

贡嘎山高山生态系统观测试验和研究进展

王小丹, 朱万泽, 程根伟

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 贡嘎山高山生态系统观测试验站于 1987 年正式建站。近 20 a 来, 开展了水、土、气、生等多方面的长期监测与试验, 并以环境变化下的亚高山森林生态研究为主线, 以生态过程和水文过程为核心, 对贡嘎山及其邻近地区的现代自然生态环境特征、森林生态系统结构与功能、冰冻圈演化与动态和第四纪以来的环境演变等展开了多学科研究, 为推动我国山地科学和森林生态研究发展做出了重要贡献。在对近 20 a 来贡嘎山站的研究成果进行总结的基础上, 提出了今后应重点加强研究的领域。

关键词: 贡嘎山站; 山地环境; 森林生态; 进展

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

我国山地面积占国土面积的 70 %, 而西南山地面积占本地面积的 95 % 以上。青藏高原东部的横断山区, 在地质构造上处于南亚大陆与欧亚大陆镶嵌交接带的东翼, 是我国东部环太平洋带与西部古地中海带间的过渡带。这里地质构造极为复杂, 新构造运动异常强烈, 地貌形态上表现为典型的高山峡谷类型, 山体一般高大挺拔, 高山和极高山分布面积大, 岭谷高差悬殊, 自然生态系统的垂直变异非常明显, 生物区系绚丽多彩, 许多地学、环境科学和生物上的重大问题有待于探索。贡嘎山地区, 无论地貌形态及其过程, 还是山地自然生态系统的多层结构都是横断山地区最具特色和最有代表性的一个地区^[1]。贡嘎山高山生态系统观测试验站(以下简称贡嘎山站)于 1987 年建站。近 20 a 来, 通过贡嘎山地区自然生态环境的本底的深入研究和生物区系全面调查, 极大地丰富了地学和生物学以及环境科学的研究内容。通过以海螺沟为重点的垂直梯度的生物、气候、土壤、水文、以及大气质量的长期观测试验, 为山地生态学、山地气候学、山地土壤学、山地水文学和山地环境科学的深入研究提供了宝贵的基础资料; 通过这些学科资料的分析和综合研究, 为我国

山地学科的发展和创新奠定了坚实的基础。亦为区域性环境动态变化和全球气候变化的国际合作研究提供了重要的科学依据。

1 高山山地生态环境定位观测试验

1987 年建站以来, 贡嘎山站已基本建成了较为完整的高山山地生态环境定位观测试验系统。开展了生态环境要素的长期观测、基本生态过程观测试验、野外实验室和信息系统建设等工作^[2]。

在生态环境要素的长期观测方面, 建立了海拔 1 600 m(农业生态区)、1 900 m(常绿阔叶林带)、3 000 m(暗针叶林带)气象站, 形成梯度气象观测剖面; 建立了海拔 1 500 m(控制海螺沟流域)、2 000 m(控制原始森林和冰雪区径流)、2 850 m(控制冰川区径流)水文站或观测点, 与气象观测、冰川水文观测和森林水文观测相结合, 初步形成高山(海螺沟流域)水文观测网; 并建立了高山大气本底和高山物候观测网。现已获得贡嘎山至大渡河垂直剖面, 不同海拔高度和不同时空尺度下的气象、水文等观测数据。

收稿日期(Received date): 2006 - 07 - 13。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划项目“青藏高原环境变化及其对全球变化的响应与适应对策”资助(批准号: 2005CB422005)[National Basic Research Program of China (Grant No. 2005CB422005)]

作者简介(Biography): 王小丹(1973 -), 男, 四川省西充县人, 博士, 主要从事山地环境与生态研究[Wang Xiaodan(1973 -), male, born in Xichong of Sichuan Province, Ph. D., Specialized in mountain environment and ecology]

在基本生态过程观测试验方面,设置了不同类型的长期观测样地,主要包括:常绿阔叶林、常绿阔叶与落叶阔叶混交林、针阔叶混交林固定标准样地;暗针叶林森林生态综合观测场(标准样地、森林水文观测试验场、群落演替观测场和小气候梯度观测等);还设置了珍稀濒危植物和经济植物更新试验场。

在海拔1 600 m的基地站区,还建立了设备较齐全、精度较高的多功能分析实验室,能及时完成水文、土壤、大气和生物要素中所需的成分与元素分析。此外,对近20 a的海量数据进行数据库分类管理,保证了监测、试验数据的完整性、可比性、可靠性以及可用性。为国内、国际上的一些重大生态研究计划提供了基础数据,也成为国际高山生态或山地科学数据管理活动的组成部分。

