

文章编号: 1004-8227(2010)07-0797-05

喀斯特地区土壤水中溶解有机碳浓度 对植被退化的响应

肖德安^{1,2,3}, 王世杰^{1,2*}, 容丽^{2,4}, 刘方^{2,5}, 冉景丞⁶, 刘伟^{1,2,3}, 程安云^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院普定喀斯特生态与石漠化试验研究站, 贵州 普定 562100; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001; 5. 贵州大学环境与资源研究所, 贵州 贵阳 550025; 6. 贵州茂兰国家级自然保护区管理局, 贵州 荔波 558400)

摘要: 按退化程度在茂兰喀斯特地区选取的 4 种不同植被类型依次为原生性乔木森林、次生性乔灌混合林、灌木林、灌丛草坡, 并对各植被退化系统中 1a 内的土壤水中溶解有机碳(DOC)浓度变化特征进行测试分析, 并探讨其对不同退化程度的植被的响应特征。结果显示: (1) 各种植被类型下土壤水 DOC 含量按月份均呈现出由低到高、再由高到低的变化趋势, 在 6 月底出现峰值; (2) 土壤水 DOC 含量对降雨量具有很好的响应关系; (3) 土壤水 DOC 含量随植被退化程度的加剧而呈现出递增的趋势, 即退化的植被系统中土壤水的 DOC 含量大于未退化的植被系统, 说明未退化的土壤植被系统比较稳定, 不易受到外界因素的干扰, 贮存能力大, 流失少。研究结果表明对植被退化响应灵敏的土壤水 DOC 含量可以作为评价土壤和植被关联退化的一个有效指标。

关键词: 溶解有机碳(DOC); 土壤水; 植被退化; 喀斯特地区; 茂兰
文献标识码: A

喀斯特地区石漠化的本质是土壤、植被的关联退化, 其中表土和养分流失与生态系统退化是最基本、最突出的问题^[1], 而导致表土和养分流失的驱动力是水。在降雨的驱动下, 土壤中养分一般以两种途径进行迁移: 一是以溶解态形式随地表径流或者下渗的土壤水而迁移; 二是吸附态形式, 即养分被吸附在土壤颗粒上, 主要是在侵蚀条件下以侵蚀泥沙的方式随地表径流进行迁移^[2]。然而, 已有研究表明喀斯特地区一般很难产生地表径流, 即使产生地表径流, 其又会很快下渗转化为地下径流^[3], 在植被覆盖率高的喀斯特森林区产生地表径流的机会更少^[4]。基于此, 笔者认为在喀斯特地区土壤水是降水转化的主导形式, 下渗的土壤水是土壤养分迁移的主要动力, 其养分主要以溶解态的形式进行迁移, 这与非喀斯特地区以地表径流迁移为主的机理存在着显著的差异。所以, 土壤水在喀斯特地区生态水文过程中扮演着重要的角色, 对作为营养物质传输和迁移载体的土壤水进行研究具有重要的科学意义。

土壤有机碳是土壤养分的重要组成部分, 起到维护土壤结构稳定性、保持土壤肥力的作用^[5]; 而土壤溶解有机碳又是土壤有机碳中活性最强的部分^[6], 对调节阳离子淋洗、金属溶解、矿物风化、土壤微生物活动以及其他土壤化学、物理和生物学过程具有重要意义^[7]。已有研究表明, 土壤含碳量的多少在很大程度上依赖于地表植被^[8], 植被的退化必然会影响到其含量的变化。在土壤水的下渗迁移过程中, 土壤中溶解有机碳溶解于水中随着土壤水的迁移而迁移, 对土壤水中溶解有机碳的研究已经被国内外科学家所重视^[9-13]。目前, 国内外主要侧重于从土壤学的角度对土壤溶解有机碳进行研究^[14, 15], 而从水文地球化学的角度进行土壤水溶解有机碳的研究相对较少; 我国少数学者开展过土壤水的研究, 都是从单一的植被类型着手对土壤淋滤水的性质特征进行研究^[16-19]。然而, 从不同植被条件的角度综合分析土壤渗滤水溶解有机碳的变化特征进而揭示植被退化规律的研究报道甚少。

