

贡嘎山森林生态系统降水分配的水化学特征研究^{*}

孙向阳^{1,2}, 王根绪¹

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要:以贡嘎山海拔 2 900 ~ 3 100 m 的暗针叶林生态系统为研究对象, 分析了大气降水在穿透雨、树干径流、苔藓、土壤和地下水各个过程中干湿季和年际间离子含量变化特点。结果表明: (1) 树干径流和穿透雨 pH 值小于降水, 苔藓层可以有效的吸附酸性物质, 土壤层酸性较强, 森林区河流可以有效的缓解酸性物质; (2) 森林区阴离子含量最高的是 HCO_3^- , 阳离子含量最高的是 Ca^{2+} , 离子含量在干湿季的大小顺序不同。降水经过林冠后, 除 Na^+ 外, 离子含量值均呈现出明显的增大趋势, 苔藓层对于 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 有较强的吸附能力, 土壤对于 HCO_3^- 的吸附能力较强; (3) 苔藓、土壤和森林区河流的 N / P 值均大于 16, 地表植被的限制因子是 P; N、P 在大气降水、穿透雨、树干径流、苔藓、土壤、地表水中的变化曲线相似, 苔藓层 N、P 含量较高。

关键词:山地森林; 降水分配; 水化学; 变化特征

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0120-05

The Hydro-chemical Characteristics Study of Forest Ecosystem Precipitation Distribution in Gongga Mountain

SUN Xiang-yang^{1,2}, WANG Gen-xu¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. Graduate College of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Within the dark coniferous with elevation from 2 900 ~ 3 100 m in Gongga Mountain, the variation characteristics of pH, ion content, TN, TP in precipitation, through-fall, stem-flow, swamp, soil and runoff are analyzed. The results indicated that: (1) because through-fall and stem-flow absorb amount of acid material, pH value increased; the swamp can absorb and deposit acid material, which makes water quality be better; when the water flow through soil, its pH value increased; surface water can dilute acid material; (2) the ion content of HCO_3^- is the highest in negative ion, Ca^{2+} is the highest in positive ion, the content of total ions in dry and wet season is different. All the ion content is higher when drop through canopy except Na^+ , swamp have stronger absorb ability on K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , while soil can absorb more HCO_3^- , swamp and soil can purify water; (3) the ratio of N / P of swamp, soil and surface runoff in Gongga Mountain is more than 16, which indicated that the limited factor of vegetation is P; the variation curve of N, P in precipitation, through-fall, stem-flow, surface runoff, swamp, soil is similar, swamp have the highest N, P content. So, swamp and soil can leach and absorb lots of ion, N, P, which have the function of purifying water.

Key words: mountain forest; precipitation distribution; hydro-chemistry; variation characteristic

森林区大气降水经过林冠和树干到达地表, 一部分通过地表径流汇入河流, 一部分通过苔藓和土壤层下渗, 形成壤中流和地下径流^[1]。在这个过程中, 森林、苔藓和土壤层对大气降水的水质产生重要的影响^[3-4, 6], 由于各过程植物和土壤对于离子和营

养元素的淋溶和吸收的化学和物理机制不同, 导致各过程中水质的变化表现出强烈的差异。降水的冲刷和淋溶作用, 能够将树冠和树干吸附的大气沉降物质带入苔藓和土壤层^[4], 通过苔藓和土壤层的淋溶作用, 又可以进一步的改变营养元素的含量; 而吸

^{*} 收稿日期: 2009-05-19

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40730634)

作者简介: 孙向阳 (1985 -) 男, 吉林榆树人, 硕士研究生, 主要从事生态水文学研究。E-mail: sunxiangyang03@126.com

通信作者: 王根绪 (1965 -) 男, 博士, 研究员, 主要从事事旱区土地覆被与环境变化以及水文学与水资源方面的研究。E-mail: gxwang@lzb.ac.cn

附和过滤作用可以交换和吸收营养元素,在淋溶、附和过滤的共同作用下,最终导致大气降水在水循环各过程中水化学成分的差异。

以贡嘎山东坡暗针叶林生态系统为研究对象,分析了大气降水经过林冠、树干、苔藓、土壤层到达地表水各过程中的水化学的干湿季和年际变化,旨在探讨贡嘎山森林区暗针叶林水化学机理和变化特征,为区域水资源利用和生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

