

喀斯特区云南鼠刺树干液流及土壤水分动态

杨瑞¹, 喻理飞², 戴全厚¹

(1. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: [目的] 分析喀斯特区树干液流速率与土壤水分之间关系, 揭示云南鼠刺的水分动态及对生境的适应机理, 为喀斯特区生态环境建设提供理论依据。[方法] 2009 年 7 月 26 日至 8 月 1 日期间, 利用热扩散式液流探针针对喀斯特区的土面和石沟两种不同生境中云南鼠刺的树干液流进行连续测定, 同时测定土壤水分含量的变化。[结果] 两种不同生境中树干液流日变化呈现出不规则峰形曲线, 每天液流速率的最大值均出现在白天, 最小值均出现在夜间; 同一深度土壤含水量随着时间的推移均逐渐降低, 但降低速率不同, 其变化与土壤深度的关系不明显; 云南鼠刺树干液流速率与土壤含水量存在着不显著的正相关关系。[结论] 云南鼠刺在喀斯特区的土面和石沟两种生境中的树干液流速率不同, 但规律基本一致, 树干液流速率与土壤含水量的相关关系不显著。

关键词: 喀斯特区; 生境; 云南鼠刺; 树干液流; 土壤含水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0089-05

中图分类号: S718.51

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.017

Dynamics of Soil Moisture and Sap Flow of *Itea Yunnanensis* in Karst Region

YANG Rui¹, YU Lifei², DAI Quanhou¹

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] This paper aimed to explore the dynamic change of water use and the adaptation mechanism of *Itea yunnanensis* to microhabitat, to provide the theoretical basis for ecological environment reconstruction in karst region by analyzing the relationship between sap flow velocity and soil water content. [Methods] Thermal dissipation probe(TDP) was used to measure the sap flow dynamics of *Itea yunnanensis* at two microhabitats of non-stony soil surface and stony gully in karst region from July 26 to August 1, 2009. At the same time, soil water content was measured. [Results] Diurnal variation of sap flow displayed an irregular peaked curve, the peak velocity of sap flow occurred in daylight, the peak base of sap flow velocity was observed at night. The soil water content in the same depth gradually decreased with rate along time. The sap flow velocity of *Itea yunnanensis* and the soil water content had insignificantly positive correlation. [Conclusion] Though there were different sap flow velocity of *Itea yunnanensis* at the two microhabitats of non-stony soil surface and stony gully in karst region, it showed similar timeline responses under the two habitats. There was no obvious relationship between sap flow velocity and soil water content.

Keywords: karst region; microhabitat; *Itea yunnanensis*; sap flow; soil water content

植物与环境的协同演变过程中, 环境的空间异质性尺度的改变, 涉及到植物的可摄取资源和生长的变化, 各树种的发生、生长和死亡过程, 对异质性的环境有不同的反应, 为此研究植物对不同小生境的响应具有重要意义。以各类碳酸岩发育形成的典型喀斯特

地貌生境类型多样, 在不大的空间范围内以土面、石沟、石缝、石台等各种不同的小生境类型^[1-3]组成构造了喀斯特区生境异质性高、复杂等特点。喀斯特区由于不合理的人类活动, 加上脆弱的生态地质背景, 导致森林退化严重, 土地生产力退化, 促进了喀斯特石

收稿日期: 2014-03-19

修回日期: 2014-04-04

资助项目: 国家科技支撑计划项目“高原湿地退化生态系统植被恢复技术研究及示范”(2011BAC02B0203-02), “西南喀斯特森林多目标经营技术与效益评价”(2012BAD22B010402); 贵州省重大专项项目(黔科合 JZ 字(2014)2002); 贵州省社发攻关项目(黔科合 SY 字[2013]3165 号); 贵州大学引进人才项目(贵大人基合字(2012)003 号)

第一作者: 杨瑞(1979—), 男(苗族), 贵州省水城县人, 博士, 副教授, 主要从事喀斯特森林生态和森林经营方面的研究。E-mail: yr553017@163.com。

漠化的形成。喀斯特石漠化生态综合治理过程中森林植被恢复与重建作为改善喀斯特区生态环境建设的根本,而土壤水分亏缺是喀斯特区人工造林、植被恢复的主要障碍因子^[4]。植物与水的关系问题是森林培育与经营的一个基本问题,也是改善生态环境的重要问题。因此,开展喀斯特区适生乡土树种需水规律的研究意义重大。