收稿日期: 2009-07-27; 修回日期: 2009-11-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-306); 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2006CB403200)

作者简介: 肖德安(1981~), 男, 贵州省福泉人, 博士研究生, 主要从事土壤水、地下水环境地球化学研究, E-mail: xiaodean@hotmail.com

*通讯作者 E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

基于此,本文在茂兰喀斯特地区选取不同退化程度的一个植被系列(原生性乔木森林、次生性乔灌混合林、灌木林、灌丛草坡)的土壤渗滤水为研究对象,对其溶解有机碳的含量进行分析,研究其随时间的动态变化特征及其对不同植被退化程度的响应特征,进一步揭示不同植被演替阶段中营养物质的转化过程和机制;探讨土壤和植被关联退化的本质规律,为岩溶山区土地退化的评价指标体系的建立提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于贵州省荔波县茂兰国家自然保护区(107°56′28″~107°56′49″E, 25°18′6″~25°18′44″N);地处贵州高原向桂东丘陵过渡的斜坡地段,基岩类型主要为下石炭系的纯质石灰岩和白云岩;地貌类型主要是峰丛洼地和峰丛漏斗,局部地区亦有峰丛槽谷、峰林洼地和峰林盆地;土壤以黑色石灰土为主,土层浅薄且不连续,剖面构型多为 AF-D 型、A-D 型。地表水缺乏,土体持水量低。pH 值为 7.5~8.0,土壤富钙和富盐基化,有机质含量高。平均海拔 758.8 m,属中亚热带季风性湿润气候。年平均气温 18.6℃,年平均降水量 1 752 mm,集中分布在 4~10 月,年平均蒸发量 1 343.6 mm,年平均相对湿度 83%。茂兰保护区是目前世界上同纬度地区残存下来的仅有的、原生性强、相对稳定的岩溶森林生态系统,也是岩溶区原生性森林分布面积最大的地区。

2 研究方法

2.1 样品的采集

为了使所采集的样品能反映每种植被类型的真实情况,按统计学的规律在每种植被类型(原生性乔木森林、次生性乔灌混合林、灌木林、灌丛草坡)下分别布设 3 个能代表该类型特征的土壤水取样点;选择地势相对平缓、土壤深度大于 50 cm 且土壤剖面保存完好又不易受人为等因素影响的坡面,垂直坡面流流向挖一个土壤剖面,然后再侧向挖一个洞,埋设体积为 2 L 的半圆柱聚乙烯集水器。集水器口均距地表约为 40~45 cm。在埋设集水器的过程中,必须保证土壤水流经的土壤结构不被破坏和干扰。

2007 年 3 月~2008 年 2 月,每月的月底采集土壤水,受降雨的季节变化影响,在旱季(主要是 10 月

至次年 3 月)未收集到土壤水。每次采样时都将集水器中的渗滤水全部抽完,避免与下月水样混合。所有样品采用 0.45 μm 玻璃纤维滤膜进行现场过滤后装入棕色玻璃瓶中(玻纤滤膜和棕色玻璃瓶均在 450℃下烧 3 h,以去除有机污染),避光低温(4℃)保存并尽快测定。

2.2 样品的分析测定

采用美国产 Aurora 1030W 型 TOC 分析仪对土壤水的 DOC 含量进行分析测定。测试精度和误差分别是 2 μg/L 和 1%。分析测试工作在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

研究区降雨量采用天津气象仪器厂生产的 SDM 6 型雨量器测量,其雨量量筒的最小分度为 0.1 mm。

木本植物地表生物量采用该区乔、灌木生物量相对生长模型估算^[20],草本植物采用收割法进行测定;凋落物的凋落量采用收集框法收集测定。

土壤活性有机碳中溶解有机碳和微生物量碳分别采用去离子水恒温振荡浸提和氯仿熏蒸浸提,离心后用 0.45 μm 滤膜抽滤,然后用 TOC 仪测定浸提液中有机碳浓度。

3 结果与讨论

3.1 不同退化程度下的植被特征

在保护区的边缘地带,由于受人为因素和自然因素的共同作用,上覆植被已出现不同程度的退化。其过程可通过不同退化演替阶段的植被特征来反应,如表 1 所示。随着植被的退化演替,群落高度、均匀度、盖度降低,多样性指数、物种丰富度变小,地表生物量、凋落物的凋落量明显减少;而生态优势度却随植被的退化呈现出递增的趋势,说明退化的植被群落内物种数量越不均匀。从喀斯特森林的顶级群落原生乔木林到乔灌过渡混合林、灌木林、灌丛草坡、草坡等阶段的演替均有,且各退化程度下植被群落相对完整,有利于开展同一地区不同植被类型的对比研究工作。