2 研究进展

2.1 研究概况

建站以来,本站遵循创新、开放、流动和联合的宗旨,以高山山地自然垂直带和海洋性冰川为主要研究对象,以高山山地多层自然生态系统和人类活动对生态环境的影响为主要研究内容,从环境与生物的整体出发,对贡嘎山及其邻近地区的现代自然生态环境特征、森林生态系统结构与功能、冰冻圈演化与动态和第四纪以来的环境演变等展开了多学科综合调查、观测与研究,研究内容涉及8个方面(图1)^[3]:1. 亚热带高山地自然垂直带的形成、演变及其与区域环境的关系;2. 高山自然生态系统的功能、生产力与调控原理;3. 高山生态系统的生物地球化学循环、大气环境动态及其与全球变化的关系;4. 海洋性季风区山地冰冻圈动态变化其与高山生态系统演替和全球变化的关系;5. 青藏高原隆起与新构造运动的环境效应及其在全球变化中的作用;6. 高山山地生物多样性与物种保护;7. 人类活动对山地自然生态系统的影响与生态建设试验示范;8. 高山山地资源的开发与环境保护。这些研究内容涉及多学科并由多家单位合作完成,受作者水平和篇幅所限,要对贡嘎山站的全部成果作出全面、准确地归纳有一定的困难。本文试图对其中有代表性的主要思想、观点和研究结论进行概略分析。

2.2 气候变化

青藏高原的隆升有整体性、差异性和阶段性特

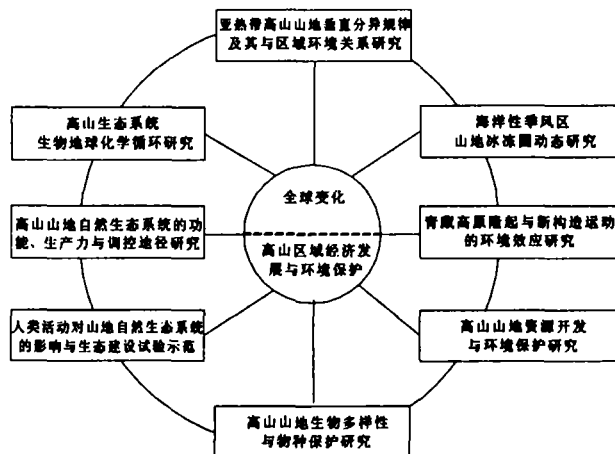


图1 贡嘎山高山生态系统观测试验站研究内容

Fig. 1 The research contents of Mt. Gongga station

点,因而高原隆升对贡嘎山气候环境的演化亦有阶段性影响^[4,5]。

地质时期气候变化大致可划分为6个阶段:①45~37 Ma前(始新世中—渐新世早期),为早第三纪的干热气候,比现在热且干燥,贡嘎山地区为热带、亚热带干旱带^[6];②37~17 Ma前(渐新世初—中新世中),气温降低,降水增加,很多干旱带被森林取代,本区为热带、亚热带常绿林^[6,7];③17~2.5 Ma前(中新世中—上新世末),本区估计为干热气候向湿热气候的一种过渡气候,即热带亚热带气候^[7];④2.5~0.73 Ma(上新世末—更新世中)前,全球大降温,第四纪大冰期开始,气候变干^[7];⑤0.73 Ma(更新世中)以后,随着青藏高原猛烈隆升,出现最大冰期,高原全年均为冷源(现在全年为热源)^[8],估计贡嘎山地区比现在冷干^[4];⑥随着高原继续抬升,温度继续降低,空中含水量减少,降水量亦随之减少,但蒸发力(最大可能蒸发)基本上不减少,降水量可能开始小于蒸发量,冰雪大量消融,高原冬季风减弱,夏季风增强,开始建立现代高原季风体系,高原气候变成现代格局^[8],本区气候环境恢复到现代的状况。

近期气候变化:通过贡嘎山站海拔3 000 m站的气象观测资料分析表明,近20 a气温上升0.3℃(图2),增温率0.15℃/(10 a),小于全球的0.20℃/(10 a)。从图3、图4可以看出,最高温度变化不显著,而最低温度却呈明显上升,表明冬季和夜间升温是该区域升温的主要原因,这与许多文献所讨论的最高最低气温的非对称变化结论一致。图5表明近20 a来降水量呈增加趋势,增幅为32.7

