

文章编号: 1008—2786(2000)01—0057—06

# 岷江上游山地生态系统的退化机制

包维楷, 王春明

(中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

**提 要:** 在分析岷江上游干旱河谷退化山地生态系统的内在特性、干扰体驱动力及其相互作用与退化的关系等的基础上, 阐述了该系统退化的机制。其内在特性决定了山地系统对干扰的抗性差, 退化后恢复的弹性小; 强烈的人为干扰体是系统退化的重要驱动力。岷江上游干旱河谷山地生态系统的退化是系统内在特性和外在干扰体综合作用的结果。过去将该山地生态系统的退化简单归咎于人为干扰的破坏结果值得商酌。

**关键词:** 山地生态系统; 内生脆弱性; 人为干扰体; 退化驱动力; 退化机制

**中图分类号:** X174; Q14

**文献标识码:** A

岷江上游山地是以干旱河谷为基带的一类较特殊的山地生态系统<sup>[1,2]</sup>。其生态退化问题已困扰该少数民族地区近 30 年, 严重制约着该区的持续发展。深入研究该区域退化生态系统并寻求恢复与重建的正确方法已是十分紧迫的任务。而系统的退化的根源、驱动力及其退化机理的正确揭示则是恢复与重建的前提。生态系统退化的实质上是生态系统的逆向演替<sup>[3,4]</sup>。从逆向演替而言, 任何生态系统的退化都是外部干扰通过内部各要素的整合而作用于系统的结果。因此, 退化不仅决定于外部的干扰体状况, 也决定于系统的属性及其抗干扰能力的大小。基于此, 本文在分析岷江上游山地系统脆弱性、退化的干扰驱动力的基础上, 进一步探讨其退化机制。

## 1 岷江上游山地系统的脆弱性和不稳定性——退化的内因

岷江上游干旱河谷山地生态系统是一类不同于我国北方干旱区和南方南亚热带干热河谷的生态系统。其结构和功能自有其独特性, 突出表现为脆弱性<sup>[1~3]</sup>。脆弱性反映了生境、群落和物种对环境变化的敏感程度, 是稳定性的反面, 即高脆弱性等同于低稳定性, 反之亦然。因此, 不少作者将脆弱性(fragility)、敏感性(sensitivity)、不稳定性(non-stability)、易变性(vulnerability), 甚至受威胁性(threatened)同义使用<sup>[5]</sup>。

山地生态系统的脆弱性是指山地生态系统在一定机制作用下, 容易由一种状态演变成另一种状态, 遭变后又缺乏恢复到初始状态的能力<sup>[6]</sup>。显然, 山地生态系统的生态脆弱性包含两层意义: 生态敏感性(ecological sensitivity)和生态恢复力(ecological resilience), 它反映一个生态系统、景观组分或某一景观对外界干扰所产生的应变及其能力<sup>[7]</sup>。山地系统的退化是与其十分脆弱和不稳定的生态环境密切相关<sup>[5,6]</sup>。

### 1.1 岷江上游山地生态系统地质环境脆弱与地貌的不稳定性

岷江上游山地系统作为青藏高原的延伸部分受青藏高原整体变化的影响, 地质环境处于不断变化之中<sup>[8]</sup>。从区域地质构造而言, 岷江上游山地系统位于四川盆地边沿的秦岭纬向构造带、龙门山北东向

收稿日期: 1999—03—10; 改回日期: 1999—09—10

基金项目: 国家八五科技攻关项目 85—019—01—03 的部分研究内容, 得到中国科学院茂县生态站资助

作者简介: 包维楷(1968—), 男(汉族), 四川广汉人, 博士、助研。主要从事山地退化与生态恢复、混农林业防治土地退化等的研究。发表论文 20 余篇

构造带(华夏系)与马尔康北西向构造带间的三角形地块内。在漫长的地质历史发展过程中,在相应的构造区域内孕育了各自不同特色的岩相构造,历经晋宁—澄江运动、印支运动、喜山运动等多次变动,相互间发生干扰、穿插或者结持,形成各种构造复合现象。伴随发生的岩浆侵入活动与变质作用,使上述复合现象更加复杂化,形成了当今该区域错杂而有序的构造背景<sup>[9]</sup>。区域内地震活动频繁,老断裂复活,晚近构造继承性活动十分活跃,进一步表明该区是一个极不稳定的地区<sup>[3,9]</sup>。该区频繁发生泥石流、滑坡、崩塌活动则是这种地质环境不稳定性的突出表现。也是岷江上游河谷生态系统演替的重要特征。