3.2 土壤水中 DOC 的含量特征

表 2 显示了不同植被类型下土壤中活性有机碳含量以及土壤水中 DOC 含量特征。从表中可以看出,由于植被的退化演替,不同植被类型下土壤水 DOC 含量也发生了变化。其土壤水 DOC 含量大小关系为:灌丛草坡>灌木林>原生乔木森林和次生

乔灌混合林, 即退化程度高的植被系统中土壤水 DOC 含量总体上比未退化的植被系统高。而同一研究区土壤活性有机碳的研究结果表明(表 2), 随着植被的退化, 土壤活性有机碳含量均呈下降趋势, 即原生乔木森林 > 次生乔灌混合林 > 灌木林 > 灌丛草坡, 与土壤水 DOC 含量的变化趋势相反。

表 1 样地的植被特征

Tab. 1 Characteristics of Vegetation at Four Sample Plots

指标	植被类型	原生乔木林	次生乔灌混合林	灌木林	灌丛草坡
群落高度(m)		10.0~20.0	5.0~12.0	2.5~3.0	1.0~2.0
多样性指数		5.42	4.22	3.21	2.99
生态优势度		0.06	0.15	0.27	0.46
物种丰富度		56.3	28.2	26.1	11.67
均匀度		0.94	0.91	0.73	0.27
盖度		90	85	90	80
生物量(t/hm ²)		135.4	41.1	17.9	7.3
凋落量(kg/(m ² ·a))		3 845	2 986	2 362	530
优势种		主要有: 化圆果、香、海桐、青檀、青叶裂茅、功、仙、地衣苔藓生	主要有: 云贵耳、栎、柃、栲、松、海桐、还藤类、苔藓等	主要有: 南天香、化、刺、球、长、榨、刺、小	主要有: 竹、虎、毛、花、柔、耳、长、黄、青、节、芒等

表 2 不同植被类型下土壤活性有机碳含量和土壤水中 DOC 含量

Tab. 2 Concentrations of Soil Active Organic Carbon and DOC in Soil Water Under the Different Kinds of Vegetation Coverage

植被类型	厚度(cm)	土壤活性有机碳(mg/g)	DOC 含量范围(mg/L)	DOC 含量(mg/L)
原生乔木林	40~45	16.02	1.88~6.80	4.24±1.94
次生乔灌混合林	40~45	13.67	3.44~5.50	4.09±0.86
灌木林	40~45	13.60	2.92~10.37	4.98±2.56
灌丛草坡	40~45	13.41	3.5~7.82	5.67±1.48

注: 厚度是指土壤水集水器口距地表的土壤厚度。

3.3 土壤水 DOC 含量的月季变化特征

从图 1 可以看出, 各植被类型下土壤水 DOC 含量随月份的变化趋势总体上是一致的。其 DOC 含量随月份变化均呈现出由低上升到高, 再由高下降到低的过程; 除灌丛草坡外, 其含量的峰值都出现在 6 月底, 即温湿季节相对于干冷季节 DOC 含量偏高。

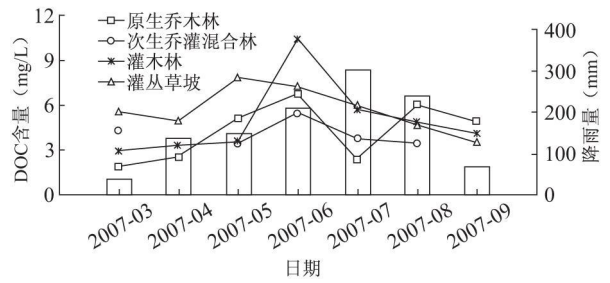


图 1 2007 年不同植被类型下土壤水溶解有机碳的含量动态及降雨量

Fig. 1 Dynamic Variations of DOC Concentrations in Soil Water and Monthly Precipitation with Time Under the Different Kinds of Vegetation Coverage