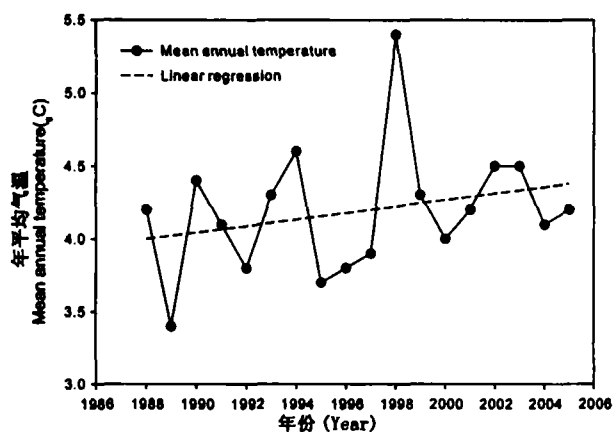


图2 年平均气温变化

Fig. 2 Change of mean annual temperature

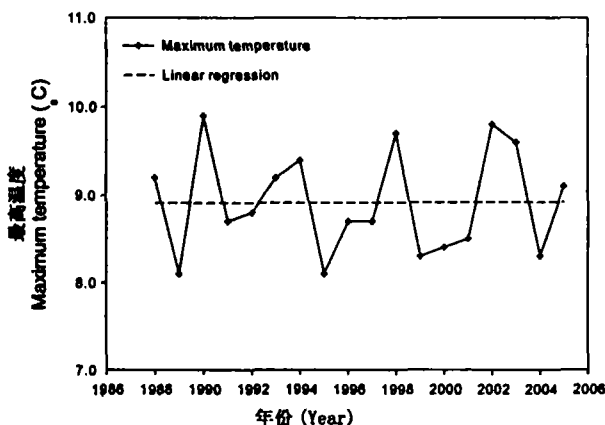


图3 最高温度变化

Fig. 3 Change of maximum temperature

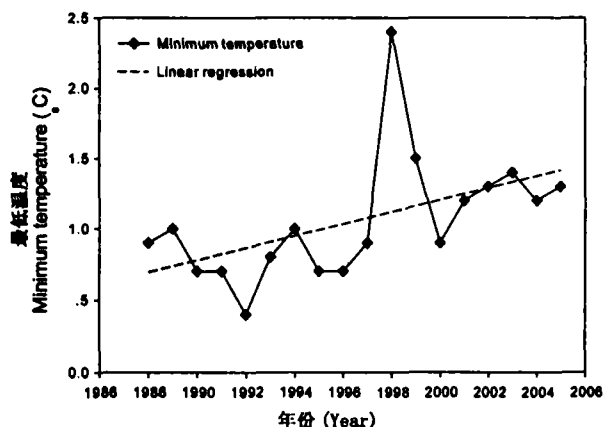


图4 最低温度变化

Fig. 4 Change of minimum temperature

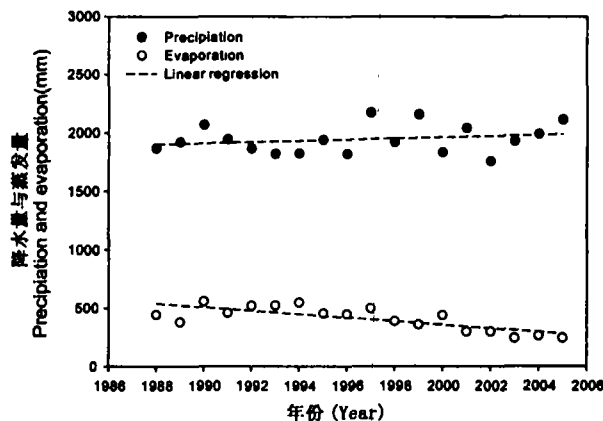


图5 降水量与蒸发量变化

Fig. 5 Changes of precipitation and evaporation

mm/(10 a),而蒸发量明显减少。因此,近期气候变化总体特征表现为暖湿化趋势。

2.3 现代冰川与环境

冰川变化不仅是全球环境变化特殊而敏感的指示剂,而且具有重要的水源调节功能,被称为高山固体水库^[9]。贡嘎山地区共有现代冰川71条,冰川总面积297.5 km²,储量约为24.7 km³,主要在海拔>3 000 m上的山地上沿主山脊两侧分布,形成羽状分布的冰川群^[10]。自建站以来,贡嘎山站与中科院冰川所(现为中科院寒旱所)联合对海螺沟冰川进行连续监测与研究。

海螺沟现代冰川在近百年内总的趋势是处于普遍退缩的背景下,作脉动的退缩。从19世纪末期至20世纪初,一直处于后退阶段,但多数冰川在20世纪初至30年代以前曾出现过稳定甚至前进状态;从1930~1966年间,冰川末端普遍强烈后退,平均每年后退近32 m;1966~1981年间,退缩速度明显减缓;1981~1995年间,冰川后退速度为17 m/a;1996~1998年后退速度增至18.3 m/a;1998~2001年后退速度减为9.1 m/a。目前,海螺沟冰川已退至海拔2 980 m处的冰床谷地地形的明显转折处,但由于冰面坡度由城门洞以下的0.9%突增至城门洞以上的10.2%,在气温升高幅度不大的状态下,冰川末端的后退速度将因坡度增加而受到强烈的抑制。预计至少在今后二三十年内海拔效应对这种衰退趋势的抑制作用将更加明显^[10]。

