

卧龙自然保护区大熊猫生境恢复过程研究

欧阳志云¹, 李振新¹, 刘建国², 安力², 张和民³, 谭迎春³, 周世强³

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100080; 2. Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA; 3. 卧龙自然保护区大熊猫研究中心, 四川 623006)

摘要: 保护与恢复生境是有效保护大熊猫的重要途径, 通过样方调查法研究了卧龙自然保护区大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 恢复生境的群落结构特征, 共调查了原始生境、20 世纪 20~30 年代砍伐后自然恢复生境、40~50 年代砍伐后自然恢复生境、70 年代以后自然恢复生境以及 60~70 年代人工林等 5 个生境类型, 21 个样方。研究结果表明: 各生境类型的物种丰富度、物种多样性、植株数 (高度 > 5m)、乔木层的平均胸径和最大平均胸径, 以及大熊猫的生境成熟度都存在显著差异, 竹子的生物量及更新能力也有一定差异。人工林与原始生境的群落相似性低于其他自然恢复生境与原始生境的群落相似性。研究发现, 大熊猫生境恢复包括大熊猫可食竹类资源的恢复以及生境群落结构的恢复。可食竹类资源恢复所需时间相对较短, 仅需约 20~30a; 生境的植物群落结构的恢复则要长的多, 一般恢复时间 50a 左右才能成为大熊猫的适宜生境, 恢复时间为 70~80a 的生境与原始生境的群落结构已十分接近。通过人工造林恢复生境, 无论从竹子资源的恢复, 还是从植物群落结构的恢复方面, 均不是一种有效地恢复大熊猫生境的方式。

关键词: 大熊猫; 生境恢复过程; 群落结构

The Recovery Processes of Giant Panda Habitat in Wolong Nature Reserve, Sichuan China

OUYANG Zhi-Yun¹, LI Zhen-Xin¹, LIU Jian-Guo², AN Li², ZHANG He-Min³, TAN Ying-Chun³ (1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA; 3. China Giant Panda Research Center, Wolong Nature Reserve, Wenchuan 623006, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1840~1849.

Abstract: Protection and restoration of habitat are the most important approaches for giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) conservation. The community structure attributes of rehabilitated habitats for the giant panda in Wolong reserve were comparatively studied by sampling investigation. In this study, we investigated 21 samples that belong to 5 kinds of habitats. They are primitive habitat, the natural recovered habitat logged in 1920~1930's, the natural recovered habitat that logged in 1940~1950's, the natural recover habitat logged after 1970, and the habitat that recovered by artificially planted in 1960~1970's. The results showed that there are significant differences in plant community composition, the edible bamboo resources, species biodiversity, tree numbers (higher than 5 m), average breast height diameters of trees, and maximum breast height diameter of trees in the different habitats. There are differences in some degrees in the bamboo biomass and bamboo regeneration ability. The community similarity between artificial planted habitat and the primitive habitat is less than the similarity between other natural recovery habitats and the primitive habitat. The study suggested the recovery of the giant panda's habitat include the recovery of the panda edible bamboo community, and the recovery of habitat

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(G2000046807); 国家自然科学基金资助项目(49971033)

参加野外调查还有卧龙自然保护区大熊猫研究中心的杨健, 黄金燕。在此一并致谢。

收稿日期: 2002-03-18; 修订日期: 2002-07-05

作者简介: 欧阳志云(1962~), 男, 湖南人, 博士, 研究员。主要从事生态系统服务功能、生物多样性保护、生态规划与评价等研究。e-mail: zyouyang@mail.recees.ac.cn

community structure. The time for recovery of bamboo was relatively short, about 20~30 years. While, the recovery of community structure was relatively time consuming, it was needed about 50 years that the habitats can serve as the suitable habitat for the giant panda, about 70~80 years for the disturbed habitats to recover close to primitive habitat. According to this study, the artificially planted habitat was neither an efficient approach for the bamboo resources recovery, nor for the vegetation community recovery.

Key words: giant panda; habitat recovery processes; community structure

文章编号:1000-0933(2002)11-1840-10 中图分类号:Q14 文献标识码:A

生物的生境是指生物生活的场所,它由生物赖以生存的生物与非生物环境构成。近几个世纪以来,自然资源开发,土地利用的改变,野生生物生境的丧失与破碎化,成为生物物种绝灭速度加快,多样性丧失的主要原因。对野生生物,尤其珍稀濒危物种生境的研究是分析这些物种濒危原因的重要手段,同时还能为制定合理的保护策略提供依据。

大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)原是我国分布较广的一种野生生物,曾广泛分布于我国东南部^[1, 2]。随着人口的增长与人类活动的不断扩展,森林砍伐,农业扩展,大熊猫生境受到严重破坏^[3~5],分布范围迅速缩小,并向高山深谷地带退却^[6~8],大熊猫种群下降,濒临灭绝。

保护与恢复生境是保护大熊猫的最有效途径,并受到人们的广泛重视。秦自生、胡锦矗、潘文石、Taylor、Reid、Schaller 等^[9~11]均从不同角度描述或探讨了大熊猫的生境特点,尤其大熊猫对竹子的选择进行了深入的研究^[7~12]。林业部曾专门组织对四川、陕西、甘肃的大熊猫及其栖息地进行了综合考察。欧阳志云,刘建国等运用地理信息系统研究了大熊猫生境质量评价方法与技术以及卧龙大熊猫生境质量及其空间格局^[4, 5, 13, 14],以及卧龙大熊猫生境的群落结构^[15]。魏辅文等^[16~18]对大熊猫的生境选择进行过一定的研究。由于资料的不足与大熊猫生境的复杂性,对大熊猫生境在人类活动干扰后的恢复过程还研究较少。

本文通过实地样方调查,选择不同时间尺度干扰下大熊猫生境,研究大熊猫的生境受人类活动干扰后的恢复过程以及不同干扰方式对生境恢复的影响,以期为大熊猫生境质量评价提供有益的方法及指标,为大熊猫的生境恢复提供科学的依据。