对于树木耗水方法的研究,与传统的测定树木蒸腾量的方法如剪枝称重法、七孔计法、蒸渗仪法等相比均受到不同程度的限制,而利用热技术原理可以对树木活体的树干液流进行自动连续的监测,一般不会破坏植被的正常生理活动,且野外操作方便,在我国使用热技术对林木活体蒸腾耗水是一种有效的方法,先后有学者应用热扩散茎流计对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、胡杨(*Populus euphratica*)、红松(*Pinus koraiensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)^[5-10]等树种进行了研究,分析了树木耗水的变化规律,但由于区域分异的特点,决定了区域植物生长的自然环境基础,喀斯特区特殊的生境条件,其上生长的植物,生长发育过程中的蒸腾耗水变化报道较少。因此,本研究选择贵州喀斯特山区的常见适生乡土树种云南鼠刺(*Itea yunnanensis*)为研究对象,对树干液流及生长生境的土壤水分含量进行测定,分析云南鼠刺在喀斯特区的耗水与生境中土壤水分变化规律,旨在对该区植被恢复、生态环境的改善和促进喀斯特区森林群落的形成提供依据。

1 研究区概况

研究区位于黔中区修文县的龙场镇沙溪村,乌江支流的猫跳河右岸。地理位置为东经 106°36′,北纬 26°51′,平均海拔 1 100~1 500 m,出露岩石以白云质灰岩为主。具典型的中亚热带高原湿润季风气候,年平均温 13.6 °C,≥10 °C 积温 4 097.4 °C,年降雨量 1 235 mm,集中分布在 4—9 月;年均相对湿度 83%;全年日照时数 1 359.4 h,日照百分率 31%。土壤为黄色石灰土,土层厚 15~24 cm,分布不连续,石砾含量高,岩石裸露率约 55%。现存植被由于受到人为因素的干扰,主要通过人工造林、天然更新等方式形成了次生灌乔林群落,群落内物种组成复杂,云南鼠刺依靠其较强的天然更新能力,分布于这些典型的喀斯特山地森林中。

2 调查研究方法

在喀斯特山地森林中,选择生长在石沟和土面两种不同小生境上,且林木生长状况基本相同的云南鼠

刺进行测定(表 1)。树干液流采用美国 Dymax 公司生产的 TDP 热扩散液流探针进行测定,将 TDP 统一安装在各样木树干上(距地面高度 10 cm 处)的北向。首先在探针安装处用小刀除去样木的粗皮,然后根据仪器安装方法,沿树干纵向垂直钻取直径 1.5 mm 的小孔,插入 TDP-30 探针,用固体胶将探针与树体之间的空隙涂抹封好,用胶带纸将探针尾部所连的电线小心固定在树干上,并与仪器相连接,然后用锡箔护罩将探头所在的树干部分包裹起来。仪器安装完以后进行供电,用笔记本电脑与 CR1000 数据采集器连接,设置数据采集程序测定树干液流,每小时记录 1 次。树干液流速率采用 Grainer 树干液流计算公式^[11]为:

$$V_s = 0.0019K^{1.231} \times 3600$$

式中: V_s ——树干液流速率(cm/h)。

$$K = (dT_m - dT) / dT$$

式中: dT_m ——记录的最大温差(°C); dT ——瞬时温差值(°C)。

表 1 云南鼠刺样木基本情况

样木编号	生境	地径/cm	树高/m	冠幅/m ²	活枝下高/m
I	石沟	9.3	4.80	1.40×2.20	1.55
II	土面	9.5	5.80	1.70×2.10	1.6

土壤体积含水量采用 ECH₂O 进行测定,ECH₂O 传感器是美国 Decagon 公司研制的土壤水分传感器。分别在被测定样木生长的石沟和土面两种小生境内,挖开土壤剖面,在不破坏土壤结构的情况下,分别测定不同土层的水分变化,把插针横向插入,不同探头测定的土壤深度分别为 5, 10, 15, 20 cm。仪器每两小时自动读数 1 次,每天的数据及时进行采集,连续监测数日。7 月 26 日早晨把仪器安装完毕后,从 7 月 26 日开始进行测定,一直观测到 8 月 1 日,因 7 月 26 日下午到晚上持续下大雨,其它连续 6 d 都为晴天,本研究采用 7 月 27 日至 7 月 31 日连续 5 个晴天的数据进行分析。