从较长物质平衡资料系列(1960~1993年)来看,海螺沟冰川1960年为正平衡,其余为负平衡,累积平衡量为-8 159.8 mm,平均年平衡量-240 mm。通过水量平衡及累积平衡变化分析表明,水量

平衡波动周期大致为 10 a, 1963 年、1973 年、1983 年和 1993 年为 4 次最大负平衡年, 负平衡值在 -568 mm 以上, 大致与干旱及高温周期相符。若以 1969 年为界, 前 9 a 的累积平衡值为 -1 953.4 mm, 平均年平衡为 -217 mm。1969 年以后的 25 a, 累积平衡值为 -6 206.4 mm, 平均年平衡值增至 -248.3 mm。从以上可以看出, 海螺沟冰川近 34 年来的水量平衡变化趋势无论是在气候高温段还是低温段, 平均平衡值均为负平衡, 说明该冰川近年来一直处于亏损状态。水量平衡变化与相应的气候波动对比, 总趋势还是一致的^[10-12]。

2.4 森林生态系统

在国家攀登计划、973 项目和中科院创新项目等的支持下, 贡嘎山站联合中科院成都生物所等相关研究机构, 以贡嘎山地区为主要研究范围, 开展了由点到面的山地森林生态系统结构、功能与动态研究。这里仅以亚高山暗针叶林生态系统为重点进行讨论。

2.4.1 山地森林生态系统类型与结构

亚高山暗针叶林是青藏高原东缘山地森林植被的主体, 也是长江上游水源涵养林中起重要作用的类型。贡嘎山亚高山暗针叶林约由 23 种针叶树组成, 主要分布于东坡海拔 2 500 ~ 3 600 m 和西坡 2 800 ~ 4 000 m (南坡与东坡相似, 北坡与西坡类同) 的广阔亚高山地区。以川西云杉 (*Picea balfouriana*)、丽江云杉 (*P. likiangensis*)、黄果云杉 (*P. balfouriana* var. *hertella*)、麦吊杉 (*Picea brachytyla*)、鳞皮冷杉 (*Abies squamata*)、峨眉冷杉 (*A. fabri*)、长苞冷杉 (*A. georgei*)、川滇冷杉 (*A. forrestii*) 等为主要建群种形成的群落是贡嘎山地区亚高山暗针叶林的主要类型^[13, 14]。

在贡嘎山地区, 亚高山暗针叶林普遍具有完整的分层结构、丰富的层片。冷杉群落的结构较为复杂, 乔、灌、草各层均有二个亚层, 其中乔木第 I 层多由冷杉构成, 乔木第 II 亚层除有一定数量的冷杉外, 多由阔叶树组成。其中, 常见的有糙皮桦 (*Betula utilis*)、香桦 (*B. insignis*)、野樱桃 (*Prunus stipulacea*) 等, 群落下半部的灌木层以冷箭竹 (*Sinarundinaria fangiana*) 为优势, 草本层组成种类尚多, 但分布稀疏而不均匀, 常在林缘或灌木盖度较小的地方形成小群聚, 盖度一般在 5% ~ 40%, 多数地方有 2 ~ 3 个亚层之分。麦吊杉群落一般情况下可划分为乔木层、灌木层、草本层和地被层, 乔木层中麦吊杉是

第一优势种和建群种。在部分地带有冷杉 (上限部分) 和铁杉 (*Tsuga chinensis*) (下限部分) 的渗入, 共同占据着第 I 亚层, 第 I 亚层除有一定量的麦吊杉的异龄树外, 多由落叶阔叶树种组成, 如青榨槭 (*Acer davidii*)、扇叶槭 (*A. flabellatum*)、糙皮桦 (*Betula utilis*) 等, 灌木层一般高度在 3 m 以下, 冷箭竹和短柱铃为不同地段的灌木层优势种, 其覆盖度常在 60% 左右^[13]。

2.4.2 山地森林生态系统生物量和净初级生产量

在亚高山暗针叶林中, 峨眉冷杉林是四川特有森林类型。贡嘎山东坡峨眉冷杉林主要分布海拔 2 800 ~ 3 600 m。该林由于垂直分布幅度较大, 随海拔升高林分中物种组成和树体结构等都有改变, 生态系统生物量和净初级生产量也有很大差异^[13, 14]。

分布在海拔 3 150 m 的峨眉冷杉林生物量为 544.52 t/hm², 其中乔木层、灌木层、草本层、地被层和层间植物的生物量分别占 96.53%、2.76%、0.17%、0.52%、0.02%。净初级生产量达 12.93 t/(hm² · a), 其中乔木层、灌木层、草本层、地被层和层间植物分别占 85.17%、6.60%、2.30%、5.76%、0.02%。海拔 3 150 m 处峨眉冷杉林比分布于其他海拔高度的峨眉冷杉林的生物量高, 表明在这一地段的生境条件有利于喜冷凉、湿润气候的峨眉冷杉生长发育。