贡嘎山位于青藏高原东南缘,介于 $101^{\circ}30' - 102^{\circ}15' E$ 和 $29^{\circ}20' - 30^{\circ}20' N$,主峰海拔 7 556 m。在地质构造上,处于青藏(微)斑块与扬子(微)斑块交接带,地层复杂,东、西坡差异较大,东坡为二叠纪地层,西坡为三叠纪地层。属于我国东部亚热带温暖湿润季风区与青藏高原东部高原温带半湿润区的过渡带。区内山体高大,大雪山南北延伸 200 km,阻碍了大气纬向运动,造成贡嘎山坡向气象要素分布差异较大。

贡嘎山东坡为东南季风的迎风坡,潮湿多雨,冬暖夏湿,属亚热带山地湿润型季风气候,多年平均降水量为 1 947.0 mm,降水量分布呈现出明显干、湿季节变化特征。根据贡嘎山干湿季划分标准^[1]:5 - 10 月为贡嘎山的相对湿季,降水量占全年降水量 79.9%,11 月至次年 4 月为贡嘎山的相对干季。区域土壤类型为山地暗棕壤和山地灰化土,森林植被以冷杉(*Abies fabri*)、麦吊杉(*Picea brachytyla*)和云杉(*Picea likiangensis*)为主,杜鹃(*Rhododendron*),箭竹(*Fargesia nitida*)常见,苔藓较多。

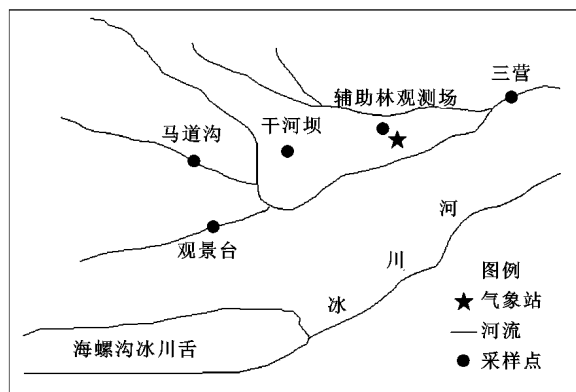


图 1 采样点位置

2 研究方法

2.1 样品采集

研究样地及采样点选择在贡嘎山东坡海拔 2 900 ~ 3 000 m 的森林区小流域(图 1)。其中地表

水采样点位于马道沟、观景台、干河坝、三营,大气降水采样点位于气象站,穿透雨、树干径流、土壤、苔藓采样点为辅助林观测场采样点。

2.2 样品测定

测定项目包括 pH、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 HCO_3^{-} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、TN、TP。pH 值的测定方法为玻璃电极法,钙、镁离子的测定方法为原子吸收法,钾、钠离子的测定方法为火焰光度法,重碳酸根离子的测定方法为酸碱滴定法,氯化物的测定方法为硝酸银滴定法,硫酸根离子的测定方法为比浊法,总氮的测定方法为紫外分光光度法,总磷的测定方法为分光光度法。

2.3 数据处理

采用 Excel2003 对数据进行整理、统计分析。

3 结果与讨论

3.1 酸碱度分析

酸碱度指标是衡量水质的一个重要指标^[12]。根据 2005 年 7 月和 2006 年 7 月酸碱度数据,分析得出贡嘎山东坡湿季酸碱度年际变化情况如图 2。

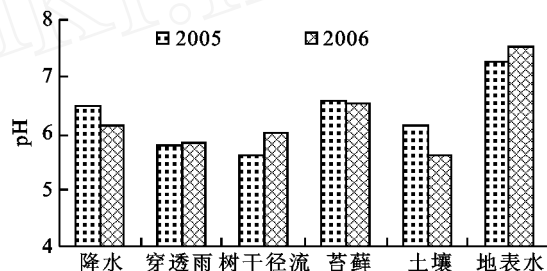


图 2 各样品中 pH 变化

从图 2 可以看出,贡嘎山东坡森林区大气降水在经过林冠和树干后,降水的酸性没有得到缓冲,而是加强了,这与针叶林表面吸附了大量的酸性物质有关,表明酸性物质较易吸附于针叶林的林冠和树干表面,还由于贡嘎山针叶林的树干径流量小^[1],树干分泌了一部分的有机酸和无机酸的缘故,这与福建杉木林^[4]和会同森林生态站的第 2 代杉木幼龄林^[5]研究结果相似。苔藓层 pH 值则高于大气降水,表明苔藓层对酸性有一定的缓冲能力,可以吸附降水中的酸性物质。当降水经过苔藓层到达土壤后,pH 值又表现出减小的变化趋势,相对于苔藓层来说,酸性加强了,原因是有机物含量的过多导致土壤的自然酸化作用^[2,15]。地表水 pH 值在干湿季均较大。