受上述地质构造的深刻影响,岷江上游河谷发育成了南北走向的高山纵谷。河流两侧谷坡陡峭,尤其是部分河谷谷坡下段,坡度在 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ;岩层破碎,地表风化较强,现代地貌过程十分活跃。由于河流纵比降大,洪枯流量变幅大,河流下切和旁蚀能力均较强,使河谷下部的地貌动态平衡十分脆弱。从理论上讲,伏在坡地上物质如土壤、岩石等受重力作用具重力势能,并作为不稳定能量储藏在山地生态系统中,山地海拔越高,坡度越陡,位势能越大,在重力作用下下滑能力也就越大,系统越不稳定。山地生态系统的自然侵蚀以及由此而来的水土流失等退化现象也正是受这种自然脆弱性的控制和影响。该区的母质岩石组成和堆积松散,破碎度大,稳定性也差。脆弱的地表结构,轻微的外部干扰便会导致灾难性的生态破坏。此外,山谷坡地土壤在其下潜势能与雨滴、径流和地质力等的加合增效作用下,具有很大的侵蚀、石化、沙化、贫瘠化、“幼年化”等潜在的退化敏感性;而谷地、台地、凹地土壤则易遭受斜坡和上游或山体上半部来的碎屑物质、石砾的掩埋,从而导致土壤肥力降低,植物生长的立地条件或农业活动条件恶劣。土壤侵蚀和掩埋这种作用也正是山地生态系统环境先天脆弱的集中反映<sup>[10]</sup>。这种脆弱性决定了它承受人类活动的干扰强度阈值较低。

## 1.2 岷江上游山地自然环境的脆弱性强

岷江上游干旱河谷气候波动性大,降水的限制作用十分突出。该区降水在 $400\text{ mm} \sim 1\,000\text{ mm}$ ,降水量小,季节分配不均,降水量集中于夏季,约占全年降雨量的 $70\% \sim 80\%$ ,且降雨强度大,暴雨多。另一方面,全年蒸发量极大(为降水量的数倍),大气、土壤干旱现象严重。受这种自然供水能力的限制,水分生产潜力小且波动性大。不仅严重制约着植被的生长,并对土壤等其它环境资源的发育和稳定构成威胁。近四十余年来的气候分析表明,该区气候在进一步恶化,降水变幅呈增加趋势。土壤的先天不足是该区又一突出的特点。该区土壤母质及其发育的条件决定了其土质差,浅薄,营养先天缺氮、少磷,富积钙、钠、钾,供养不平衡,土壤结构松散或板结,且石砾含量高<sup>[11]</sup>。B层土的PH值常比表层土低,表层复钙和石灰表聚非常普遍<sup>[10]</sup>,明显呈现出干旱化趋势。遇中度雨水冲刷,极易发生水土流失、盐碱化和潜育化。土地承载力很低。此外,干旱河谷土壤经灌溉后(包括雨后)也极易发生滑坡现象<sup>[2]</sup>。由于环境多样该区植被也表现出类型的多样性<sup>[12]</sup>。但由于气候和土壤的脆弱,植物生长缓慢,再生更新能力弱,植被生产力较低,抵抗啃吃、砍伐等干扰的能力弱,植被一旦破坏,恢复极为困难<sup>[1,2]</sup>,尤其是山地垂直带的下限干旱河谷和上限高山草甸和亚高山草甸的植被<sup>[2,3,13]</sup>。近年来,干旱河谷植被在自然作用下一些荒漠成分正在发展,并成为局部优势种如刺旋花 *Convolvulus tragalanthoides*、白刺 *Nitraria tangutorum* 等<sup>[12]</sup>。表明植被的潜在退化性强。