3 结果与分析

3.1 树干液流日变化

云南鼠刺在石沟和土面两种小生境中的树干液流速率测定结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,在两种不同生境中树干液流日变化呈现出非规则峰形曲线,除了 7 月 27 日的液流速率峰值有较大波动外,从 7 月 28 日至 7 月 31 日 4 d 的最大液流速率峰值均出

现在每天的中午。总的来看,两种生境中每天液流速度的最大值均出现在白天,最小值均出现在夜间。

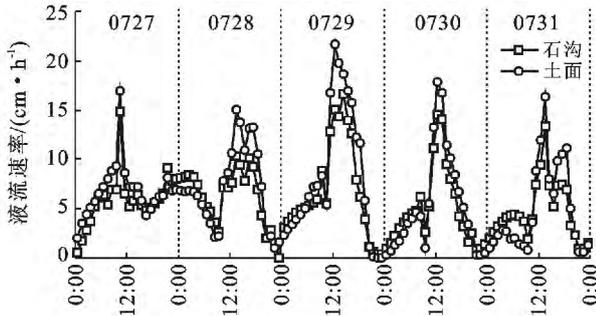


图 1 云南鼠刺在不同小生境中树干液流日变化

生长在石沟小生境的云南鼠刺液流速率与生长在土面小生境的云南鼠刺液流速率呈线性关系 ($R^2 = 0.8989, p < 0.01$), 线性方程说明生长在两种生境上的云南鼠刺液流速率变化成正相关, 即石沟和土面两种小生境的液流速率随着时间的变化同时增大或减小。

土面生境树干液流速率值的增大或减小有 89.89% 可采用石沟生境的液流速率与土面生境液流速率之间的线性关系来解释, 两种生境上树干液流速率之间的线性相关性极显著 ($p < 0.01$)。

在连续几个晴天条件下, 表达云南鼠刺在两种不同生境中的树干液流速率曲线特征指标值详见表 2。对于石沟生境, 树干液流速率最小值先由 0.52 cm/h 减小到 0, 再逐渐增加到 0.88 cm/h, 最小值出现的时间在 7 月 27 日为 0:00, 7 月 28 日到 7 月 30 日每天出现最小值的时间逐渐提前, 7 月 31 日出现最小值的时间与 7 月 30 日相同; 液流速率最大值的变化先由 14.82 cm/h 减小到 10.34 cm/h, 又上升到 16.67 cm/h, 后逐渐下降到 13.32 cm/h, 每天最大液流速率出现在 10:00—14:00 之间; 平均液流速率的变化是从 5.59 cm/h 逐渐上升到 6.79 cm/h, 再下降到 4.65 cm/h, 变异系数的变化也是从 45.22% 上升到 81.17%, 再下降到 63.82%。对于土面生境, 树干液流速率最小值先由 2.00 cm/h, 减小到 0, 再逐渐增加到 0.57 cm/h, 最小值出现的时间在 7 月 27 日 0:00, 7 月 28 到 7 月 31 日每天出现的时间都是 22:00; 液流速率最大值的变化是先由 16.95 cm/h 减小到 15.05 cm/h, 又上升到 21.71 cm/h, 后逐渐下降到 16.33 cm/h, 每天最大液流速率出现在 10:00—13:00 之间; 平均液流速率的变化是从 7 月 27 日的 6.80 cm/h 逐渐上升, 到 7 月 29 日达 8.21 cm/h, 再逐渐下降到 4.77 cm/h, 变异系数的变化也是从 40.84% 上升到 98.88%, 再下降到 94.13%。