结合研究区的降雨分布特征来分析, 其原因有二:

其一, 研究区降雨多集中分布在 4~9 月份, 而 10 月~次年 2 月降雨频率少且雨量也少, 这期间各植被下枯落物分解后未受充分的淋失和迁移, 大多数易淋失的有机物质留存下来, 随着雨季的来临, 降雨量逐渐增多, 这些储存的有机物质受淋洗后随土壤水迁移而淋失, 致使土壤水中的 DOC 含量快速上升到峰值; 揭示了土壤水 DOC 含量对降雨量具有很好的响应关系, 与洞穴滴水对降雨量响应的研究结果是一致的^[21, 22]。但是, 7 月份当降雨量达到峰值时, 土壤水 DOC 含量却迅速回落。产生这样的现象的原因可能有两个: 首先是降雨稀释作用, 即当降水的淋洗作用小于稀释作用时, 稀释作用占主导, 则土壤水中 DOC 浓度就会变小; 其次是经过前几个月的淋洗, 留存下来的有机物质已剩不多, 这样就导致了土壤水 DOC 含量的回落。

其二, 由于高温多雨的环境有利于微生物活动, 加快了对枯枝落叶的分解, 进而为土壤中输入大量的有机物质, 所以, 造成土壤水 DOC 由低到高、再由高到低的变化。与岩溶地区土壤溶解有机碳动态变化的研究结果^[15] 相比较, 土壤水 DOC 含量的变化趋势大致相同; 说明了土壤水中 DOC 主要来源于土壤, 是土壤中有机物质流失的一个表征。

其二, 由于高温多雨的环境有利于微生物活动, 加快了对枯枝落叶的分解, 进而为土壤中输入大量的有机物质, 所以, 造成土壤水 DOC 由低到高、再由高到低的变化。与岩溶地区土壤溶解有机碳动态变化的研究结果^[15] 相比较, 土壤水 DOC 含量的变化趋势大致相同; 说明了土壤水中 DOC 主要来源于土壤, 是土壤中有机物质流失的一个表征。

3.4 土壤水 DOC 含量对植被退化程度的响应

从总体上看, 除了次生乔灌混合林略有差异外, 在整个植被退化过程中表现出随植被退化程度的加剧而土壤水 DOC 含量呈增加的趋势。这与不同植被类型下土壤活性有机碳的含量变化趋势相反, 与同一地区进行的关于土壤溶解有机碳研究^[23] 的结果(林地 > 草坡)也正好相反。究其原因, 作者认为退化植被下土壤溶解有机碳不稳定, 留存小而流失

大;相反,未退化的植被系统保持力更强。至于说各植被类型下土壤溶解有机碳的留存量大小及其留存机制还有待于进一步的研究证明。

从土壤水 DOC 含量的动态变化特征来看(图 1),灌丛草坡和次生乔灌混合林这两个系列的变化幅度相对较小,且从图中明显看出灌丛草坡每月的 DOC 含量均大于次生乔灌混合林,而表 1 中次生乔灌混合林的生物量和归还量却明显高于灌丛草坡,其生物量和归还量均是灌丛草坡的 5.63 倍,这说明土壤水中 DOC 含量并不受生物量和归还量的直接影响。但是,曹建华等研究表明植物生长促进土壤微生物的活动,导致土壤-植物系统中的碳转移并改变岩溶环境系统中碳的排放方式^[24]。所以,相对于未退化的森林植被,退化植被区的活性有机碳更容易流失。其原因可能与微生物活动对碳的消耗和转移有关,良好的植被条件下微生物活动强,活性有机碳被微生物大量消耗和转移,碳的流失量相应减少,即土壤中随土壤水迁移的碳量(DOC)相对减少;而退化的植被条件下,土壤中活性有机碳被微生物吸收利用少,导致随土壤水迁移的碳量(DOC)相对较大。此外,还可能受不同植被类型下凋落物的分解、微生物活动、碳的留存和流失等机理的差异影响,其可能是一个复杂的多因素综合作用的结果,还需要进一步深入开展多方面的研究,以期揭示其内在的影响因素。