山地生态系统的稳定必须依赖于植被的保护,植物通过根系固定土壤颗粒,地上部分阻挡和减弱雨水冲刷,成为抵抗土地退化位势的阻滞能量,保持着水土平衡,这种对植被的依附性是山地系统稳定的必要前提,也是不争的事实。但岷江上游山地生态系统对于植被的依附性尤为突出和强烈。表现为系统环境对植被景观破坏的敏感性很大,土壤—植物系统关系极为脆弱。土壤的先天不足而对植被保护的强烈依赖性更为突出。其次,山地环境对水分的敏感性也十分突出<sup>[3]</sup>。该区陡峻的地形,有利于雨水快速汇聚,而植被覆盖率极低,大气降水无植被截留,地下又无根系和苔藓和枯枝落叶涵蓄,加之地表岩石、土壤破碎松散,以致大气降水迅速转化为快速汇聚的地表径流,冲刷地表,带走大量土壤和泥沙,极易引起石化、贫瘠化,也极易形成规模较大的泥石流和水石流。地表水沿裂隙迅速下渗,使破碎岩体充水饱和,地下水使滑床润滑,最后失去平衡导致滑坡产生,这是目前该区已普遍发生着的现象<sup>[3]</sup>。这些滑坡与泥石流的发生又进一步促成了更严重的水土流失。另一方面,大气、土壤干旱现象严重。受这种自然供水能力的限制,植被、作物、土地生产力波动大。洪灾、旱灾、作物减产等危害在该区也是普遍发生着的现象。表明大气—植被—土壤连续体的系统关系脆弱性强,从而为土壤侵蚀、水土流失、生物生

产力丧失等恶性循环奠定了基础。

### 1.3 景观的过渡交错性决定了对人为干扰的抵抗力脆弱、人为活动的可操作性差

生态交错带是指相邻生态系统的过渡带。目前,生态交错带已扩展到了指广义的景观界面,强调生态系统之间(Landscape boundaries)的相互作用和相互联系<sup>[14]</sup>。从广义和景观角度来看,岷江上游山地生态系统是一个典型的多种基质、多层次的景观生态过渡交错带,它处于或包括在两种或多种物质体系、能量体系、结构体系、功能体系,甚至文化和社会意识形态体系等之间形成的复合“界面”上。岷江上游山地生态系统正处在四川盆地边沿的秦岭纬向构造带、龙门山北东向构造带(华夏系)与马尔康北西向构造带交接过渡的三角形地块内,是高山与深谷、山峦与溪沟交错相间排列,盆地丘陵山地向中、高山和高原过渡区;气候由于受西风环流与季风暖流交错控制,气候变化在水平上从亚热带向暖温带,再向寒温带过渡,在垂直方向上从河谷干旱 1 200 m~1800(2000) m 向中山 1800(2000) m~2500 m 半湿润,再向亚高山、高山(2500 m 以上)的湿润气候过渡;植物区系则由中国—日本森林植物亚区向中国—喜马拉雅森林植物亚区过渡交错;植被景观则存在干旱河谷稀疏灌丛向中山的密灌和森林的明显过渡、亚高山森林向草甸的犬牙过渡交错、中山森林向高原草地过渡等;土地利用和产业结构由河谷区的农牧结合向中山的农林牧副结构过渡,再向亚高山以上地区的林牧结构过渡;文化传统方面明显有东部的、下游的汉文化向向西、向北的以羌、藏、回等少数民族文化的过渡和融合;其社会经济发展正处于四川盆地周山地较发达地区与我国广大的西部、西北部少数民族欠发达地区的过渡结合部<sup>[15]</sup>。上述自然、经济、社会以及文化传统体系的过渡、交错及融合,构成了岷江上游山地复合生态系统有别于其它任何系统的特殊的复杂性和多样性。这种复杂而多样化的过渡交错性,既表达出了该区众多的景观体系或者说能量和物质体系高度集中在如此狭小有限的空间,“界面”的移动和变化速度较快,可被替代的概率较大(如该区山地灌丛、森林农耕地间易于相互作用和转变),也内涵了在上述各种生态交错过渡带内,两种或多种能量和物质体系彼此间较强的相互依赖性和对干扰的敏感性。表明岷江上游山地系统对外界的人为干扰行为的抵抗力弱,人们从事生产活动必须严格控制在其承受能力和弹性调节限度内,否则,将引起系统的退化。

## 2 人为干扰体——退化的驱动力

干扰(Disturbance)是自然界的普遍现象。就其字面含义而言,干扰是平静的中断,正常过程的干扰或妨碍<sup>[16]</sup>。干扰体(disturbance regime)是指所有干扰类型、干扰频率和干扰强度在某一段时间的总和。干扰具有分布、频率、恢复周期、面积大小、强度、严重性(指对生物的影响)和协同作用(引起其它干扰的作用)等属性<sup>[18,20]</sup>。对特定地区而言,系统退化主要决定于干扰的四要素:时间、类型、强度和频率<sup>[18]</sup>。岷江上游山地生态系统的退化是从 50 年代大规模开发该区森林以及从那时开始的大量人口增长而突变的。

