恢复与重建的关键限制性生态因子。如何有效地开展植被的恢复与重建和发挥水土资源的充分利用, 是该地区石漠化综合治理所面临的主要难题之一。贵州省在西南岩溶区属于喀斯特高原, 是我国石漠化面积最大、等级最齐、程度最深且危害最重的省份, 有“喀斯特省”之称, 加快我省石漠化区的植被恢复与重建已刻不容缓, 开展植被退化过程及基础理论的研究成为一项紧迫而必要的工作, 是进行生态恢复的基础。

2. 研究现状及发展动态

2.1. 石漠化山区植被退化特征研究

喀斯特生态系统的退化是指在水热因子及其适宜的森林生长发育的环境条件下, 碳酸类岩层的喀斯特地形及其适生的自然植被生态系统在反复遭受人类不合理的干扰破坏或是改变土地利用方向, 原生脆弱的生态系统退化, 以化学风化为主的各种形态岩层, 大面积裸露[1][2]。这些适生的自然植被一旦被破坏, 不仅难以恢复, 且降低了生态系统的水源涵养能力, 造成大量水土流失, 土层变薄, 基岩出露, 形

成石漠化。喀斯特退化生态系统的研究历来是生态学领域的研究点。植被退化是喀斯特生态系统退化的最典型的外在特征之一，喀斯特石漠化山区退化的生态系统正面临各种人为活动的干扰、破坏以及不合理开发利用。喀斯特石漠化山区的森林植被退化属于一个逆向演替的过程，人类及动物的自主选择性、植物物种适应性决定植物物种与其繁殖体的生存与淘汰。一些植物物种因为具有强的立地困难生境的适应性和萌发能力，在植被遭受反复砍伐和破坏后其繁殖体仍能生长在一些碳酸盐岩石缝或裂隙中。喀斯特石漠化地区特殊的自然环境条件，一方面影响到植被分布和类型特征，另一方面也影响着植物生理及生态过程[3]。相关研究表明，喀斯特石漠化山区生长于石灰土之上常绿阔叶林的枯落物氧化钙含量比生长于酸性黄壤的要高出3倍左右[4]；由于喀斯特石漠化山区特殊生境条件的高度异质性，即使同一峰丛下海拔相差几十米的山顶和山腰，其太阳辐射、水分、气温和湿度等小气候条件差异明显，致使生长于两种小生境条件的青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)的叶片形态解剖特征存在差异[5]。斜叶榕(*Ficus cyrtophylla*)表现出强适应能力，其根系沿岩-土界面生长，通过增加与岩石接触面来增加对水分和溶质营养的吸收面积及固持力。假苹婆(*Sterculia lanceolata*)根系能从陡峭岩石下垂到几米以下的地面吸收水分和养分。喀斯特石漠化区部分植物还能通过岩溶裂隙、管道、落水洞等深入地下吸收表层岩溶带水分甚至岩溶地下水。针对喀斯特石漠化山区退化植被，目前相关研究较多，主要包括不同退化程度植被群落组成及多样性特征[6]、喀斯特森林顶极群落的结构、功能及其演替[7]、喀斯特森林自然恢复过程中冠层结构及其动态变化[1]、岩溶山地优势植物种群动态及其对岩溶作用影响[8]、退化喀斯特森林自然恢复过程中的群落动态变化[2]、喀斯特退化植物土壤种子库储量、组成[9]及影响因素[10][11]等。

2.2. 石漠化山区水源涵养服务功能研究

土壤是植物生存和生长的环境基础，它通过提供所需的所有矿物元素和水来发挥其生态功能[12]。根据欧盟委员会的定义，土壤具有7种功能：生物量生产，储存、过滤和转化养分、物质和水，生物多样性库，人类和人类活动的物理和文化环境，原材料来源，碳库和作为地质和考古遗产档案[13][14]。土壤的持水功能表现为土壤水分入渗特性和土壤蓄水能力[15][16]。前者是降水、坡面径流、土壤水、裂隙水甚至地下水相互转化的重要环节和过程[17][18]，决定了近地表裂隙特别是低层土壤的入水量，后者是土壤保水功能的最直接体现，但目前很少有研究揭示其水源涵养服务功能。