从图 1 看,原生乔木森林和灌木林下土壤水 DOC 含量变化波动较大,其变异系数分别达 46% 和 52%,这种剧烈变化的现象主要发生在多雨的月份(5~8 月)。可能是因为降水对林冠、树干等淋洗的影响,其影响的大小受树种、降雨强度、降雨持续时间、林冠结构等影响^[25]。

将原生乔木林和次生乔灌混合林看作是未退化的植被生态系统,而灌木林和灌丛草坡是退化的植被生态系统,并综合前面的研究结果来考虑,土壤水的 DOC 含量均呈现出退化的植被系统大于未退化的植被系统。说明未退化的土壤和植被系统比较稳定,不易受到外界因素的干扰,贮存能力大,流失少;相反,退化的系统不稳定,抗干扰能力弱,流失多。进一步表明了土壤水的 DOC 含量对植被退化有很好的响应关系,可以作为表征土壤和植被关联退化过程中物质流失和迁移的指标。

4 结论

通过对不同植被类型条件下土壤水 DOC 含量

动态变化特征的对比研究,初步归结出以下几点认识:

(1)各种植被类型条件下土壤水的 DOC 含量随月份呈现出由低到高,再由高到低的变化趋势,DOC 含量峰值大多出现在 6 月底,即温湿季节相对于干冷季节 DOC 含量偏高。

(2)土壤水 DOC 含量对降雨量具有很好的响应关系,反过来则说明降雨是影响土壤水 DOC 含量变化的重要因子;

(3)在整个植被退化演替的过程中,土壤水 DOC 含量随植被退化程度的加剧而呈现出递增的趋势。即退化的植被系统(灌丛草坡和灌木林)下的 DOC 含量大于未退化植被系统(原生乔木森林和次生乔灌混合林),显现出其对植被退化有很好的响应关系。同时,该结果也表明了土壤水的 DOC 含量可以作为评价土壤和植被关联退化的有效指标。

参考文献:

- [1] 王世杰,李阳兵.喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J].地球科学进展,2007,22(6):573~582.
- [2] WANG Q J, ROBERT H, SHAO M A. Effect kinetic energy influence on soil potassium transport into runoff[J]. Soil Science, 2002, 167: 369~376.
- [3] 彭 韬,王世杰,张信宝等.喀斯特坡地地表径流系数监测初报[J].地球与环境,2008,36(2):125~129.
- [4] 冉景丞,何师意,曹建华等.亚热带喀斯特森林的水土保持效益研究——以贵州茂兰国家级自然保护区为例[J].水土保持学报,2002,16(5):92~95.
- [5] 彭新华,张 斌,赵其国.土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J].土壤学报,2004,41(4):618~623.
- [6] ANTONIADIS V, ALLOWAY B J. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils[J]. Environmental Pollution, 2002, 117(3): 515~521.
- [7] 俞元春,何 晟, GEOFF W G, 等.杉木林土壤渗滤水溶解有机碳含量与迁移[J].林业科学,2006,42(1):122~125.
- [8] ARROUAYS D, DESLAIS W, BADEAU V. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France[J]. Land Use and M anagement, 2001, 17(1): 7~11.
- [9] LUDWIG B, HELL B, FLESSA H, et al. Dissolved organic carbon in seepage water-Production and transformation during soil passage[J]. Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica, 2000, 28(2): 77~82.
- [10] MOLLER A, KAISER K, GUGGENBERGER G. Dissolved organic carbon and nitrogen in precipitation, throughfall, soil solution, and stream water of the tropical highlands in northern Thailand[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde, 2005,