1 研究地概况

卧龙自然保护区地处横断山脉东部的邛崃山系南坡,属四川省阿坝藏羌族自治州汶川县,位于东经 $102^{\circ}51' \sim 103^{\circ}24'$,北纬 $30^{\circ}45' \sim 31^{\circ}25'$,全区东西长约 52km,南北宽约 62km,总面积约 2000 km²,是我国最大的大熊猫自然保护区之一,也是我国大熊猫数量最多的保护区。卧龙自然保护区所处地带为高山峡谷地带,海拔高度从 1150m 至 6250m,发育并保存了丰富的垂直地带性植被,沿海拔从低到高的植被依次为常绿阔叶林,常绿-落叶阔叶混交林,落叶阔叶林,针阔叶混交林,亚高山针叶林,森林分布的上限可达 3800m;以上则为高山灌丛、高山草甸及高山流石滩稀疏植被带。根据对大熊猫生境的研究,在卧龙大熊猫主要利用的植被类型有针阔混交林、亚高山针叶林与落叶阔叶林,此外还少量地利用常绿落叶阔叶混交林。

2 研究方法

2.1 取样调查方法

为了分析大熊猫生境的自然环境与群落结构,于 1996 年 6 月、1997 年 6 月及 2000 年 8 月在卧龙五一棚大熊猫活动区调查样方 21 个(表 1),根据受人类活动影响的程度及恢复时间的长短,所调查的生境类型可分为 5 类,第 1 类是原始生境,在过去的近 100a 没有被砍伐;第 2 类生境约在 1920~1930 年被砍伐;第 3 类生境约在 1940~1950 年被砍伐,第 2 类生境与第 3 类生境砍伐后自然恢复,并没有再受到人类活动的干扰,目前是大熊猫的活动区;第 4 类是 1960~1980 年被砍伐的生境;第 5 类是原大熊猫生境砍伐后 20 世纪 60 年代所营造的人工林,这两类生境在调查中没有发现大熊猫活动的迹象,因而在本研究中认为是目前对大熊猫不适宜生境数据

每个样方面积 $25 \times 20 \text{m}^2$ 。调查过程中,记录每个样方的海拔高度,坡度,坡向,以及乔木一层(T_1),乔木

二层(T_2),灌木一层(S_1),灌木二层(S_2)的高度与树冠直径,记录样方内所有物种的数量,并测量 T_1 、 T_2 、 S_1 层每株树的高度、胸径、树冠直径。同时,在每个样方内,随机选择 5 个 $1 \times 1 \text{m}^2$ 的小样方,以调查竹子的种类、密度,以及草本植物的种类与数量(包括乔木、灌木树种的树苗)。在每个样方内随机测量 10 株竹子的高度与基径,若小样方内不足 10 株,则全部测量。

表 1 大熊猫生境恢复调查样方属性表

Table 1 Attributes of sampled plots for habitat restoration

样方号 No.	海拔高度(m) Elevation	坡度(°) Slope	坡向 Aspect	植被类型 Vegetation type	竹子状况 State of bamboo	人类活动干扰 Human impacts
3	2630	10	WS	针阔混交林 ⁽¹⁾	冷箭竹 ⁽⁷⁾	原始森林 ⁽¹¹⁾
4	2745	15	N	针叶林 ⁽²⁾	冷箭竹,1983 年开花自然更新 ⁽⁸⁾	原始森林
5	3035	16	S	针叶林	冷箭竹,1983 年开花自然更新	原始森林
6	2840	8	NE	针叶林	冷箭竹,1983 年开花自然更新	原始森林
7	2875	7	W	针叶林	冷箭竹	原始森林
8	2875	7	E	针叶林	冷箭竹,1983 年开花自然更新	原始森林
2	2620	5	W	针阔混交林	冷箭竹,1983 年开花自然更新	1920 年代砍伐 ⁽¹²⁾
16	2505	45	NW	针阔混交林	拐棍竹 ⁽⁹⁾	1920 年代砍伐
17	2765	7	NE	针阔混交林	冷箭竹,1983 年开花自然更新	1920 年代砍伐
1	2600	15	E	针阔混交林	冷箭竹,1983 年开花自然更新	1940 年代砍伐 ⁽¹³⁾
12	2500	15	E	针阔混交林	拐棍竹	1940 年代砍伐
13	2480	30	S	针阔混交林	拐棍竹	1940 年代砍伐
18	2930	15	WS	落叶阔叶林 ⁽³⁾	冷箭竹	1950 年代砍伐 ⁽¹⁴⁾
9	2790	33	N	落叶阔叶林	冷箭竹	1992 年砍伐 ⁽¹⁵⁾
10	2730	22	NE	落叶阔叶林	冷箭竹	1986 年砍伐 ⁽¹⁶⁾
11	2650	10	NE	落叶阔叶林	冷箭竹	1970 年代砍伐 ⁽¹⁷⁾
14	2300	40	NW	落叶阔叶林	拐棍竹	1990 年代砍伐 ⁽¹⁸⁾
15	2325	20	ES	人工红杉林 ⁽⁴⁾	无竹子 ⁽¹⁰⁾	1967 年栽植 ⁽¹⁹⁾
19	2370	20	WS	人工云杉林 ⁽⁵⁾	无竹子	1965 年栽植 ⁽²⁰⁾
20	2540	15	WS	麦吊杉人工林 ⁽⁶⁾	冷箭竹	1972 年栽植 ⁽²¹⁾
21	2590	11	WS	麦吊杉人工林	冷箭竹	1972 年栽植