土壤作为降水、地表水与地下水联系的核心，同时提供了植物生长和发育所必需的水分和养分，是生态系统中物质和能量交换的重要场所。目前，国内学者对喀斯特区土壤水的研究开喀斯特区桑树地壤土壤水分变化特征展较多，如张志才等[19]研究了喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征，蒋光毅等[20]研究了石漠化区桑树地壤的土壤水分特征，张继光等[21]分析了喀斯特山区坡面土壤水分变异特征及其与环境因子的关系，刘海隆等[22]探讨了岩溶山区旱坡地土壤水分时空变异，李孝良等[23]研究了喀斯特石漠化过程对土壤水分特征的影响，以及土壤水分测定方法[24]、土壤水分有效性[25]等，但对深部土壤或裂隙土壤水分研究缺乏，这对该区水文过程及上覆生态系统都具有重要意义。

此外，针对喀斯特石漠化地区水源涵养服务的研究，从以前单纯分析土壤水分的空间异质性及其影响因素以及水分运移规律[26][27]和植物的抗旱生理特征及水分利用来源分析[28][29]等，转向将土壤-植物-岩石连续体的水分转化关系研究[30][31]，然而，针对石漠化特殊生境植物利用水分来源关系的研究却鲜有报道。特别是在是表层岩溶带发育的石漠化地区，植物根系不仅分布于土壤层中，同时还穿插于石缝、裂隙中，在不同季节其水分利用状况如何？当前未知。

2.3. 植被与水源涵养服务的关系研究

由于土壤具有水源涵养服务功能，喀斯特石漠化地区任何形式的残积土对植被的生长和石漠化的恢

复都具有重要意义。退化喀斯特生态系统表层土壤在降雨条件下[32]不断向地下岩溶系统(裂隙或管道等)渗漏或充填,造成整个喀斯特生态系统土壤物质的流动或流失,导致生态系统的恶性发展。随着石漠化的加剧,坡耕地、草地、灌丛和林地的分离度逐渐增大,裸露岩土的分离度也随之增大。在石漠化严重的地区,基岩出露使原有的土壤覆盖变成了土壤和岩石的交错镶嵌,零星的土壤资源只存在于石窝、裂缝和裂隙中。然而,近地表石窝、裂隙及其填充土壤的蓄水功能,为该地区植物生长的提供了可能(图 1, 2018 年 10 月拍摄于贵阳市花溪区青岩镇上坝村)。然而,目前对近地表裂隙土壤的保水功能的认识尚不清楚。



Figure 1. Degenerated plants in rocky desertification mountain area
图 1. 石漠化山区退化植物

石漠化难以控制的主要原因是土壤较少,不能为植物生长发育提供必要的水分和养分。然而,即使在石漠化严重的阶段,一些封闭或不太开放的生境仍将保留少量土壤,保持较好的土壤结构和较高的水分、养分水平,为植被恢复重建提供了可能。土壤是储存和向植物、大气、地下水、湖泊和河流输送水的关键[33] [34]。以往的研究表明,碳酸盐岩周围土壤的含水量和养分含量相对较高,这是因为碳酸盐岩具有产生径流的能力和大面积露头的阴影[35]。Li 等[36]发现出露碳酸盐岩以北 15 cm 土层的土壤含水量最高,表明在环境胁迫条件下,它是建立石漠化区植被恢复的最理想场所,说明土壤水分对石漠化地区有多重要。

长时间的降雨不足会降低春季流量的响应,并导致岩溶环境中的干旱发生[37]。众所周知,2009 年 8 月至 2010 年 4 月,中国西南部部分地区发生了历史罕见的特大干旱,引起了政府和学者的广泛关注[38]。尤其是云南、贵州西部、南部和广西西北部的干旱达到了极端干旱水平,它是 80 年一遇旱灾。广西省部分地区从 2009 年 8 月至 2010 年 4 月底 8 个月内无有效降雨量。由于石漠化地区近地表岩溶裂隙空间狭小,与传统土地相比,裂隙中的土壤水分不易蒸发。

对于埋深 5cm 的土层,虽然大雨后土壤含水量已饱和,但连续 3、5、7 天不下雨,土壤含水量可分别降低到 24%、13% 和 3% [39] [40]。结果,部分植物因缺水死亡,不利于石漠化生态恢复。土壤渗透性对土壤保水功能有很大影响[41]。研究表明,裂隙充填土壤的入渗过程表现为快速降低和稳定两个阶段,这与非喀斯特区土地入渗过程不同[15]。这是由于裂隙中土壤总量小,雨水容易渗入深层土层,但也受到裂隙底部土层以下第四系红粘土的影响。然而,粘土颗粒具有较大的比表面积和较强的吸水能力,这有助于长期蓄水,因此石漠化地区的植物可以在这些裂隙中生长。