各采样点的地表径流 pH 值干、湿季变化特征如图 3 所示,从图中可以看出,地表水的 pH 值均在 7.0 以上,明显高于其他过程中的 pH 值,谭芳林^[3]在锐齿林的研究结果表明地表径流水的 pH 较大,

陈步峰等^[6]对尖峰岭热带林的研究结果也表明,pH 值大于 7 的区域占 81 %。说明地表水对于酸性物质具有缓冲作用。

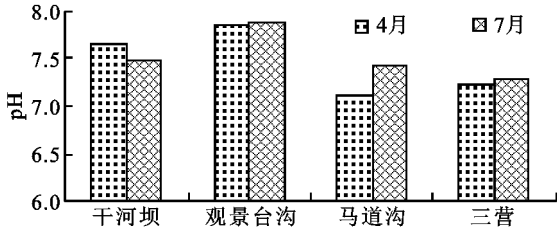


图 3 2006 年地表水 4 月、7 月 pH 变化特征

3.2 离子浓度分析

本区由于 CO_3^{2-} 测定值为痕量,因此不讨论其变化特征。对研究区内大气降水、穿透雨、树干径流、苔藓、地表水的离子含量进行加权平均,得到各离子含量平均值如图 4 所示。

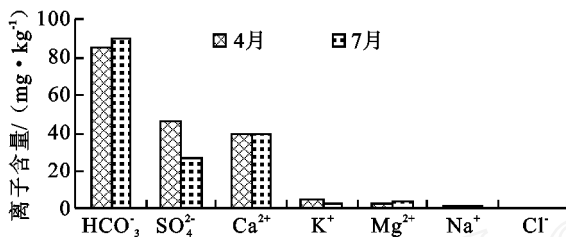


图 4 2006 年 4 月、7 月离子含量的平均值

4 月离子含量的大小顺序为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^-$, 7 月离子含量的大小顺序为 $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^-$ 。从图 4 可以看出, HCO_3^- 、 Mg^{2+} 的含量干季小于湿季,而其他几种离子含量都是表现为干季大于湿季。但是每种离子在森林水循环的各个过程中都有各自的变化特点和规律。

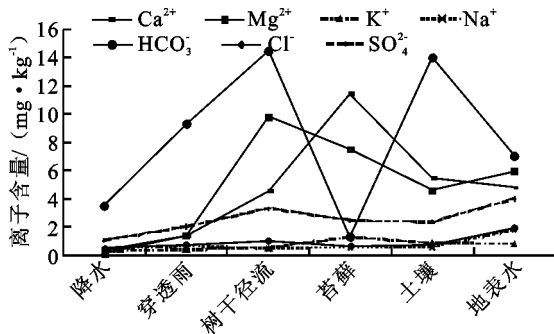


图 5 各样品中离子含量

从图 5 的结果来看,除 Na^+ 外,各种离子在经过林冠后,离子含量都呈现出增大趋势,但是增幅并不相同,其中林冠穿透雨的离子含量增加倍数大小

排序为: $\text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^-$, 树干径流的离子含量增加倍数大小顺序为: $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+$, 穿透雨和树干径流中 Mg^{2+} 的淋溶倍数分别为 27 和 193,增幅最小的 Na^+ 和 Cl^- 增幅倍数小于 1.5。另外 HCO_3^- 由于基数较大,因此绝对淋溶量最高,分别达到 5.4 和 11.1 mg/kg。林冠层可以截蓄大量的大气沉降物质,树干在生长过程中也分泌大量的代谢产物,这些物质受到大气降水的冲刷和淋溶作用,因此穿透雨和树干径流的离子含量显著增加。