(1) Coniferous-deciduous mixed forest, (2) Coniferous forest, (3) Deciduous forest, (4) Artificial *Larix mastersiana* forest, (5) Artificial spruce forest, (6) Artificial *Picea brachytyla* forest, (7) Arrow bamboo, (8) Arrow bamboo regeneration after flowering in 1983, (9) Robust bamboo, (10) No bamboo, (11) Primary forest, (12) Secondary forest logged in 1920s, (13) Secondary forest logged in 1940s, (14) Secondary forest logged in 1950s, (15) Secondary forest logged in 1992, (16) Secondary forest logged in 1986, (17) Secondary forest logged in 1970, (18) Secondary forest logged in 1990, (19) Artificial forest planted in 1967, (20) Artificial forest planted in 1965, (21) Artificial forest planted in 1972

2.2 分析方法

(1) 群落结构分析 根据大熊猫生境利用特点,以植株高度为基础,分为乔木层(植株高度大于 5m),灌木层(植株高度在 1.5~5m 之间)及草本层(植株高度小于 1.5m),分析其物种构成。再根据大熊猫生境要求,比较各生境类型的群落构成与群落特征,包括物种丰富度、物种多样性、物种优势度,盖度,树径等。在分析中,应用 Shannon-Wiener 多样性指数估计生境的物种多样性,用 Simpson 指数估计生境的物种优势度。生境盖度由大于 5 米高的树的树冠总面积与样方面积的比来测度。

(2) β 多样性的测度方法 为了比较 5 类生境植物群落在时间梯度上物种的替代程度,本文采用马克平等^[19]及高贤明等^[20]推荐使用的 β 多样性指数 β_{Cs} 。它是由群落相似性系数 C_s (又称为 Sorenson 指数)演变而来的: 万方数据

$$C_s = 2j/(a + b); \beta_{Cs} = 1 - C_s$$

式中, C_s 为相似性指数; a 为群落 A 中的种数(或各物种密度之和); b 为群落 B 中的种数(或各物种密度之和); j 为两个群落中共有的种数(或共有物种中较低密度之和)。具体计算方法可参见孙儒泳一文^[21]。

(3) 生境的群落成熟度 生境的群落成熟度用样方树径的方差比上树径平均值(植株高度大于 5m)来测度, 同时还需要考虑样方的平均树径与平均最大树径。

(4) 竹类的生物量及更新能力 计算比较不同生境类型的竹子种类, 密度及生物量及更新能力。竹子生物量应用秦自生等提出的竹子生物量模型^[12]估计, 更新能力则用竹笋与竹子的数量比表达。

(5) 数据的分析及处理 应用 EXCEL 软件统计分析各样方及生境类型的群落特征值及差异性。

3 结果与分析

3.1 各种生境的群落结构比较

(1) 原始生境 原始生境的主要群落类型为针叶林及针阔叶混交林, 建群种主要有岷江冷杉、川滇长尾槭、疏花槭及糙皮桦等。据所调查的 6 个原始生境样方统计, 该类生境共出现物种 41 种, 其中乔木 6 种, 作为大熊猫食物来源的竹类有冷箭竹, 灌木有 23 种, 草本种类较少(9 种)。

(2) 20 世纪 20~30 年代砍伐后自然恢复生境 此类生境的群落类型均为针阔叶混交林, 乔木层树种主要有岷江冷杉、铁杉、麦吊杉、水青树、红桦、糙皮桦等, 竹类以冷箭竹为主, 也有一部分拐棍竹。乔木有 13 种, 全部物种数为 50 种; 灌木有 19 种; 草本有 15 种, 比原始生境略有增加。

(3) 20 世纪 40~50 年代砍伐后自然恢复生境 群落类型有针阔混交林及落叶阔叶混交林, 乔木层主要树种有铁杉、华山松、疏花槭、糙皮桦、红桦及华榧等, 竹类有冷箭竹及拐棍竹。该类生境中共有物种 72 种, 其中乔木 16 种; 灌木 30 种, 种类较多, 且有一部分高度已接近乔木层; 草本 16 种; 藤本发达, 共有 7 种; 此外还有蕨类 3 种。

(4) 20 世纪 70 年代以后砍伐的恢复生境 群落类型均为落叶阔叶混交林, 乔木层主要是阔叶树种及一些演替的先锋树种, 如藏刺榛、钝叶木姜子、卧龙柳、糙皮桦及疏花槭等, 而岷江冷杉仅少量出现于矮灌木层中, 竹类主要有冷箭竹, 还有部分拐棍竹。该类生境中共有物种 85 种, 是调查的五类生境中物种最多的; 其中乔木 9 种, 灌木发达有 32 种, 有很多与乔木处于同一层次; 草本有 32 种; 藤本有 8 种, 蕨类有 5 种。

(5) 20 世纪 60~70 年代人工种植的生境 群落类型为人工红杉林及麦吊杉林, 乔木层主要有四川红杉、麦吊杉、钝叶木姜子、卧龙柳及大叶柳等, 林下有极少量的岷江冷杉, 主要为灌木树种, 在调查的样方中一半有冷箭竹。此类生境中共有物种 67 种, 其中乔木 8 种; 灌木 22 种; 草本发达, 有 31 种, 部分为阳性植物, 如扭盔马先蒿、乌头等; 藤本有 3 种; 蕨类有 3 种。

表 2 大熊猫不同生境的群落物种结构

Table 2 Species composition in different habitats of Giant Panda

物种 Species	原始生境 ^①	1920~1930 年代砍伐 ^②	1940~1950 年代砍伐 ^③	1970 年代以后砍伐 ^④	1960~1970 年代人工种植 ^⑤
乔木 Tree					
岷江冷杉 <i>Abies faxoniana</i> Rehd et Wils	*	*	*	*	*
川滇长尾槭 <i>Acer caudatum</i> Wall var <i>Prattii</i> Rehd	*	*	*	*	*
疏花槭 <i>Acer laxiflorum</i> Pax	*	*	*	*	*
太白深灰槭 <i>Acer caesium</i>		*	*		
木 <i>Aralia chinensis</i> L.				*	*
中华秋海棠 <i>Begonia sinensis</i>					*
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i> Burkill		*	*		
糙皮桦 <i>Betula utilis</i> D. Don	*	*	*	*	
灰叶木 <i>Cornus poliophylla</i>			*	*	
藏刺榛 <i>Corylus ferox</i>		*	*	*	
青莢叶 <i>Helwingia japonica</i> (Thunb.) Dietr.	*	*	*	*	
四川红杉 <i>Larix mastersiana</i> Rehd et Wils					*
三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i> Bl.			*		
小泡花树 <i>Mitella diphylla</i> Rehd. et Wils		*		*	*
麦吊杉 <i>Picea brachytyla</i> (Franch) Pritz		*			*