分布于海拔 3 580 m 的峨眉冷杉林生物量为 282.56 t/hm², 其中乔木层、灌木层、草本层、地被层和层间植物的生物量分别占 68.89%、30.95%、0.02%、0.22%、0.05%。净初级生产量为 4.69 t/(hm² · a), 其中乔木层、灌木层、草本层、地被层和层间植物分别占 66.32%、30.05%、0.04%、3.50%、0.08%。以耐寒种类杜鹃为主的灌木层净初级生产量在林分中所占的比例高于其他林分, 乔木层、草本层和层间植物净初级生产量在林分中所占比例远远小于其他林分, 表明寒冷的气候对林分中草本层植物、层间植物和乔木层植物生长发育影响很大。

2.4.3 山地森林生态系统演替

在贡嘎山地区, 受冰川或泥石流等地貌过程作用, 森林可以完全被毁灭, 而在它们没有波及的位置, 森林又保存得很好。在特定的气候环境下, 可以反复侵入同一个地区, 在这里就可以找到冰川退缩迹地或泥石流滩地开始的植被演替原型。即在一个范围内保存的从迹地到先锋群落到顶级群落的连续植物演替带谱。建站以后, 着重对亚高山暗针叶林

区泥石流迹地与冰川退缩迹地植被演替过程进行了研究,结果归纳为图 6 和图 7^[13,15]。

2.5 山地森林生态系统水文循环

森林与水的关系问题一直是森林生态研究的中心议题,也是水文循环探索的重要内容,森林生态系统对水分的时空分配、传输转换以及水文循环机制的影响问题是其核心。近 20 a 来,以贡嘎山站为依托,从山地森林系统的林冠层、地被物层、土壤层等几个层次的水分运动出发,系统深入地探讨主要森林类型中水分的时空分布及其蓄持、运移、转换机制,建立了森林流域的分布式水文数学模型 DF-WHM (Distributed Forest Wetland Hydrology Model),用数学模拟法分析森林结构变化对森林生态系统水文过程的影响。结果表明,对地面信息网格化处理的分布式 DFWHM 模型具有较高精度(图 8),而且通过模拟发现,当森林覆盖率为 35 % ~ 40 %,生态系统具有最佳的调节功能。这对长江上游主要暗针叶林生态系统的可持续经营管理及水资源的合理开

发利用问题提供了重要的理论依据^[16]。

2.6 山地森林生态系统碳平衡

根据对贡嘎山海螺沟典型林带上碳的存贮、吸收和排放关系的研究表明。海拔 3 000 m 附近的峨眉冷杉林,其地面和地下碳贮量分别为 177.4 t/hm² 和 143.2 t/hm²,年光合作用固定的碳为 7.05 t/hm²,通过呼吸释放碳量为 3 ~ 5.5 t/(hm² · a)(乔木)和 10 ~ 19 t/(hm² · a)(地面土壤)。低海拔处生态系统碳的呼吸量较大,100 a 以内的中幼龄树木固碳能力高于成熟林的固碳作用(图 9)。因此,贡嘎山亚高山森林的三种类型都是碳汇,每年每公顷林地固定碳量在 6 ~ 7 t 左右,而砍伐林地后土壤排放 CO₂ 变强,地面成为碳源,林地的存在对于减少温室气体排放具有重大作用^[17]。