穿透雨到达苔藓层后, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 表现出明显的增加趋势, Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 没有明显的变化, HCO_3^- 表现出减小的趋势。由上面的分析得出,降水经过苔藓层后, pH 值明显增大,可能是因为中和大量 HCO_3^- 的缘故,而苔藓层对于 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的吸附性则较弱。

相对于穿透雨来说,土壤中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 HCO_3^- 含量增大, Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的变化则较小,除 HCO_3^- 外,变化趋势与苔藓层基本相同,但是增幅没有苔藓层大,说明苔藓层离子的吸附能力较强。满秀玲等^[11]研究表明阳离子被土壤吸附能力大小顺序为 $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, 贡嘎山针叶林的吸附能力排序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, Na^+ 则表现为负增长,这可能是因为土壤中吸附了大量的 HCO_3^- ,而增加了更多的可溶性的 Ca^{2+} 。 Na^+ 从降水到达土壤的过程中,变化一直不大,可能是因为林冠、树皮、苔藓、土壤对其吸附能力都较小,因此并不能从 Na^+ 的变化来揭示林冠及苔藓、土壤层对于离子的淋洗作用。

地表径流中的各种离子含量较降雨都有显著的增加趋势,但是与土壤中的离子含量相比较, Ca^{2+} 和 K^+ 有微弱的减小趋势, HCO_3^- 减小的幅度最大, Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 都有增加的趋势。对比观景台沟地表与地下水的离子含量的差异,发现除 HCO_3^- 外,其余离子含量都表现出增加的趋势,其中地下水中 K^+ 含量是地表水的 7.4 倍,其他离子含量分别为 1.3 ~ 1.9 倍。根据吕玉香等^[13]的研究,森林区河沟枯季以地下水补给为主,湿季以降水补给为主,因此地下水和降水都对地表水质的变化有一定的影响。

表 1 2006 年地表径流离子含量值

月份	mg/kg						
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
4 月	37.10	2.77	3.75	2.18	53.10	0.97	78.21
7 月	33.04	2.86	2.52	1.73	54.07	0.72	45.55

表 1 所示为地表径流离子含量的季节变化动态,其中 K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 的相对变化幅度较大,而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 的相对变化幅度较小。4 月离子含量的大小排序为, $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > Cl^-$; 7 月离子含量的大小排序为, $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Cl^-$ 。

石福臣等^[17]在小兴安岭凉水自然保护区的研究结果,不同月份 3 种森林群落溪流水的阳离子含量都表现为 $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$,主要阴离

子含量均为 $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$,这与贡嘎山森林河流的研究结果差别较大;据刘世海等^[16]在北京密云水库集水区的研究结果表明,观测时段内元素含量的大小顺序依次为 $Ca > K > Mg > Na$,这与贡嘎山东坡海螺沟流域 4 月的值相同。

3.3 氮、磷分析

N 素主要来自于大气,降雨中的 N 包括 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N。森林中 N、P 的比值,能够反映生态系统初级生产力的制约因素,当 $N / P < 16$ 时,受 N 限制^[7,10]。

表 2 各采样点 N、P 比值

	降水	穿透雨	树干径流	苔藓	土壤	观景台	马道沟	干河坝	三营
N / P	7.4	10.2	11.6	21	22	23.7	16.8	-	20.3

注: * P 的测定值为 0

表 2 所示为森林区水循环各过程的 N、P 比值,根据 Redfield 的划分方式,降水、穿透雨、树干径流中 N 是生物生长的限制因子;苔藓、土壤、各地表径流采样点 N、P 比值均大于 16,因此 P 是生物生长的限制因子。但是考虑到植物的生长所需水分来自根部从土壤中的吸收,因此,对于贡嘎山森林生态系统来说,其生长的限制因子为 P。

从图 6 可以看出,大气降水经过林冠、苔藓、土壤,直到进入河流的过程中,N、P 的变化曲线相似,都是表现出单峰的变化特点,并且苔藓层的 N、P 含量最高。从苔藓到土壤,再到河流的过程中,N、P 的变化曲线十分相近,而穿透雨和树干径流 N、P 变化曲线则有微弱的差别。降水中的 P 主要来源于大气降尘的溶解^[12],一般降雨中含 P 量很少^[9],鼎湖山大气降水中 P 含量为 0.029 mg/kg,贡嘎山气象场处的降水 P 含量为 0.027 mg/kg。P 在穿透雨、树干径流、苔藓、土壤中的富集倍数分别为大气降水的 1.96,4.81,9.26,2.56 倍,但是地表水的 P 含量仅为大气降水的 0.59。