续表 2

华山松 <i>Pinus armandi</i> Franch			*		
华西枫杨 <i>Pterocarya insignis</i> Rehd. et Wils	*		*		
湖北花楸 <i>Sorbus hupehensis</i> Schneid			*		*
石灰花楸 <i>Sorbus caloneura</i> (Stapf) Rehd			*		
水青树 <i>Teracatron chinensis</i>	*				
华椴 <i>Tilia chinensis</i> Maxim			*		
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i> (Franch) Fritz	*	*	*		
灌木 Shrub					
细梗吴茱 五加 <i>Acanthopanax evodiaefolius</i> Franch	*	*	*		*
红毛五加 <i>Acanthopanax giraldii</i> Harms	*		*	*	*
冷箭竹 <i>Bashania fangiana</i>	*	*	*	*	*
直穗小檗 <i>Berberis dasystachya</i> Maxim	*		*	*	
瘤枝小檗 <i>Berberis verruculosa</i> Hemsl			*		
木帚子 <i>Cotoneaster dielsianus</i> Pritz		*	*	*	*
角翅卫矛 <i>Euonymus cornutus</i> Hemsl	*		*	*	
紫花卫矛 <i>Euonymus porphyreus</i> Loes	*	*	*	*	*
短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i> Kobuski		*			
拐棍竹 <i>Fargesia rebusta</i> Yi		*	*	*	
腊莲锈球 <i>Hydrangea strigosa</i>	*	*	*	*	*
金丝梅 <i>Hypericum patulum</i>					*
小果冬青 <i>Ilex micrococca</i> Maxim			*		*
宝兴木姜子 <i>Litsea moupinensis</i> H. Lec			*		
钝叶木姜子 <i>Litsea veitchiana</i> Gamble				*	*
蓝锭果 <i>Lonicera caerulea</i> L.	*		*	*	
小叶忍冬 <i>Lonicera microphylla</i>				*	
齿叶忍冬 <i>Lonicera setifera</i> Franch				*	
陇塞忍冬 <i>Lonicera tangutica</i> Maxim	*			*	
刚毛忍冬 <i>Lonicera hispida</i> ex Roem. et Schult			*		*
蕊帽忍冬 <i>Lonicera pileata</i> Oliver		*			
假稠李 <i>Maddenia hypoleuca</i> Koehne	*	*	*	*	*
玉竹 <i>Polygonatum odoratum</i> (Mill) Druce			*	*	
西南櫻桃 <i>Prunus pilosiuscula</i> Koehne	*	*	*	*	*
黄花杜鹃 <i>Rhodocendron lutescens</i> Franch			*		
星毛杜鹃 <i>Rhododendron asterocnoulum</i> Diels	*	*	*	*	*
山光杜鹃 <i>Rhododendron oreodoxa</i>	*				
绒毛杜鹃 <i>Rhododendron pachytrichum</i> Franch	*	*	*		
多鳞杜鹃 <i>Rhododendron polylepis</i> Franch	*	*	*	*	
冰川茶藨 <i>Ribes glaciale</i> Wall	*	*	*	*	*
甘青茶藨 <i>Ribes meyeri</i> Maxim	*	*	*	*	*
红花蔷薇 <i>Rosa moyesii</i> Hemsl. et Wils			*	*	
峨眉蔷薇 <i>Rosa omeiensis</i> Rolfe	*				
小果蔷薇 <i>Rosa rubus</i> Levl. et Vant				*	
秀丽莓 <i>Rubus amabilis</i> Foché	*	*	*	*	
喜阴悬钩子 <i>Rubus mesogaesus</i> Focke	*			*	
卧龙柳 <i>Salix dolia</i> Schneid			*	*	*
大叶柳 <i>Salix magnifica</i> Hemsl.					*
高丛珍珠莓 <i>Sorbaria arborea</i> Schneid			*	*	*
红毛花楸 <i>Sorbus glomerulata</i> Koehne	*	*	*	*	
中华绣线菊 <i>Spiraea chinensis</i> Maxim				*	
紫丁香 <i>Syringa oblata</i> Lindl	*			*	*
桦叶荚 <i>Viburnum betulifolium</i> Batal	*	*	*	*	*
淡红荚 <i>Viburnum erubescens</i> Wall			*	*	*
心叶荚 <i>Viburnum cordifolium</i> Wall		*			
草本 Grass					
乌头 <i>Aconitum carmichaelii</i>					*
腺梗菜 <i>Adenocaulon himalaicum</i> Edgew				*	
尼泊尔香青 <i>Anaphalis nepalensis</i>			*		*
象鼻天南星 <i>Arisaema</i> S. Buchet	*			*	*
艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>					*