2.7 山地森林土壤

冰川和泥石流堆积物作为一类有特定成因的土壤母质,在世界范围内分布较为广泛,但由于对这两种母质的形态(包括微形态)特性研究积累不够,

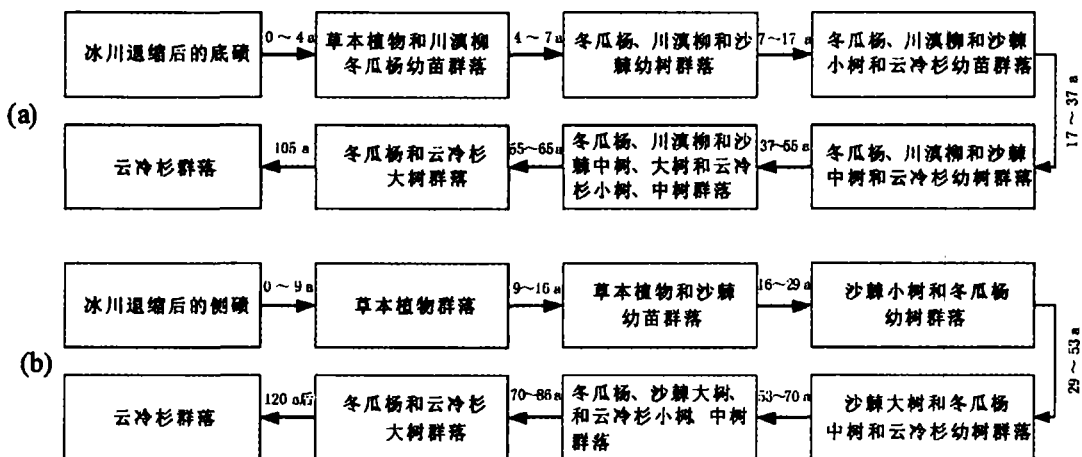


图 6 冰川退缩地植被原生演替

Fig. 6 The primary vegetation succession on the glacial shrinking area

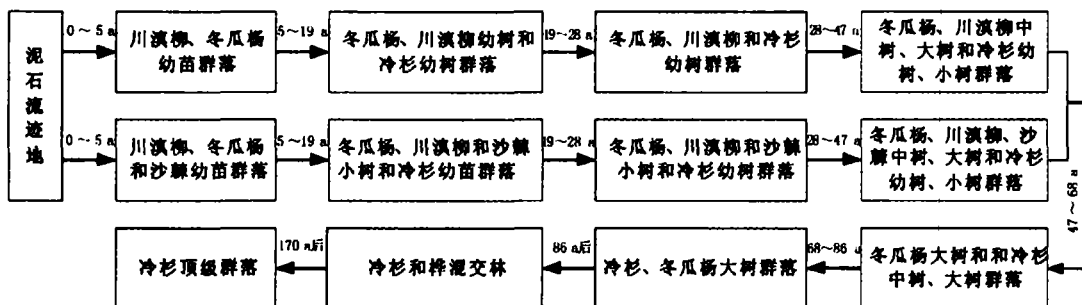


图 7 泥石流扇形地植被原生演替

Fig. 7 The primary vegetation succession on the debris flow

目前国内外土壤系统分类中都没有将其作为独立的岩性特征。

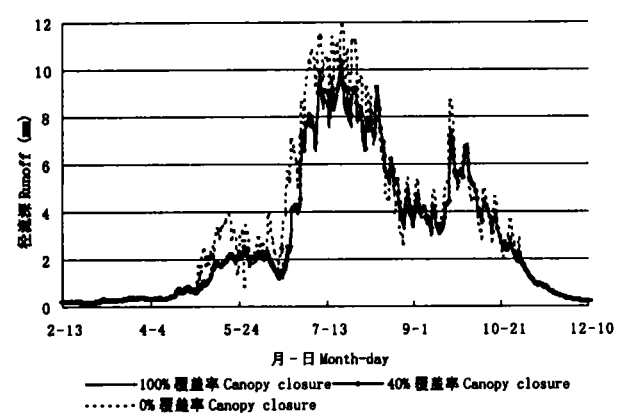


图 8 贡嘎山暗针叶林覆盖率变化对径流过程的影响模拟
Fig. 8 The simulated effect of cover change on run-off process for the dark coniferous forest in Mt. Gonggashan

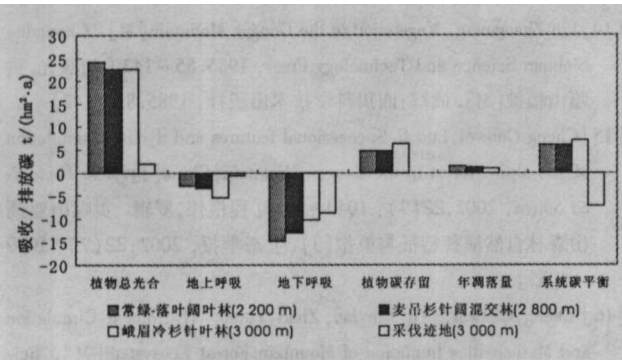


图 9 贡嘎山山地森林生态系统碳平衡关系
Fig. 9 The Carbon balance of mountain forest ecosystem in Mt. Gonggashan

通过对贡嘎山东坡寒区林地海拔 2 200 ~ 3 650 m 的典型土壤的研究发现,其土壤诊断层和诊断特性主要有暗瘠表层、漂白层、锥形层、石质接触面特征、常湿润土壤水分状况和寒冻、寒性、冷性或温性土壤温度状况。根据这些土壤诊断层和诊断特性,按照中国土壤系统分类对贡嘎山东坡的典型土壤进行检索。其典型剖面分属 2 个土纲、3 个亚纲、6 个土类和 6 个亚类。这是目前在分类中首次根据泥石流岩性特征和冰碛物岩性特征进行了土壤系统分类^[18]。