表 2 不同生境云南鼠刺树干液流日变化动态

生境	观测日期	最小值/ ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)	最小值 时刻	最大值/ ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)	最大值 时刻	平均液流速率/ ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)	标准差	变异 系数/%
石沟	0727	0.52	0:00	14.82	10:00	5.95	2.69	45.22
	0728	0.00	23:00	10.34	13:00	6.21	2.90	46.70
	0729	0.43	22:00	16.67	14:00	6.79	4.93	72.49
	0730	0.83	21:00	14.58	12:00	4.89	3.97	81.17
	0731	0.88	21:00	13.32	13:00	4.65	2.97	63.82
土面	0727	2.00	0:00	16.95	10:00	6.80	2.78	40.84
	0728	1.01	22:00	15.05	13:00	7.04	4.24	60.19
	0729	0.00	22:00	21.71	12:00	8.21	6.80	82.85
	0730	0.26	22:00	17.83	12:00	5.24	5.19	98.88
	0731	0.57	22:00	16.33	13:00	4.77	4.49	94.13

3.2 土壤水分动态

植物根系分布于土壤中, 土壤含水率的变化, 对植物的生长发育具有决定性作用, 当土壤含水率过低, 不能满足植物根系在土壤中吸收水分的需要时, 可能造成植物的死亡。在喀斯特区, 由于岩石的阻隔, 导致了土壤分布不连续, 形成了不同的土壤单元, 在不同土壤单元中的水分不连续性, 是喀斯特区土壤水分分布的特点。土面生境中不同深度土壤体积含水量变化如图 2 所示, 刚降雨后的 7 月 27 日, 土壤深

度 5, 10, 15, 20 cm, 土壤体积含水量分别为 45.35%, 46.04%, 49.00%, 47.29%; 从 7 月 28 日到 7 月 31 日, 随着时间的推移, 同一深度的土壤体积含水量都在逐渐减小, 土壤深度 5 cm 处土壤体积含水量由 45.35% 逐渐下降到 41.30%, 土壤深度 10 cm 处土壤体积含水量由 46.04% 逐渐下降到 40.00%, 土壤深度 15 cm 处土壤体积含水量由 49.00% 逐渐下降到 43.23%, 土壤深度 20 m 处土壤体积含水量由 47.29% 逐渐下降到 40.51%, 不同深度土壤体积含

水量从 7 月 27 日到 7 月 31 日的变化中,5 cm 处降低了 4.05%,10 cm 处降低了 6.04%,15 cm 处降低了 5.77%,20 cm 处降低了 6.78%,4 个土层深度中 20 cm 处土壤体积含水量降低最快,5 cm 处土壤体积含水量降低最慢。石沟生境中不同深度土壤体积含水量变化如图 3 所示,刚降雨后的 7 月 27 日,土壤深度 5,10,15,20 cm,土壤体积含水量分别为 39.36%,45.01%,41.24%,49.53%,到了 7 月 31 日,从土壤深度 5 cm 到 20 cm,土壤体积含水量变化后分别为 32.55%,42.55%,40.89%,46.97%,从 7 月 27 日到 7 月 31 日,土壤深度 5 cm 处的土壤体积含水量由 39.36%逐渐降低到 32.55%,土壤深度 10 cm 处的土壤体积含水量由 45.01%逐渐降低到 42.55%,土壤深度 15 cm 和 20 cm 处的土壤体积含水量增降关系不明显,4 种不同深度土壤体积含水量从 7 月 27 日到 7 月 31 日的变化比较中,5 cm 处降低了 6.81%,10 cm 处降低了 2.46%,15 cm 处降低了 0.35%,20 cm 处降低了 2.56%,4 个土层深度中 5 cm 处土壤体积含水量降低最快,15 cm 处土壤体积含水量降低最慢。