续表 2

白孢蒿 <i>Artemisia lactiflora</i> Wall.			*		*
西南细辛 <i>Asarum himalaicum</i>				*	
三褶脉紫菀 <i>Aster ageratoids</i> Turcz	*		*	*	*
落新妇 <i>Astilbe chinensis</i> (Maxim) Franch	*			*	*
多花落新妇 <i>Astille myriantha</i> Diels					*
沟稃草 <i>Aulacolepis treutleri</i> Hack					*
单叶升麻 <i>Beesia calthaeifolia</i>	*	*		*	
大叶醉鱼草 <i>Buddleja davidii</i> Fr.			*	*	
双舌蟹甲草 <i>Cacalia davidii</i> (Franch) Hard. - Mazz			*	*	*
弹裂碎米荠 <i>Cardamine impatiens</i> L.				*	
苔草 <i>Carex</i> sp.					*
灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>					*
魁蓟 <i>Cirsium leo</i> Nakai et Kitag				*	
大萼党参 <i>Codonopsis macrocalyx</i> Diels				*	
无尾果 <i>Coluria longifolia</i> Marim	*	*	*	*	
甘肃瑞香 <i>Daphne tangutica</i>					*
川溲疏 <i>Deutzia setchuenensis</i>					*
糙野青茅 <i>Deyeuxia scabrescens</i>			*	*	*
毛叶吊钟花 <i>Enkianthus deflexus</i> (Griff) Schneid		*			
火烧兰 <i>Epipactis</i> sp.					*
草莓 <i>Fragaria</i> sp. (<i>orientalis</i>)				*	*
六叶律 <i>Galium asperuloides</i>	*	*	*	*	*
深红龙胆 <i>Gentiana rabicunda</i> Franch			*	*	*
顶花螫麻 <i>Laportea terminalis</i> C. H. Wright		*			
宝兴百合 <i>Lilium duechartrei</i> Franch					*
禾叶土麦冬 <i>Liriope graminifolia</i> (L.) Baker				*	*
毛冠菊 <i>Nannoglottis carpesioides</i>				*	
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i> L.	*	*		*	
山酢浆草 <i>Oxalis griffithii</i> Edgew. et Hook. L.	*	*		*	
长药隔重楼 <i>Paris tibetica</i> Franch	*		*	*	*
短柄马先蒿 <i>Pedicularis</i> sp.					*
扭盔马先蒿 <i>Pedicularis davidii</i>					*
林地早熟禾 <i>Phyllostachys nemoralis</i> L.			*	*	*
头状蓼 <i>Polygonum altatum</i>					*
珠牙蓼 <i>Polygonum viviparum</i> L.					*
囊瓣芹 <i>Pternopetalum davidii</i>					*
野荷香(香茶菜) <i>Rabdosia</i> Sp.			*	*	
茜草 <i>Rubia cordifolia</i> L.		*	*	*	
小悬钩子 <i>Rubus nutans</i> Wall	*	*	*	*	
粉刺悬钩子 <i>Rubus</i> sp.				*	*
红毛悬钩子 <i>Rubus pinfaensis</i> Levl. et Vant				*	
川莓 <i>Rubus setchuenensis</i> Buret Franch					*
凹叶景天 <i>Sedum emarginatum</i> Migo		*			
林荫千里光 <i>Senecio nemorensis</i>		*	*		
管花鹿药 <i>Smilacina henryi</i> Wang et Tang		*			
鞘柄菝葜 <i>Smilax stans</i> Maxim	*	*	*	*	*
石生繁缕 <i>Stellaria saxatilis</i> Buch. -Ham.				*	
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>				*	
黄水枝 <i>Tiarella polyphylla</i> D. Don		*		*	
延龄草 <i>Trillium tschonoskil</i> Maxim				*	
藤本 Liana					
狗枣猕猴桃 <i>Actinidia kolomikta</i>	*	*	*	*	
云南勾儿茶 <i>Berchemia yunnanensis</i> Franch				*	
美花铁线莲 <i>Clematis potaninii</i> Maxim	*		*	*	*
须蕊铁线莲 <i>Dematis pogonandra</i> Maxim			*	*	
五叶瓜藤 <i>Holboellia fargesii</i> Reaub			*	*	
巴东忍东 <i>Lonicera henryi</i> Hemsl.			*	*	*
阔叶清风藤 <i>Siphoecia</i> sp.			*	*	
四川清风藤 <i>Sabia schumanniana</i> Diels				*	*

续表 2

红花五味子 <i>Schisandra rubriflora</i> Rehd. et. Wils			*	*
蕨类 Fern:				
连座蕨 <i>Angiopteris</i> sp.				*
蹄盖蕨 <i>Athyrium filixfemiana</i> (L.) Roth	*		*	*
中华蹄盖蕨 <i>Athyrium sinense</i> Rupr.			*	*
鳞毛蕨 <i>Dryopteris</i> sp.		*	*	*
中华荚果蕨 <i>Matteuccia intermedia</i> C. Chr.		*		*
苹叶耳蕨 <i>Polystichum neolobatum</i>				*
凤尾蕨 <i>Pteris</i> sp.				*

① Primitive habitat, ② Habitat logged in 1920~1930's, ③ Habitat logged in 1940~1950's, ④ Habitat logged after 1970's, ⑤ Habitat restored by planting in 1960~1970's

3.2 不同生境的群落结构特征

(1)物种丰富度 根据所调查生境样方的平均物种数得到了物种丰富度的指标,可以发现随生境砍伐后恢复时间的延长,群落的物种丰富度呈递减趋势,1970年代以后砍伐生境的物种丰富度为 38.3、1940~1950年代砍伐生境的物种丰富度为 33.0、1920~1930年代砍伐生境的丰富度为 28.7,原始生境的平均物种丰富度最低,仅为 19.3,人工种植生境的物种丰富度为 30.8,与同时期自然恢复生境相比略低(表 3)。