喀斯特石漠化山区自然环境具有地表岩土结构(岩土镶嵌分布)和地下岩溶结构(裂隙、管道、落水洞

等), 其适生森林植被的地上部分和地下部分分别都适应了特殊的石漠化环境, 一方面森林植被影响着生态系统水源涵养服务情况(枯落物储水、土壤储水及岩溶裂隙储水等), 而水源涵养服务情况反过来会影响着森林植被的物种组成、群落结构、生物多样性及根系特征等。加强石漠化山区森林植被退化与水源涵养服务功能关系的研究, 揭示石漠化山区植被退化与水源涵养服务响应机制, 阐明水源涵养在其生态恢复中的作用及与机制, 为石漠化生态修复提供理论支撑(图 2)。

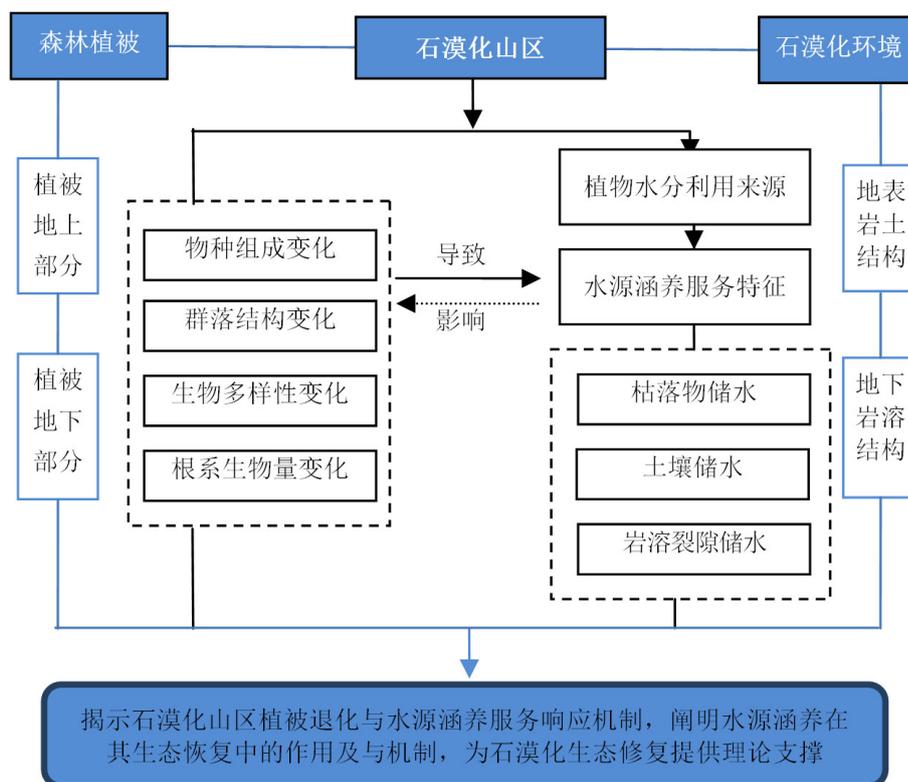


Figure 2. The relationship between vegetation and water conservation service
图 2. 植被与水源涵养服务的关系

3. 结论与展望

喀斯特区退化生态系统已成为研究热点并引起国家和社会的关注和重视。在过去的研究中, 科研工作者通过喀斯特退化生境特征、喀斯特群落自然恢复过程、植被恢复技术与模式等理论和技术的研究, 为喀斯特退化植被的恢复与重建提供了科学依据和技术支撑。此外, 部分科研工作者已注意到土壤水分是影响该区域植被生长、恢复等过程的主控因子, 并从土壤水分时空变异、土壤水分运移以及石漠化严酷生境植物的水分利用来源等方面去揭示水分在该区植被恢复与重建过程中的影响和作用。然而, 作为影响植被恢复的重要生态因子, 水分在石漠化生态系统中的作用主要体现为水源涵养服务的提供, 其不仅仅包括储存于土壤、枯落物中的水分, 同时还包括岩溶裂隙、石缝中储存的水分, 甚至部分区域还有地下水。截至目前, 已有研究还未能揭示水源涵养服务在喀斯特植被退化过程中的作用与机理, 而不同退化程度下水源涵养服务变化情况如何及其与植被退化过程特征的响应关系仍然未知。因此, 今后应加强: 1) 从枯落物层、土壤层及岩石裂隙/石缝水分的角度去阐明生态系统水源涵养服务的提供; 2) 针对水分是石漠化区主要限制性生态因子, 从水源涵养功能变化及其提供去认识石漠化山区植被退化过程。