### 2.1 干扰类型

从干扰对系统退化的作用途径分,引起岷江上游山地系统退化的外部驱动力按作用的系统成分的不同可归纳为两类。一类是对系统结构成分的丰盛直接或间接影响的包括:①森林的滥砍乱伐,过度利用;②挖取药材、寻求工业原料;③滥捕乱猎动物;④过度载牧;⑤改变土地利用方式(如垦荒);⑥农、林、牧业生物品种的单一化;⑦外来物种引入(侵入);⑧火灾、冰雹、洪水、干旱、地震、滑坡等。另一类是对系统结构成分和环境直接或间接影响,包括:①农药的滥用(乱用);②不良耕作或造林;③污水排放;④矿石、煤、天然气等的开发;⑤化肥等的不良使用;⑦筑路、修建水坝等工程措施。

从上面的干扰分类也可看出,除第 8 项为自然干扰因素外,其余均为人类导致的干扰(man-induced disturbance)。显然岷江上游山地生态系统退化的根本驱动力,乃是人类直接或间接干扰所致<sup>[3,4]</sup>。不同的干扰其作用机制是不同的。上述因素或单一或多种同时干扰生态系统,或强或弱,或暂时或间断或持续干扰,构成干扰体(强度,时间,频度),引起系统退化。众多不同类型和性质的干扰体同时作用于系统的同一或不同组成成分,导致系统整体和亚系统退化程度各异,这是岷江上游山地生态系统退化的重要特点之一。

### 2.2 干扰的强度和规模

人为干扰是岷江上游山地生态系统退化的根本驱动力。从近 50 年来的该区人口增长率来看,该区

域五县(汶、理、茂、黑水、松潘)人口,解放初期不到 18 万人,1957 年发展到 20.8 万,1978 年达 30.982 万人<sup>[1]</sup>,1994 年达到 35.9 万人。人口的迅猛发展对干旱河谷山地系统的干扰强度极大。再从五县牲畜总头数来看,1973 年为 577 227 头,其中羊 356 801 头,大牲畜 110 650 头,猪 103 300 头,到 1978 年达到 603 300 头,其中羊 313 131 头,大牲畜 148 084 头,猪 142 085 头<sup>[1]</sup>。虽仅为解放初期的 3~5 倍,但基本上停留在靠天养畜、自然放牧状态。牲畜总数的增加对该区的灌草植被的干扰强度至少增加了 3~5 倍。

从山地中上部的森林砍伐干扰来看。解放后上游五县普遍设立林业经营管理机构,主要任务就是采伐森林。米亚罗林区开伐最早,黑水林区在 50 年代中期开伐,若尔盖和松潘林区 70 年代开伐,近 30 年,砍伐后制成商品材 1465 万  $\text{m}^3$ ,折合成林木蓄积量为 8 429.7 万  $\text{m}^3$ ,民用薪材约 5 895 万  $\text{m}^3$ 。该区共有 18 个国营森工局,1950~1985 年累计生产木材 5 745 万  $\text{m}^3$ ,累计资源消耗量达 16 994 万  $\text{m}^3$ ,均严重的过量采伐<sup>[13]</sup>。仅在 1950~1978 年的 28 年间就使岷江上游森林覆盖率下降了 10%~20%<sup>[21]</sup>。可见对森林的采伐干扰具有强度大、规模大的特点。岷江上游森林的采伐干扰方式,在 1950~1953 年主要是择伐,1954~1956 年改用皆伐,在 1958 年后规定为择伐,实际上仍沿用皆伐方式。1965 年以后,采用留有各种防护林带的顺序小面积皆伐,采伐第一年基本为小面积,一般 5  $\text{hm}^2$ ~10  $\text{hm}^2$ ,采伐强度普遍在 80%以上<sup>[1]</sup>。