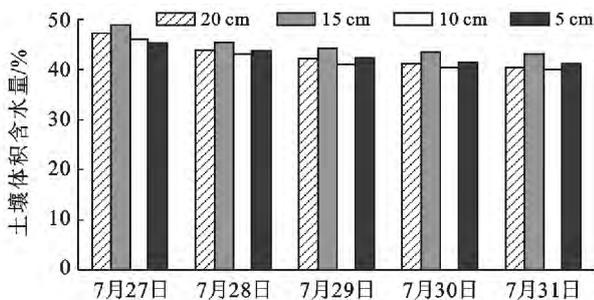


图 2 土面小生境不同深度土壤体积含水量的变化

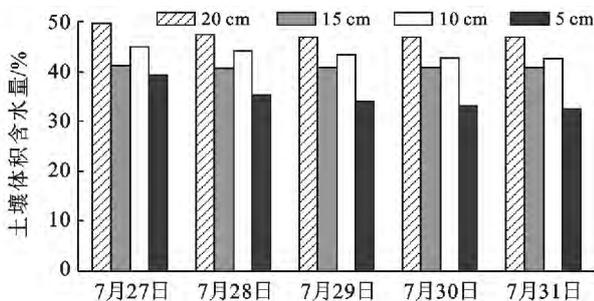


图 3 石沟小生境不同深度土壤体积含水量的变化

3.3 不同土层水分与云南鼠刺树干液流活动的关系

土壤水分在植被树干液流过程中是植物根系吸收的水源,和植物蒸腾耗水关系紧密。通过对连续几个晴天条件下 5,10,15 和 20 cm 土层深度的土壤体积含水量和不同生境云南鼠刺的每天平均液流速率的相关关系进行分析(表 3),土面小生境,5,10,15 和

20 cm 土层深度的树干液流速率与土壤体积含水量的相关系数分别为 0.53,0.41,0.41 和 0.47,相关系数均大于 0,说明土面小生境土壤含水量与云南鼠刺树干液流速率存在着正相关关系,但相关关系不显著。石沟小生境,从不同土壤深度的 5—20 cm,树干液流速率与土壤体积含水量的相关系数分别为 0.42,0.58,0.06 和 0.21,相关系数也都大于 0,石沟小生境土壤含水量与云南鼠刺树干液流速率同样存在着不显著的正相关关系。

表 3 土壤体积含水量与树干液流速率的相关关系

土层深度/cm	20	15	10	5
土面	0.47	0.41	0.41	0.53
石沟	0.21	0.06	0.58	0.42

4 结论与讨论

(1) 云南鼠刺在石沟和土面两种不同生境中的树干液流速率日变化呈现出不规则峰形曲线;树干液流速率最大值均在中午前后出现,最小值均出现在夜间;不同生境中,土壤体积含水量随着时间的推移均逐渐降低,但降低速率不一样,其变化与土壤深度之间的关系未达显著水平,这种土壤含水量的变化与喀斯特区特殊的微地貌类型有很大的关系,在降雨后,土层的深度,岩石的积水及温度等都会导致其不同生境中土壤含水量的不同。两种生境中的土壤体积含水量与云南鼠刺树干液流速率存在着不显著的正相关关系。

(2) 水分是影响植物发育和分布的主要环境因素之一。树干液流即液体在树体内部的流动,它的整个过程是土壤液态水进入根系后,通过茎输导组织向上运送到达冠层,经由叶片气孔蒸腾(包括角质层及皮孔蒸腾)转化为气态水扩散到大气中去,树木对任何水分利用的主要动力是植物的蒸腾耗水,蒸腾是液流发生的主要动力,液流为蒸腾提供所需的水分,因而可以用树干液流量表征蒸腾量^[12]。影响树木液流变化的因子可分为 3 类:生物学结构因素、土壤供水水平和气象因素^[13]。如树木边材导管(管胞)的形态和分布特征因树种而异,具有较为稳定的融合特性,并在很大程度上决定了边材导水能力和水分输导调控能力,是决定树木耗水性的重要解剖学特征^[14];土壤水是植物蒸腾的水源,和植物蒸腾耗水关系密切^[15];气象因子对树干液流的影响是瞬时的、变动的,树木耗水作为一个开放的系统,外界气象因子的波动会在树体内部的液流上得到反映^[16]。研究发现两种生境中的土壤含水量与云南鼠刺树干液流速率