3 研究展望

基于建站近 20 a 的积累与发展,结合全球变化

与山地研究研究的发展趋势,我们认为,今后应加强如下几个方面的研究。

1. 相对于过去的 1 000 a,现代全球环境变化得更快、更为深远,并将至少持续到下个世纪,而且山地受到全球环境变化的影响比其他任何地方都要强烈。由于山地的高度梯度差异,常常会加剧和改变全球环境变化对低地的影响。也同样是因坡度梯度,使得物种的分布受全球变化的影响非常之大,而且这可能成为对低地后继影响的敏感指标^[19]。因此,应充分利用贡嘎山地处高原和平原过渡带的特殊地理位置,强化山地环境中探测全球环境变化征兆的方法研究,以及开展全球环境变化背景下,高山—低地系统响应研究。

2. 贡嘎山与大渡河河谷巨大的海拔高差,使气象、水文、冰圈和生态条件在相对较短的距离内发生着显著的变化,形成了完整垂直植被带和许多山地所特有的特征“线”(带),包括雪线、树线、林线、土壤带、冻土带、冰缘带和植被群落交错带等。可以通过宏观的垂直景观剖面研究和微观的特殊线(带)生理生态研究相结合,可以快速有效地发现和揭示全球变化的影响及其过程特点,为寻求适应全球变化对策的判定提供理论依据。

3. 近 20 a,贡嘎山站以山地环境和山地森林生态系统为核心,对生态过程、冰冻圈变化、水文循环、大气条件及土地利用变化等子系统都进行了不同程度的研究。随着全球变化加剧和社会经济的快速发展,目前迫切需要对复杂的山地景观过程中生态、大气、水文、土地利用等各子系统进行综合集成,通过建立山地环境变化影响综合评估模型模拟这些过程及其相互关系,从而为山区可持续利用的土地、水及资源管理提出科学对策与建议,有利于维护长江上游的生态安全,也为我国新农村建设提供理论依据。

参考文献(References)

[1] Zhong Xianghao, Gao Shenghuai. Scientific significances and application prospects of the Gongga Mountain Station [A]. In: The Gongga Mountain Station, CAS. Research on Alpine Ecosystem in the Gongga Mountain [C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1993. 26 ~ 31 [钟祥浩, 高生淮. 贡嘎山高山生态系统观测试验站的科学意义及其应用前景 [A]. 见: 中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站. 贡嘎山高山生态环境研究 [C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 26 ~ 31]
[2] Chen Fubin, Gao Shenghuai, Tang Yongkang, et al. Report on the construction of Gongga Mountain alpine ecosystem observation and experiment Station [A] In: The Gongga Mountain Station, CAS, Re-