表 3 不同生境的群落结构特征比较

Table 3 Comparison of attributes of community structure for different habitats

生境类型 Habitat type	原始生境 Primitive habitat	1920~1930 年代砍伐 Logged in 1920~1930's	1940~1950 年代砍伐 Logged in 1940~1950's	1970年代 以后砍伐 Logged after 1970's	1960~1970年代 人工种植 Planting in 1960~1970	F-检验 (p) F-Test (p)
物种数 Number of species	19.3	28.7	33.0	38.3	30.8	0.006**
物种多样性 Biodiversity	1.376	2.172	2.413	2.988	2.732	0.012*
物种优势度 Species dominance	0.422	0.156	0.193	0.293	0.100	0.019*
盖度 Canopy coverage	1.50	2.04	1.23	0.41	1.68	0.002**
植株数 Tree number(>5m)	32.7	46.3	79.3	33.8	100.0	0.054
群落高度 Community height (m)	15.19	13.37	8.22	7.36	11.89	0.075
平均胸径 Average tree diameter (cm)	23.08	17.52	9.39	7.94	14.21	0.036*
最大平均胸径 Average Max. diameter (cm)	75.28	57.80	40.10	15.90	27.20	<0.001**
生境成熟度 Habitat maturity	0.967	0.843	0.787	0.450	0.483	0.143
竹子密度 Bamboo density (ind/m ²)	87.9	32.9	38.7	31.3	1.1	0.011*
竹子生物量 Bamboo biomass (kg/m ²)	7.49	1.20	2.97	3.98	0.10	0.182
竹子更新能力 Renew ability of bamboo	0.122	0.029	0.081	0.221	0.067	0.122

* 为显著差异 stands for significant difference ($p \leq 0.05$), ** 为极显著差异 stands for extremely significant difference ($p \leq 0.01$)

(2)物种多样性 在砍伐后自然恢复的生境中,随恢复时间的加长,物种多样性下降,原始生境的物种多样性最低,而 1960 至 1970 年代人工种植的生境多样性也较高,仅次于 1970 年代以后砍伐的自然恢复生境。而各种生境不同层次的物种多样性(表 4)变化趋势则不同于整个群落多样性的变化特征,人工种植恢复生境的乔木层多样性最低;灌木层物种多样性以 1920 至 1930 年代砍伐后自然恢复生境为最低,以 1970 年代以来砍伐后自然恢复的生境为最高;草本层的物种多样性在原始生境中最低,在人工种植恢复生境中最高。

(3)物种优势度 在所研究的各类生境中,原始生境的物种优势度最高,人工种植恢复生境的物种优势度最低。但在不同群落层次的物种优势度比较中(表 4),可以发现人工种植恢复生境的乔木层物种优势度最高。

(4)群落高度及盖度 砍伐后自然恢复的群落高度随恢复时间的加长呈递增趋势,而 1960 至 1970 年代人工种植的生境群落高度明显高于同期自然恢复的生境的群落高度。各种生境群落盖度的变化趋势与高度略有不同,1920~1930 年代砍伐后自然恢复生境的盖度最高,人工种植生境次之,而 1970 年代以后

砍伐生境的盖度最低。

表 4 各种生境类型分层次物种多样性及物种优势度

Table 4 The species diversity and dominance in different floor of every habitat

生境类型 Habitat type	物种多样性 Species diversity			物种优势度 Species dominance		
	乔木层 Tree	灌木层 Shrub	草本层 Grass	乔木层 Tree	灌木层 Shrub	草本层 Grass
原始生境 Primitive habitat	1.389	1.656	1.007	0.356	0.242	0.511
1920~1930 年代砍伐 Habitat logged in 1920~1930's	1.441	1.180	1.515	0.234	0.206	0.219
1940~1950 年代砍伐 Logged in 1940~1950's	1.704	1.741	1.840	0.286	0.316	0.300
70 年代以后砍伐 Logged after 1970's	1.885	2.416	1.576	0.197	0.141	0.395
1960~1970 年代人工种植 Planting in 1960~1970's	0.924	1.731	2.372	0.523	0.231	0.143
F 检验(P-值) F-Test (P-value)	0.113	0.064	0.001**	0.275	0.282	0.015*

3.3 恢复生境的 β 多样性特征

比较原始生境与其他受干扰生境的群落结构相似性及多样性差异,结果表明原始生境与 20 世纪 20~30 年代砍伐后自然恢复生境的群落相似性最高,随恢复时间的减少其相似性也降低,而人工种植生境的群落多样性则最低(图 1)。β 生物多样性的变化则与群落相似性完全相反。文中还比较了恢复时间相近生境间的多样性差异,图 2 表明原始生境与 1920~1930 年代恢复生境的群落相似性,以及自然恢复时间相近的生境之间的群落相似性都要大于 1970 年代后砍伐自然恢复的生境与人工种植生境的群落相似性。

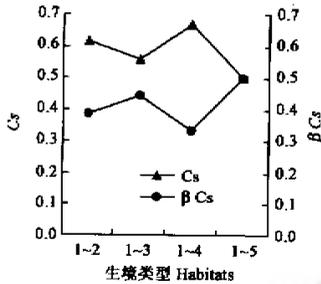
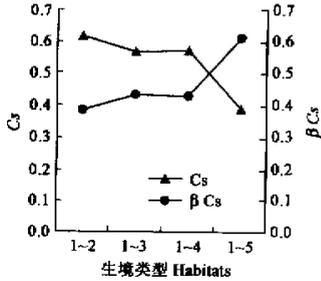


图 1 原始生境与其它恢复生境间 β 多样性指数比较

Fig. 1 The comparison of β diversity index between primitive habitat and other restored habitats

图 2 恢复时间相近的生境间 β 多样性指数比较

Fig. 2 The comparison of β diversity index between habitat with similar restoration time

3.4 不同生境的成熟度特征

在研究中还发现,生境恢复时间越长,树木直径分布变异越大,在本研究中,尝试利用树木直径的分布特征来评价生境的成熟度。结果显示,5 种生境的成熟度以原始生境为最大,依次为 1920~1930 年代砍伐生境、1940~1950 年代砍伐生境、1960~1970 年代人工种植生境、1970 年代以后砍伐的生境。各种生境的平均树径也基本按恢复时间长短由高到分布,但 1960~1970 年代人工种植生境的平均树径大于 1940~1950 年代砍伐生境的平均树径。最大平均树径是不同生境类型中各样方最大树径的平均值,其变化规律同生境成熟度。