致 谢

笔者在撰写和作图中得到贵州大学彭旭东博士的指导帮助，特此致谢！

基金项目

贵州大学引进人才科研项目“喀斯特石漠化坡地岩-土界面水文过程及特征”(贵大人基合字(2018)49)资助。

参考文献

- [1] 杨瑞, 喻理飞. 退化喀斯特森林自然恢复过程中的冠层结构特征及其动态变化[J]. 中国水土保持科学, 2015(4): 36-40.
- [2] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 1-7.
- [3] 吴毅, 刘文耀, 沈有信. 云南石林景区主要乡土植物物候特征的初步研究[J]. 山地学报, 2006, 24(6): 647-653.
- [4] 曹建华, 袁道先, 章程, 等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[J]. 地球与环境, 2004, 32(1): 1-8.
- [5] 邓艳, 蒋忠诚, 曹建华. 弄拉典型峰丛岩溶区青冈栎叶片形态特征及对环境的适应[J]. 广西植物, 2004, 24(4): 317-322.
- [6] 俞月凤, 何铁光, 杜虎, 等. 桂西北喀斯特地区不同退化程度植被群落物种组成及多样性特征[J]. 广西植物, 2019(2): 178-188.
- [7] 朱守谦. 贵州喀斯特地区植被恢复的理论与实践[J]. 贵州环境科学, 2000(1): 31-41.
- [8] 李先琨, 蒋忠诚, 黄玉清, 等. 桂西南岩溶山地优势植物种群动态及其对岩溶作用的影响[J]. 地球学报, 2008, 29(2): 253-259.
- [9] 张平, 蔡光丽, 沈有信, 等. 滇东南岩溶山地退化植被土壤种子库的储量与组成[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 101-106.
- [10] 李阳兵, 魏朝富, 李先源, 等. 土地利用方式对岩溶山地土壤种子库的影响[J]. 山地学报, 2002, 20(3): 319-324.
- [11] 欧阳绪红, 郝秀东, 谢世友, 等. 喀斯特山地典型植被恢复过程中土壤种子库特征[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(15): 3049-3053.
- [12] 张笑楠, 王克林, 陈洪松, 等. 桂西北喀斯特区域景观结构特征与石漠化的关系[J]. 应用生态学报, 2008(11): 143-148.
- [13] Mol, G. and Keesstra, S. (2012) Soil Science in a Changing World. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **4**, 473-477. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.013>
- [14] Keesstra, S.D., Bouma, J., Wallinga, J., et al. (2016) The Significance of Soils and Soil Science towards Realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, **2**, 111-128. <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>
- [15] Peng, X., Shi, D., Guo, H., et al. (2015) Effect of Urbanisation on the Water Retention Function in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Catena*, **133**, 241-249. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.021>
- [16] Shi, D., Wang, W., Jiang, G., et al. (2016) Effects of Disturbed Landforms on the Soil Water Retention Function during Urbanization Process in the Three Gorges Reservoir Region, China. *Catena*, **144**, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.010>
- [17] Parchami-Araghi, F., Mirlatifi, S.M., Dashtaki, S.G., et al. (2013) Point Estimation of Soil Water Infiltration Process Using Artificial Neural Networks for Some Calcareous Soils. *Journal of Hydrology*, **481**, 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.007>
- [18] Mao, L.L., Li, Y.Z., Hao, W.P., et al. (2016) An Approximate Point Source Method for Soil Infiltration Process Measurement. *Geoderma*, **264**, 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.011>
- [19] 张志才, 陈喜, 石朋, 等. 岩石对喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征的影响[J]. 水土保持通报, 2008(6): 45-48.
- [20] 蒋光毅, 黄先智, 史东梅, 等. 石漠化区桑树地埂的土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 217-223.
- [21] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特山区坡面土壤水分变异特征及其与环境因子的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 87-93.
- [22] 刘海隆, 蒋太明, 刘洪斌, 等. 不同土地利用方式对岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 428-433.