- search on Alpine Ecosystem in the Gongga Mountain[C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1993. 32 ~ 40 [陈富斌, 高生淮, 唐永康, 等. 贡嘎山高山生态系统观测试验站建站项目报告[A]. 见: 中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站. 贡嘎山高山生态环境研究[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 32 ~ 40]
- [3] Chen Fubin, Gao Shenghuai, Tang Yongkang, et al. A overall plan on setting up Gongga Mountain alpine ecosystem observation and experiment Station[A]. In: The Gongga Mountain station, CAS. Research on alpine ecosystem in the Gongga mountain[C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1993. 10 ~ 25 [陈富斌, 高生淮, 唐永康, 等. 贡嘎山高山生态系统观测试验站建站总体规划[A]. 见: 中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站. 贡嘎山高山生态环境研究[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 10 ~ 25]
- [4] Wen Chuanjia. Climatic environment of the Gongga Mountain and divergence of view for its understanding[A]. In: Zhong Xianghao. The Environment and Ecosystem in the Eastern Edge of Qinghai-Xizang Plateau[C]. Chengdu: Sichuan University Press, 2002. 120 ~ 127 [文传甲. 贡嘎山的气候环境及其认识分歧[A]. 见: 钟祥浩. 青藏高原东缘环境与生态[C]. 成都: 四川大学出版社, 2002. 120 ~ 127]
- [5] Sun Honglie. Formation and Evolution of the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1996. 152 ~ 188 [孙鸿烈. 青藏高原的形成演化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996. 152 ~ 188]
- [6] Shi Yafeng, Tang Maocang, Ma Yuzhen. The relationship between rising and monsoon on the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(3): 263 ~ 271 [施雅风, 汤懋苍, 马玉贞. 青藏高原二期隆生与亚洲季风孕育关系探讨[J]. 中国科学(D)辑, 1998, 28(3): 263 ~ 271]
- [7] Tang Maocang, Dong Wenjie. Effects of rising and flattening process on climate and environment on the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Plateau Meteorology*, 1997, 16(1): 23 ~ 29 [汤懋苍, 董文杰. 青藏高原的抬升和夷平过程对气候与环境的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(1): 23 ~ 29]
- [8] Tang Maocang. Neotectonic climatic Chang and its Effect on Environment on the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Guangzhou: Guangzhou Science and Technology Press, 1998. 73 ~ 227 [汤懋苍. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响[M]. 广州: 广州科技出版社, 1998. 73 ~ 227]
- [9] Xie Zichu, Feng Qinghua, Wang Xin, et al. Modeling the response of glacier system to climate warming—taking glaciers in China as an example[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(5): 77 ~ 82 [谢自楚, 冯清华, 王欣, 等. 中国冰川系统变化趋势预测研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 77 ~ 82]
- [10] Zhang Wenjing, Su Zhen, Li Tongyong. Dynamic features of glacier in Hailuoguo[A]. In: Zhong Xianghao, The Environment and Ecosystem in the Eastern edge of Qinghai-Xizang Plateau[C]. Chengdu: Sichuan University Press, 2002. 88 ~ 101 [张文敬, 苏珍, 李同阳. 海螺沟冰川动态特征[A]. 见: 钟祥浩. 青藏高原东缘环境与生态[C]. 成都: 四川大学出版社, 2002. 88 ~ 101]
- [11] Zhang Wenjing, Li Tongyong, Li Wei. Response of Hailuoguo modern glacier to climate change[A]. In: Zhong Xianghao. The environment and ecosystem in the eastern edge of Qinghai-Xizang Plateau [C]. Chengdu: Sichuan University Press, 2002. 111 ~ 118 [张文敬, 李同阳, 李伟. 海螺沟现代冰川对气候变化的响应[A]. 见: 钟祥浩. 青藏高原东缘环境与生态[C]. 成都: 四川大学出版社, 2002. 111 ~ 118]
- [12] Xie Zichu, Su Zhen, Shen Yongping, et al. Mass balance and water exchange of Hailuoguo Glacier in Mount Gongga and their influence on glacial melt runoff[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, 23(1): 7 ~ 4 [谢自楚, 苏珍, 沈永平, 等. 贡嘎山海螺沟冰川物质平衡、水交换特征及其对径流的影响[J]. 冰川冻土, 2001, 23(1): 7 ~ 14]
- [13] Zhong Xianghao, Luo Ji, Wu Ning. Study on forest ecosystem in the Gongga Mountain[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1997. 1 ~ 123 [钟祥浩, 罗辑, 吴宁. 贡嘎山森林生态系统研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1997. 1 ~ 123]
- [14] Liu Zhaoguang. Vegetation in the Gongga Mountain[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1985. 85 ~ 142 [刘照光. 贡嘎山植被[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1985. 85 ~ 142]
- [15] Cheng Genwei, Luo Ji. Successional features and dynamic simulation of sub-alpine forest in the Gongga Mountain, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1049 ~ 1055 [程根伟, 罗辑. 贡嘎山亚高山森林自然演替特征与模拟[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1049 ~ 1055]
- [16] Cheng Genwei, Yu Xinxiao, Zhao Yutao. Hydrologic Circulation and Mathematics Imulation of Mountain Forest Ecosystem[M]. Beijing: Science Press, 2004. 197 ~ 231 [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. 197 ~ 231]
- [17] Cheng Genwei, Luo Ji. The carbon accumulation and dissipation features of sub-alpine woodland in Mt. Gongga[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 179 ~ 185 [程根伟, 罗辑. 贡嘎山亚高山林地碳的积累与耗散特征[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 179 ~ 185]
- [18] He Yurong, Zhan Baohua, Huang Chengmin, et al. Diagnostic characteristics and taxonomic classification of forest soils on the east alopes of the Gongga Mountain[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(1): 27 ~ 32 [何毓蓉, 张保华, 黄成敏, 等. 贡嘎山东坡林地土壤的诊断特性与系统分类[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 27 ~ 32]
- [19] Sun Chengquan, Lin Hai. Key Plan and Integration of International Global Change Studies[M]. Beijing: Meteorological Press, 2003. 161 ~ 189 [孙成权, 林海, 曲建升. 国际全球变化研究核心计划与集成[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 161 ~ 189]

Advances in Observation and Studies on Gongga Station of Alpine Ecosystem in Recent 20 Years

WANG Xiaodan, ZHU Wanze, CHEN Genwei

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China*)

Abstract: The Gongga Station of Alpine Ecosystem was formally set up in 1987. The observation and experiment about water, soil, climate and biology were carried out in recent 20 years. The sub-alpine forest ecosystem under environment changes was the motif through most studies focusing on ecological process and hydrological process. In the Gongga Mountain area, the conducted studies included eco-environmental characteristics, structures and function of forest ecosystem, change of glacier and frozen soil, and environment change from Quaternary period to now. These researches are important contributions to development of mountain science and forest ecology in China. In the paper, we summarize study results of Gongga Station in recent 20 years and suggest some important study field in the future.

Key words: Gongga Station; mountain environment; forest ecology; advances