3.5 不同生境的竹类生物量及更新能力

竹子生物量在原始生境中最高(7.49kg/m²),在其他 3 种砍伐后自然恢复的生境中其生物量均超过 1kg/m²,而人工种植生境中竹类的生物量仅 0.10kg/m²。竹子密度在原始生境中及自然恢复生境中均高于 30 株/m²,在人工种植生境中仅 1.1 株/m²。竹子更新能力在 1970 年代后砍伐的生境中最高,其次为原始生境,以下依次为 1940~1950 年代砍伐的生境、人工种植的生境和 1920~1930 年代砍伐后恢复的生境。研究

中还比较了竹子开花及未开花对生境中竹类资源生物量、密度及更新能力的影响,竹子于 20 世纪 1980 年代初开花对竹子的生物量、竹子的密度、更新能力都有很大的影响,而且在竹子的平均高度及基径上表现也很明显,开花后的各项指标均显著低于未开发竹子的各项指标。但竹子开花后生境的草本层物种多样性却高于未开花生境,说明未开花生境中生长旺盛的竹类抑制了其它草本植物的生长。

表 5 竹子开花对竹类生物量及其他各项指标的影响

Table 5 The impact of bamboo flowering on the bamboo biomass and other indexes

生境类型 Habitat type	密度(ind/m ²) Density	平均高度 (cm) Average height	基径(cm) Basal diameter	生物量 (kg/m ²) Biomass	更新能力 Renew ability	草本层物 种多样性 Grass biodiversity
竹子未开花 Habitat without bamboo flowering	102.2	83.80	0.325	13.452	0.234	0.807
竹子开花后自然恢复 Natural restoration after bamboo flowering	60.4	25.09	0.143	1.749	0.040	1.441
F-检验(p -值)F-Test(p)	0.163	<0.001**	0.003**	0.002**	0.002**	0.047*

4 讨论

4.1 大熊猫生境恢复包括可食竹群的恢复与森林群落结构的恢复

大熊猫生境恢复包括食物资源——可食竹类的恢复与森林群落结构的恢复,在卧龙自然保护区大熊猫的食物主要为冷箭竹和拐棍竹,而竹子的生物量是生境能否为大熊猫利用的重要因素,很多研究者研究了单位面积上竹类的密度与大熊猫生境选择之间的关系^[10,16,18]。魏辅文等^[18]在冶勒保护区对大熊猫生境选择的研究表明,大熊猫喜爱选择峨热竹(*Bashania spanostachya*)密度为 20~40 株/m² 的生境,而凉山山系马边的大熊猫选择大叶箬竹(*Qiongzhusua macrophylla*)的密度为 10~30 株/m²^[18],Reid 等^[10]在卧龙自然保护区进行的研究认为大熊猫偏好选择冷箭竹的密度为 60~119 株/m²;本研究中只有原始生境的冷箭竹密度处于以上范围,其它自然恢复生境的竹子密度都低于 Reid 的研究结果,但还可以作为大熊猫的利用生境,而人工种植生境的竹子密度则过低,不能满足大熊猫的取食需求。人工种植生境的竹子密度过低可能主要的原因是人工种植的乔木过密,林下的竹子得不到足够的阳光,而且林下草本的发达对竹子的生长也存在竞争和抑制作用;另外一个重要的原因可能是由于无竹子种源以及无幼苗定居。本研究中原始生境与 3 种自然恢复生境的竹子类现存生物量均高于 1kg/m²,根据胡锦矗、魏辅文、秦自生等^[12,17]在卧龙、马边与大风顶自然保护区的研究,大熊猫每天采食的竹子生物量为 12.25~26.41kg/d,因此根据大熊猫每天的可能活动范围这些生境的竹类生物量基本可以满足大熊猫的取食需求,但人工种植生境的竹类生物量则明显太少,不适宜作其取食生境。本研究表明,竹类生物量比竹子的密度用于评价大熊猫生境更有效。若将 5 种生境竹类资源划分为 3 个等级,原始生境的竹类资源最优,其可食竹类生物量及竹子密度均最大;3 种砍伐后自然恢复生境竹类资源差异不大;而人工种植生境的竹类资源过低,不适合被大熊猫所利用。

生境的恢复另一个重要的方面是植物群落结构的恢复,因为好的群落结构有利于大熊猫的隐蔽,也有利于保持大熊猫生殖所需的食物资源与小气候环境。群落结构包括分层情况、乔木层树径的大小,乔木的密度及格局等方面。根据已有的野外研究发现大熊猫交配及繁殖的生境其群落结构一般有以下特征^[12]:乔木层树木种类较少,最大树径较大(90cm 左右),森林覆盖度为 75%~80%。根据本次研究,原始生境群落结构特征与前者相似,乔木种类较少,群落高度高,最大平均胸径较大,乔木层植株密度也较适宜;自然恢复 20 世纪 70~80 年的生境除盖度较大,其余指标与原始生境最接近,因此也最可能被大熊猫所利用。

4.2 大熊猫生境恢复的时间及方式

大熊猫生境恢复的时间主要包括竹类资源恢复和植物群落结构恢复所需的时间,根据本次的调查研究,在自然恢复的生境中竹子资源恢复的时间很短,在 3 种自然恢复生境中竹子资源差异不大,说明竹子资源的恢复仅需 20~30a 左右的时间。植物群落结构的恢复则需要比较长的时间,从群落高度、最大平均胸径、生境乔木层物种多样性、乔木层物种优势度等参数的比较来看,1920~1930 年代自然恢复生境的群落结构比较接近原始生境,1940~1950 年代自然恢复生境的群落结构除群落高度较小外,其他方面也较接近前者;

而这两类生境的成熟度指数均较接近,都大于 0.75。比较不同生境间的群落相似性(β 多样性)也说明自然恢复 50a 以上的生境较接近于原始生境,而恢复 70~80a 的生境其组成及结构与原始生境是十分接近的,人工种植生境与同阶段自然恢复生境相比其群落结构与原始生境相差较多,其主要原因是人工林通常密度大,加上人工抚育,其它树种及大熊猫可食竹子很难在人工林下生长。综合以上的比较,说明生境的群落自然恢复 50~60a 的时间就可以达到较好的结构,经过 70~80a 就基本可以恢复到接近大熊猫的原始生境。本文仅从植物群落结构的角度探讨生境恢复的时间,当然生境恢复还与人类干扰等因素有重要的关系,影响其恢复时间的因素还需要深入进行研究。