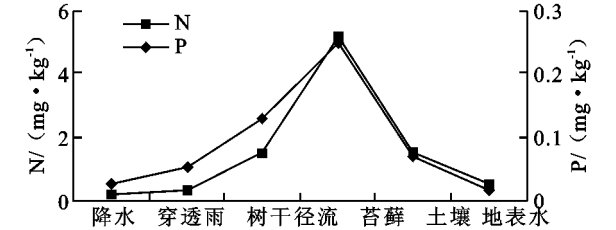


图 6 各样品中 N、P 含量

土壤对 P 的储存能力与有机质含量有关,有机质含量越高,对 P 的吸附能力越强^[14]。峨眉冷杉林由于所处海拔高,气温较低,降水量大,冷湿的气候环境不利于枯枝落叶的分解,故其有机质含量较高,土层由于结构疏松,通气性较好,根系发育,生物活

动强烈,枯枝落叶层分解较快,因此土壤有机质易分解而不易累积^[15]。由于苔藓层中有机质较多,因此 P 的含量较高,而土层中由于有机质分解较快,并且较易被微生物分解利用,因此对 P 的吸附能力较小,造成土壤中 P 的含量降低。

贡嘎山东坡气象场处测得大气降水中 N 浓度为 0.199 mg/kg,低于程伯容等在长白山林区的测定值。N 含量在经过穿透雨和树干径流到达苔藓的过程中,其浓度有了较大程度的增加,但是进入土层后,浓度迅速下降,这与土壤的酸性环境有关,因为酸性环境对 N 硝化具有抑制作用^[12],转化为 NO_3^- -N 的量较少,而 N 的流失主要是通过 NO_3^- 的形式流失,所以就出现了 N 浓度在土壤中较低的现象,据 Boxman^[8] 的研究,N 沉降量增加在促进植物生长的同时,也会导致土壤酸化,这可能也是土壤与氮的一种相互作用。而到达地表水后,浓度进一步降低,可能是河流稀释作用造成的。

4 结论

(1) 贡嘎山山地森林树冠和树干能够增加降水的酸性,说明林冠和树干吸附了大量的酸性物质,也表明贡嘎山高山区可能存在酸沉降现象。苔藓层可以有效的吸附酸性物质。土壤层由于土壤与氮的相互作用,酸性进一步加强。森林区河流可以有效的缓解酸性物质,其 pH 值符合国家关于地面水水质的卫生标准。

(2) 贡嘎山森林生态系统中阴离子含量最高的是 HCO_3^- ,阳离子含量最高的是 Ca^{2+} ,离子含量在干湿季的大小顺序不同。降水经过林冠和树干后,除 Na^+ 外,离子含量值均呈现出明显的增大趋势,苔藓层对于 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 有较强的吸附能力,土

壤对于 HCO_3^- 的吸附能力较强,在整个过程中,除地表水中 Na^+ 含量较高外,大气降水、穿透雨、树干径流、苔藓和土壤中 Na^+ 的变化趋势都很小。

(3)通过对 N/P 比值分析得出,贡嘎山森林生态系统植物生长的限制因子是 P;N、P 在大气降水、穿透雨、树干径流、苔藓、土壤、地表水中的变化曲线很相似,都是表现出单峰的特点,并且苔藓层 N、P 含量最高。

(4)森林生态系统的苔藓层和土壤层能淋溶和吸附大量的营养元素,起到净化水质、涵养水源、促进植物生长的作用。总体上说,贡嘎山森林生态系统对于贡嘎山水生态环境稳定具有积极作用,减少人类活动干扰是实现森林水生态系统环境可持续发展的最有力手段。

参考文献:

- [1] 程根伟,余新晓,赵玉涛.山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M].北京:科学出版社,2004:57-58.
- [2] Warfvinge P, Lofgren S, Lundstrom U. Implications of natural acidification for mitigation strategies in northern Sweden[J]. Water Air Soil Poll, 1995, 2: 499-504.
- [3] 谭芳林,雷瑞德,王志洁.锐齿林生态系统对水质影响的研究[J].福建林业科技,1999,26(2):1-5.
- [4] 樊后保.杉木林截留对降水化学的影响[J].林业科学,2000,36(4):2-8.
- [5] 田大伦,项文化,杨晚华.第2代杉木幼林生态系统水化学特征[J].生态学报,2002,22(6):859-865.
- [6] 陈步峰,林明献,曾庆波,等.尖峰岭热带林集水区一组水质背景值及水质生态效应[J].林业科学研究,1998,11(3):231-236.
- [7] Redfield A C, Ketchum B H, Richard F A. The Influence of Organisms on the Composition of Seawater [M]. New York: Wiley Press, 1963: 26-77.
- [8] Boxman P, Blanck K, Brandrud T E, et al. Vegetation and soil biota response to experimentally - changed nitrogen inputs in coniferous forest ecosystems of the NITREX project[J]. For Ecol Management, 1998, 101(1/3): 65-79.
- [9] 鲁如坤,史陶钧.金华地区降雨中养分含量的初步研究[J].土壤学报,1979,16(3):81-84.
- [10] 牟浦,王庆成, Hershey A E, 等.土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系[J].生态学报,2004,4(7):1486-1492.
- [11] 满秀玲,范金凤,谭晓京,等.森林和沼泽对溪流水化学特征的影响[J].应用生态学报,2006,17(6):992-996.
- [12] 刘菊秀,张德强,周国逸,等.鼎湖山酸沉降背景下主要森林类型水化学特征初步研究[J].应用生态学报,2003,14(8):1223-1228.
- [13] 吕玉香,王根绪.贡嘎山东坡不同流域河川径流特征对比分析[J].山地学报,2008,26(2):196-204.
- [14] 潘继花,何岩,邓伟,等.湿地对水中磷素净化作用的研究进展[J].生态环境,2004,13(1):102-104.
- [15] 王琳,欧阳华,周才平,等.贡嘎山东坡土壤有机质及氮素分布特征[J].地理学报,2004,59(6):1012-1019.
- [16] 刘世海,余新晓,于志民.北京密云水库集水区板栗林水化学元素性质研究[J].北京林业大学学报,2001,23(2):12-15.
- [17] 石福臣,李凤英,蔡体久,等.不同森林群落类型溪流水化学特征的季节动态[J].应用生态学报,2008,19(4):717-722.

(上接第 119 页)

参考文献:

- [1] 胡续礼,杨树江.我国开发建设项目水土流失监测技术进展[J].中国水土保持科学,2007,5(3):122-126.
- [2] 蔺明华.开发建设项目新增水土流失研究[M].郑州:黄河水利出版社,2008:11-13.
- [3] 史东梅.高速公路建设中侵蚀环境及水土流失特征的研究[J].水土保持学报,2006,20(2):5-9.
- [4] 孙虎,唐克丽.城镇建设中人为弃土降雨侵蚀试验研究[J].土壤侵蚀与水保持学报,1998,4(2):29-35.
- [5] 陈宗伟,江玉林,张洪江.青藏高原高速公路建设中弃土场土壤流失量特性:以青海平阿高速公路为例[J].水土保持研究,2006,13(6):4-6.
- [6] 刘建伟,史东梅,马晓刚.弃渣场边坡稳定性特征分析[J].水土保持学报,2007,21(5):192-195.
- [7] 贾志军,王贵平,李俊义,等.前期土壤含水率对坡耕地产流入渗影响的研究[J].中国水土保持,1987(9):25-27.
- [8] 陈洪松,邵明安,王克林.土壤初始含水率对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J].农业工程学报,2006,22(1):44-47.
- [9] 王辉,王全九,邵明安.前期土壤含水量对坡面产流产沙特性影响的模拟试验[J].农业工程学报,2008,24(5):65-68.
- [10] 袁建平,蒋定生,甘淑.影响坡地降雨产流历时的因子分析[J].山地学报,1999,17(3):259-264.
- [11] 张志玲,范昊明,郭成久,等.模拟降雨条件下坡面水流流速与径流输出特征研究[J].水土保持研究,2008,15(6):32-34.