### 2.3 干扰频度

目前,该区采伐对森林的干扰频率基本是一次性的。对灌草地的干扰频率变化较大,离村镇近的,干扰类型多,干扰频率最大,通常强度也大<sup>[22]</sup>。以茂县大沟流域为例。在 60 年代离村寨 3 km 处尚有森林,但到 70 年代距村寨 10 km 已无森林存在。据估计该流域在 80 年代中期年砍伐量达 3 000<sup>[13]</sup>。除砍伐外,严重的干扰类型尚有秋冬季的积肥(刮取林地枯落叶、腐殖质土),秋季的取暖砍伐(小径)、烧木炭,冬春秋的挖药和野菜,砍竹,全年的牛羊放牧等。一年中干扰频率是春秋季最高,强度最大,夏季最小。干扰强度年际间的变化随人口增加而增强。在 80 年代初、中期最剧烈。长期大强度和高频率的干扰致使植被严重退化,形成矮灌丛,目前仍在进一步退化之中。由于该区地处山地及其可及性差异,干扰尤其是砍伐、挖药、搜刮枯落叶和腐殖质土,由近及远,干扰强度以距村寨较近处最大。以村寨为圆心向沟尾和高海拔地段辐射,明显形成了一个综合的人类干扰梯度<sup>[22]</sup>。

### 2.4 干扰体差异与退化

在岷江上游山地生态系统这样十分脆弱和不稳定的生态过渡交错带(区)内,从干扰要素之间的关系来看,在最近 50 年内干扰强度的作用似乎大于干扰频率的作用。尤其体现在系统内森林亚系统的退化上,一次性的大规模的皆伐会迅速导致小气候、植被、土壤的恶化<sup>[1, 23]</sup>。

## 3 岷江上游山地生态系统退化机制分析

综上所述,岷江上游山地生态系统所具有的脆弱性,准确刻画出了山地系统本身对外在干扰的敏感性和潜在的退化危险性。表明系统本身抗外界干扰能力的抵抗性和韧性弱,系统变异性较强,稳定性很差,外来干扰体极易驱动系统的退化。而这种高脆弱性的系统退化后自然恢复能力也弱,易于为新的稳态所替代,从而难于恢复<sup>[24]</sup>。如干旱河谷自然植被退化形成的稀灌丛、亚高山云冷杉林退化形成的箭竹、冷竹灌丛和以悬钩子(*Rubus* spp.)、蔷薇(*Rosa* spp.)为主的“红白刺”灌丛<sup>[1, 13, 23]</sup>。而近代人类大规模的非持续经营活动如森林超载砍伐、陡坡开垦、土地过渡利用等人为干扰强度长期超过系统自身脆弱性所决定的抗性限度,使退化的潜在威胁转化成了严重退化的现实<sup>[3]</sup>。因此,岷江上游山地生态系统的退化是系统自身的脆弱和不稳定性与外在的人为干扰综合作用的结果。系统本身的脆弱和不稳定性是退化的内因,人为干扰则是其退化发生的驱动力。归纳上述,岷江上游山地生态系统的退化机制可简单表示为如图所示(图 1)。过去将该山地生态系统的退化片面归咎于人为干扰是值得商酌的,这不仅掩盖了系统退化的本质,更重要的是难于找到恢复与重建的合理方法。

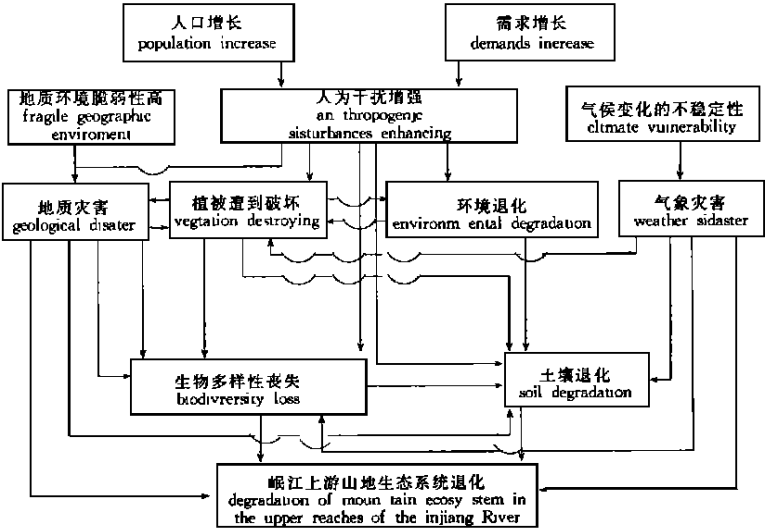


图 1 岷江上游山地生态系统退化机制示意图

Fig. 1 Mechanism of degradation of mountain ecosystem in the upper reaches of Mnjang River

参考文献:

[1] 杨玉坡, 等. 岷江上游森林生态问题综合考察报告[ J]. 四川林业科技, 1980, 增刊, 1~28

[2] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[ M]. 北京: 科学出版社 1992, 2~11