本研究对比了自然恢复与人工种植对大熊猫生境恢复的影响,人工种植的竹类资源生物量较低,更新能力也较差,这可能由于皆伐后竹类的种源较少^[12],另外,植树后最初的抚育对竹子幼苗的更新也有限制作用。人工种植生境的群落结构与自然恢复生境的群落结构相比差异也比较大,如乔木层树木过密,树径变异小,乔木层树种优势度过高等,与其它自然恢复生境的群落相似性也较小,这些都说明人工种植不是恢复大熊猫生境的有效方式。而自然生长可有效地恢复其生境,但所需时间较长,人类可在生境演替的不同阶段适当引种竹类及树木,加快生境的恢复过程。

参考文献

- [1] Jia L P (贾兰坡). The fauna in the relic of Xiawanggang in Xichuan county of Henan province. *Culture Relic (in Chinese) (文物)*, 1977, **6**: 41~49.
- [2] Zhu J (朱靖). The Giant Panda (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980.
- [3] Ouyang Z Y (欧阳志云), Tan Y C (谭迎春), Zhang H M (张和民). Spatial characteristic of species diversity in Wolong reserve, Sichuan, China. *China's Biosphere Reserves (in Chinese) (中国生物圈保护区)*, 1995, **3**: 19~24.
- [4] Ouyang Z Y (欧阳志云), Zhang H M (张和民), Tan Y C (谭迎春), et al. Application of geographical information system in habitat assessment of giant pandas in Wolong Biosphere Reserve. *MAB-China's Biosphere Reserves Annually (in Chinese) (中国生物圈保护区)*, 1995, **3**: 13~18.
- [5] Liu J G, Marc Linderman, Ouyang Z Y, Zhang H M, Yang J. Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong nature reserve for giant pandas. *Science*, 2001, **292**: 98~101.
- [6] Wen H R (文焕然). The giant panda in Henan, Hubei, Hunan and Sichuan in the past five thousands of years. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science) (in Chinese) (西南师范学院学报)*, 1981, **1**: 87~92.
- [7] Hu J C (胡锦矗), G Schaller, Pan W S (潘文石), et al. The Giant Panda of Wolong (in Chinese). Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1985.
- [8] Pan W S (潘文石), Gao Z S (高邦生), Lu Z (吕植). The Giant Panda's Refuge in Qinling Mountains (in Chinese). Beijing: Beijing University Press, 1988.
- [9] Schaller G, Hu J C (胡锦矗), Pan W S (潘文石), Zhu J (朱靖). The Giant Pandas of Wolong. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1985.
- [10] Reid D, Hu J C (胡锦矗). Giant panda selection between *Bashania fangiana* bamboo habitats in Wolong Reserve, Sichuan, China. *Chinese J. of Applied Ecology (in Chinese) (应用生态学报)*, 1991, **28**: 228~243.
- [11] Taylor A H and Qin Z S (秦自生). Structure and composition of selective cut and uncut *Abies-Truga* forest in Wolong Natural Reserve, and implications for panda conservation in China. *Biological Conservation*, 1989, **47**: 83~108.
- [12] Qin Z S (秦自生), Allen Taylor, Cai X S (蔡绪慎). Bamboo and forest dynamic succession in the ecological environment of giant panda in Wolong (in Chinese). Beijing: China Forestry Press, 1993.
- [13] Ouyang Z Y (欧阳志云), Liu J G (刘建国), Xiao H (肖寒), et al. 2001, An assessment of giant panda habitat in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica (in Chinese) (生态学报)*, 2001, **21**(11): 1869~1874.
- [14] Liu J G, Ouyang Z Y, Taylor W, et al. Impacts of human factors on wildlife habitat: framework and case study on change habitat for giant pandas. *Conservation Biology*, 1999, **13**: 1360~1370.
- [15] Ouyang Z Y (欧阳志云), Liu J G (刘建国), Zhang H M (张和民). Community structure analysis of giant panda habitat in Wolong. *Acta Ecologica Sinica (in Chinese) (生态学报)*, 2000, **20** (3): 458~462.
- [16] Wei F W (魏辅文), Feng Z J (冯祚建), Wang Z W (王祖望). Habitat selection by giant pandas and red pandas in Xiangling mountains. *Acta Zoologica Sinica (in Chinese) (动物学报)*, 1999, **45**(1): 57~63.
- [17] Wei F W (魏辅文), Hu J C (胡锦矗), Wang W (王维), et al. Estimation of daily energy intake of giant pandas and energy supply of bamboo resources in Mabian Dafengding reserve. *Acta Theriologica Sinica (in Chinese) (兽类学报)*, 1997, **17**(1): 8~12.
- [18] Wei F W (魏辅文), Zhou A (周昂), Hu J C (胡锦矗), et al. Habitat selection by giant pandas in Mabian Dafengding Reserve. *Acta Theriologica Sinica (in Chinese) (兽类学报)*, 1996, **16**(4): 241~245.
- [19] Ma K P (马克平), Liu C R (刘灿然), Liu Y M (刘玉明). The methods for the measure of community biodiversity; II. Measure of β biodiversity. *Chinese Biodiversity (in Chinese) (生物多样性)*, 1995, **3**(1): 38~43.
- [20] Gao X M (高贤明), Ma K P (马克平), Huang J H (黄建辉), et al. Studies on plant community diversity in Donglingshan mountain, Beijing, China; XI. The β diversity of mountain meadow. *Acta Ecologica Sinica (in Chinese) (生态学报)*, 1998, **18**(1): 24~32.
- [21] Sun R (孙儒林). Principles of Zoological Ecology (second edition). Beijing: Beijing Normal University Press, 1992.