- [23] 李孝良, 陈效民, 周炼川, 等. 西南喀斯特石漠化过程对土壤水分特性的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 200-205.
- [24] 黄保健, 甘露, 张之淦. 岩溶地区中子水分仪的野外标定[J]. 中国岩溶, 2000, 19(3): 218-223.
- [25] 任伟, 谢世友, 谢德体. 喀斯特山地典型植被恢复过程中的土壤水分生态效应[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 131-135.
- [26] 付同刚, 陈洪松, 张伟, 等. 喀斯特小流域土壤含水率空间异质性及影响因素[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 124-131.
- [27] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特洼地表层土壤水分的空间异质性及其尺度效应[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 544-549.
- [28] 容丽, 熊康宁. 花江喀斯特峡谷适生植物的抗旱特征, I: 顶坛花椒根系与土壤环境[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2007(4): 5-11, 38.
- [29] 邓艳, 蒋忠诚, 李衍青, 等. 广西不同石漠化程度下典型植物水分来源分析[J]. 热带地理, 2015(3): 128-133.
- [30] Huang, Y.Q. (2009) Transpiration of *Cyclobalanopsis glauca* (syn. *Quercus glauca*) Stand Measured by Sap-Flow Method in a Karst Rocky Terrain during Dry Season. *Scientia Horticulturae*, **4**, 791-801. <https://doi.org/10.1007/s11284-008-0553-6>
- [31] 邓彭艳, 陈洪松, 聂云鹏, 等. 桂西北喀斯特地区菜豆树和红背山麻杆旱、雨季光合特性比较[J]. 生态学杂志, 2010(8): 24-30.
- [32] Peng, X., Dai, Q., Li, C., et al. (2018) Role of Underground Fissure Flow in Near-Surface Rainfall-Runoff Process on a Rock Mantled Slope in the Karst Rocky Desertification Area. *Engineering Geology*, **243**, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.06.007>
- [33] Poesen, J. and Lavee, H. (1994) Rock Fragments in Topsoils: Significance and Processes. *Catena*, **23**, 1-28. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90050-7)
- [34] Ruiz Sinoga, J.D., Romero Diaz, A. and Ferre Bueno, E. (2010) The Role of Soil Surface Conditions in Regulating Runoff and Erosion Processes on a Metamorphic Hillslope (Southern Spain): Soil Surface Conditions, Runoff and Erosion in Southern Spain. *Catena*, **80**, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.09.007>
- [35] Zhang, J.G., Chen, H.S., Su, Y.R., et al. (2011) Spatial Variability and Patterns of Surface Soil Moisture in a Field Plot of Karst Area in Southwest China. *Plant Soil & Environment*, **57**, 409-417. <https://doi.org/10.17221/374/2010-PSE>
- [36] Li, S., Ren, H.D., Xue, L., et al. (2014) Influence of Bare Rocks on Surrounding Soil Moisture in the Karst Rocky Desertification Regions under Drought Conditions. *Catena*, **116**, 157-162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.12.013>
- [37] Fiorillo, F. and Guadagno, F.M. (2012) Long Karst Spring Discharge Time Series and Droughts Occurrence in Southern Italy. *Environmental Earth Sciences*, **65**, 2273-2283. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1495-9>
- [38] Tan, H., Cai, R., Chen, J., et al. (2017) Decadal Winter Drought in Southwest China since the Late 1990s and Its Atmospheric Teleconnection. *International Journal of Climatology*, **37**, 455-467. <https://doi.org/10.1002/joc.4718>
- [39] Zhang, Z.C., Chen, X., Wang, W., et al. (2007) Analysis of Rainfall Trend and Extreme Events in Guizhou. *Earth and Environment*, **35**, 351-356.
- [40] Shi, P., Wu, M., Qu, S., et al. (2015) Spatial Distribution and Temporal Trends in Precipitation Concentration Indices for the Southwest China. *Water Resources Management*, **29**, 3941-3955. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1038-3>
- [41] Lipiec, J., Kuś, J. and Słowińska-Jurkiewicz, A. (2006) Soil Porosity and Water Infiltration as Influenced by Tillage Methods. *Soil & Tillage Research*, **89**, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.07.012>