[3] 包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 岷江上游山地生态系统的退化及其恢复与重建对策[ J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(3): 277~282

[4] 包维楷, 陈庆恒. 退化山地生态系统恢复和重建问题的探讨[ J]. 山地学报(原《山地研究》), 1999, 12(1): 22

[5] Nilsson C. and Grelsson G.. The fragility of ecosystems: a review[ J]. J. Applied Ecology, 1995, 32, 677~692

[6] 周劲松. 山地生态系统的脆弱性与荒漠化[ J]. 自然资源学报, 1997, 12(1): 10~15

[7] Hisao Nakajima. Sensitivity and Stability of Flow Networks[ J]. Ecological Modelling, 1992, 62: 123~133.

[8] 中国青藏高原研究会. 青藏高原与全球变化研讨会[ J]. 中国青藏高原研究会通讯 1993, (4): 1~6

[9] 梁云南. 关于岷江上游地区地质稳定性的探讨[ J]. 四川林业科技, 1980 增刊, 33~37

[10] 余大富, 等. 川西山地农业系统[ M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1992

[11] 汤宗祥, 郭永明. 大沟流域土壤类型图与编制[ J]. 资源开发与保护, 1989 增刊: 27~31

[12] 刘文斌. 岷江上游半干旱河谷灌丛植被区系[ J]. 山地研究(现《山地学报》), 1992, 10(2): 83~88

[13] 刘照光, 陈庆恒. 中国西部亚高山森林生态系统退化趋势和防治对策[ C]. 见: 陈灵芝和陈伟烈主编. 中国退化生态系统研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 165~185

[14] Hansen, A. J and di, castri, F. Landscape boundaries[ M], New York: Spinger-Verlag, 1992 3~18, 236~258

[15] 刘照光, 等. 川西北国土规划[ M]. 成都: 四川科技出版社, 1989

[16] 孙儒泳. 动物生态学原理[ M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992, 369~374

[17] Pickett S. T. A et al. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels[ J]. Oikos, 1989, 54: 129~130

[18] 魏斌, 等. 生态学中的干扰理论与应用实例[ J]. 生态杂志, 1996, 15(6): 1~8

[19] 康乐. 放牧干扰下的蝗虫—植物相互作用关系[ J]. 生态学报, 1995, 15(1): 1~11

[20] White and Pickett S. T. A.. The ecology of natural disturbance and patch dynamics[ M]. Academic Press Orlando, 1985

- [21] 马雪华. 岷江上游森林的采伐对河流流量和泥沙悬移质的影响[J]. 自然资源, 1980, (3): 78~87
- [22] 包维楷, 刘照光. 岷江上游大沟流域驱动植被退化的人为干扰体研究[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(3): 233~239
- [23] 王金锡, 许金铎, 侯广维, 等. 长江上游高山高原林区迹地生态与营林更新技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995, 26~50
- [24] 特鲁吉尔著, 赵磊译. 土壤和植被系统[M]. 北京: 科学出版社, 1985, 142~152

## DEGRADATION MECHANISM OF MOUNTAIN ECOSYSTEM AT THE DRY VALLEY IN THE UPPER REACHES OF THE MINJIANG RIVER

BAO Wei-kai, WANG Cun-ming

(Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041 PRC)

**Abstract:** The dry valley of the upper reaches of The Minjiang River is seriously degraded mountain ecosystem. Based on the overall review of intrinsic characteristics, natural environment, and their interaction in the special mountain ecosystem, this paper at first discussed some important issues contributed to the mountain ecosystem degradation——such as geological structural non-stability, natural environmental fragility, climatic sensibility, and complicated plasticity of ecotone landscape. Then anthropogenic disturbance regimes happened in the ecosystem in past decades were analyzed. Its inborn characteristics displayed that the mountain system was sensitive to disturbance and has only a low resistance to the disturbance and a limited resilience of restoration after degradation. The man-induced disturbance regimes with dramatic intensity and long period as an important driving force were responsible for the degradation of the mountain ecosystem degradation. But the degradation of mountain ecosystem was resulted from integration of high natural fragility, intensive human-induced disturbance regime, and their interaction, and should not only ascribed simply to human activities as we had known in the past. The mechanism of degradation of mountain ecosystem in the upper reaches of The Minjiang River was put forward and expounded finally.

**Key words:** mountain ecosystem, intrinsic fragility, driving force of degradation, degradation mechanism