存在着不显著的正相关关系,这可能是由于土壤含水量未对林木需水产生干旱胁迫造成的,这在一定程度上说明喀斯特区土壤含水量对林木树干液流的影响应该有一个阈值,而不同树种存在的阈值大小和差异有待进一步研究。此外,开展类似研究应针对不同物种(常绿或落叶)选择不同的测定时间;对林木树干液流相关研究在常态地貌已取得许多卓有成效的研究成果^[5,7-8],有关喀斯特区不同生境中林木树干液流研究由于科研条件和其它因素的限制,并未取得太多的研究成果^[17],因此,应对喀斯特区适生乡土树种的树干液流相关研究给予更多的关注和重视,相关研究结果将为解决喀斯特区困难立地造林树种的选择提供科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究[M]. 贵州 贵阳:贵州科技出版社[J]. 1993.
- [2] 喀斯特森林生态研究[M]. 贵州 贵阳:贵州科技出版社, 2003.
- [3] 杨瑞,喻理飞,安明态. 喀斯特区小生境特征现状分析:以茂兰自然保护区为例[J]. 贵州农业科学,2009,36(6): 168-169.
- [4] 朱守谦,祝小科. 贵州喀斯特区植被恢复的理论和实践[J]. 贵州环保科技,2000,6(1):31-35.
- [5] 樊敏,马履一,王瑞辉. 刺槐春夏季树干液流变化规律[J]. 林业科学,2008,44(1):41-45.
- [6] 聂立水,李吉跃. 应用 TDP 技术研究油松树干液流流速[J]. 北京林业大学学报,2004,26(6):49-56.
- [7] 徐军亮,马履一. 土壤温度对油松(*Pinustabulaeformis*) 树干液流活动的影响[J]. 生态学报,2009,28(12):6107-6112.
- [8] 张小由,康尔泗,司建华,等. 胡杨蒸腾耗水的单木测定与林分转换研究[J]. 林业科学,2006,42(7):28-32.
- [9] 孙龙,王传宽,杨国亭,等. 应用热扩散技术对红松人工林树干液流通量的研究[J]. 林业科学,2008,43(11):8-14.
- [10] 孙慧珍,周晓峰,赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究[J]. 生态学报,2002,22(9):1387-1391.
- [11] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements[J]. Tree Physiology, 1987, 3(4): 309-320.
- [12] 张雷,孙鹏森,刘世荣. 树干液流对环境变化响应研究进展[J]. 生态学报,2009,29(10):5600-5610.
- [13] 陈晓燕,谷忠厚,田有亮,等. 大青山油松人工林树干液流特征及其与主要气象因子的关系[J]. 水土保持研究,2009,16(6):97-101.
- [14] 奚如春,马履一,王瑞辉,等. 林木耗水调控机理研究进展[J]. 生态学杂志,2006,25(6):692-697.
- [15] 张友焱,周泽福,党宏忠,等. 利用 TDP 茎流计研究沙地樟子松的树干液流[J]. 水土保持研究,2006,13(4): 78-80.
- [16] 胡伟,杜峰,徐学选,等. 黄土丘陵区刺槐树干液流动态分析[J]. 应用生态学报,2010(6):1367-1373.
- [17] 杨瑞,肖卫平,喻理飞. 喀斯特区不同生境中云南鼠刺树干液流研究[J]. 中国水土保持科学,2011,9(4):94-97.
- [22] Zheng Shuxia, Ren Haiyan, Li Wenhui, et al. Scale-dependent effects of grazing on plant C : N : P stoichiometry and linkages to ecosystem functioning in the inner mongolia grassland[J]. PLoS one, 2012, 7 (12): e51750.
- [23] Schlüter S, Weller U, Vogel H J. Soil-structure development including seasonal dynamics in a long-term fertilization experiment[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2011,174(3):395-403.
- [24] Jangid K, Williams M A, Franzluebbers A J, et al. Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011,43(10):2184-2193.
- [25] Bochet E, García-Fayos P. Combined effect of soil erosion and climate change induces abrupt changes in soil and vegetation properties in semiarid Mediterranean shrublands[C] // EGU General Assembly Conference Abstracts, 2013.
- [26] Brockett B F T, Prescott C E, Grayston S J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012,44(1):9-20.
- [27] Enwall K, Throbäck I N, Stenberg M, et al. Soil resources influence spatial patterns of denitrifying communities at scales compatible with land management [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(7):2243-2250.
- [28] Chapin III F S, Chapin M C, Matson P A, et al. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. Berlin: Springer, 2011.
- [29] Hurrell J W, Deser C. North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation [J]. Journal of Marine Systems, 2010,79(3):231-244.
- [30] Dame R F. Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach[M]. Boca Raton: CRC Press, 2011.

(上接第 88 页)