- 168(5): 649~659.
- [11] XI M, LU X G, LI Y, et al. Distribution characteristics of dissolved organic carbon in annular wetland soil water solutions through soil profiles in the Sanjiang Plain, Northeast China [J]. *Journal of Environmental Sciences - China*, 2007, 19(9): 1 074~1 078.
- [12] DITTMAN J A, DRISCOLL C T, GROFFMAN P M, et al. Dynamics of nitrogen and dissolved organic carbon at the Hubbard Brook Experimental Forest [J]. *Ecology*, 2007, 88(5): 1 153~1 166.
- [13] LIU C P, SHEU B H. Dissolved organic carbon in precipitation, throughfall, stemflow, soil solution, and stream water at the Guandashi subtropical forest in Taiwan [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 172(3): 315~325.
- [14] AITKENHEAD J A, HOPE D, BILLET T M F. The relationship between dissolved organic carbon in stream water and soil organic carbon pools at different spatial scales [J]. *Hydrological Processes*, 1999, 13(8): 1 289~1 302.
- [15] 曹建华, 潘根兴, 袁道先, 等. 岩溶地区土壤溶解有机碳的季节动态及环境效应 [J]. *生态环境*, 2005, 14(2): 224~229.
- [16] 程伯容, 张金. 长白山北坡针叶林下土壤淋洗液及土壤性质的初步研究 [J]. *土壤学报*, 1991, 28(4): 372~381.
- [17] 高志勤, 傅懋毅. 毛竹林渗滤水养分的淋溶特征 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2005, 29(6): 95~98.
- [18] 高志勤, 罗汝英. 宁镇丘陵区森林土壤渗滤水的性状 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 1994, 18(2): 7~12.
- [19] 王明珠, 何园球. 我国热带亚热带森林土壤水的矿物质元素组成特征 [J]. *土壤*, 1994, 230~236.
- [20] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 529~532.
- [21] 周运超, 王世杰, 谢兴能, 等. 贵州 4 个洞穴滴水对大气降雨响应的动力学及其意义 [J]. *科学通报*, 2004, 21: 2 220~2 227.
- [22] BAN F M, PAN G X, ZHU J, et al. Temporal and spatial variations in the discharge and dissolved organic carbon of drip waters in Beijing Shihua Cave, China [J]. *Hydrological Processes*, 2008, 22: 3 749~3 758.
- [23] 莫彬, 曹建华, 徐祥明, 等. 岩溶山区不同土地利用方式对土壤活性有机碳动态的影响 [J]. *生态环境*, 2006, 15(6): 1 224~1 230.
- [24] 曹建华, 袁道先, 潘根兴, 等. 不同植被下土壤碳转移对岩溶动力系统中碳循环的影响 [J]. *地球与环境*, 2004, 32(1): 90~96.
- [25] 罗艳, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山三种主要林区水文学过程中总有机碳浓度对比 [J]. *生态学报*, 2004, 24(12): 2 973~2 978.

RESPONSE OF DISSOLVED ORGANIC CARBON IN SOIL WATER TO THE VEGETATION DEGRADATION IN KARST AREAS

XAO De-an^{1,2,3}, WANG Shi-jie^{1,2}, RONG Li^{2,4}, LIU Fang^{2,5},
RAN Jing-cheng⁶, LIU Wei^{1,2,3}, CHENG An-yun^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Experiment and Research Station of Karst Ecology and Rocky Desertification, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001; 5. Institute of Environment and Resource, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 6. Management Bureau, Maolan National Nature Reserve, Libo 558400, China)

Abstract: The authors choose four sample plots with different vegetation types in Maolan karst areas according to their degradation degree, namely the virgin arbor-forests, secondary arbor-shrub mixed forests, shrubs and shrub-grassland, and then concentrations of dissolved organic carbon (DOC) in soil water at four sample plots were sampled monthly for one year and analyzed, respectively. The results indicate that: (1)DOC concentrations are higher in warm and wet seasons than those of cool and dry seasons in one year, which increase to maximum at June and then decrease. (2)DOC concentrations show a significant dependence on rainfalls. (3)DOC concentrations increase with vegetation degradation degree, and are higher in a degraded ecosystem than those of a non-degraded ecosystem, indicating that a virgin soil-vegetation system is stable with less runoff and more storage and is not easily interrupted from outside disturbs. These results indicate that DOC values could be served as an effective indicator for vegetation degradation.

Key words: dissolved organic carbon (DOC); soil water; vegetation degradation; karst areas; Maolan region
©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>