

择伐对动物多样性的影响

李义明

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要:择伐是生态林业持续利用的一种途径,即以达到在经济上是可持续的,保持稳定的木材产量,同时保护生物多样性。择伐对动物多样性的影响成为生物多样性保护和生态林业持续性研究的一个焦点。择伐因不同地区和不同森林类型以及择伐木的树种、大小、生长状况、分布格局、择伐的强度等不同,对不同动物类群的影响可能不同。大多数研究认为,在采伐迹地中,分布范围广或广适应种的物种多样性或丰富度将增加,而适应于原始林的专化种或狭生种的物种多样性或丰富度将下降。在自然干扰频繁的地区,择伐对动物多样性影响相对较小。在热带原始林,动物多样性受择伐影响大,而在温带森林,动物多样性受影响小。轻度的择伐对动物多样性影响小,因而与生物多样性保护相协调。采伐时,动物的食物树种、枯死木和为动物提供洞穴的树应得到保护。大多数研究仅比较了择伐对动物多样性的影响,而对择伐对动物多样性影响的生态学机制探讨较少。我国这方面开展的研究较少。未来的研究重点包括了解择伐对动物多样性影响的生态学机理、择伐对动物遗传多样性、生态系统过程、非指示类群的影响以及枯死木的生态功能。

关键词:择伐; 持续林业; 动物多样性; 保护

The Effects of Selective Logging On Animal Diversity

LI Yi-Ming (Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2194~2201.

Abstract: Selective logging is an attempt to sustainably harvest timber resources. It needs to be economically viable, allow sustainable timber production and conserve biodiversity. Much emphasis has been focused on the effects of selective logging on animal diversity. Selective logging has different effects on different animal taxa. Most studies suggest that selective logging increases the diversity and abundance of generalists or common species with wide distributions but reduces the diversity and abundance of specialists or rare species with limited distributions which require primary forest. It has less effect on animal diversity in forest where natural disturbances are frequent. Species in tropical forest are more sensitive to selective logging than temperate forest. Low-intensity selective logging has little effect on animal diversity, and is therefore more compatible with biodiversity conservation. Food tree species, dead wood and trees with hollows important as nest or den sites should be conserved, and human disturbance minimized during logging. Most research to date has been a “before/after” comparison of animal diversity in forest before and after logging, with little analysis of the ecological mechanism by which it affects animal diversity. Very little research on the impacts of selective logging has been conducted in China. Future studies should be focused on understanding the ecological mechanism by which logging changes animal diversity, its effects on the genetic diversity of affected animal species, ecosystem process, non-indicator animal taxa and ecological function of dead wood in forest ecosystem.

Key words: selective logging; sustainable forestry; animal diversity; conservation

文章编号:1000-0933(2002)12-2194-08 中图分类号:Q958.159 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金“九五”生物多样性重大资助项目(39893360);国家科技部“973”生物多样性资助项目(G2000046805);中国科学院创新资助项目(C2999083);中国科学院创新前沿资助项目

收稿日期:2000-12-10 日期:2002-07-10

作者简介:李义明(1961~):男,四川南充人,博士,研究员。主要从事哺乳动物和两栖动物生态学和保护生物学研究。

持续的生态林业被越来越多的人所接受^[1]。持续的生态林业要求森林能提供稳定的木材生产,保护森林生态系统和森林中非木材的价值^[2]。在生态系统水平上,要保护生态系统过程,如化学循环和能量流动;在景观水平上,要保持生态系统的整体性(ecosystem integrity),如保持不同的森林类型和森林结构及生物多样性。

择伐(selective logging)是持续生态林业的一种重要途径^[3]。择伐是指砍伐成熟、过熟和有缺陷的树,留下足够数量健康的有商业价值的树木和其它树种,以确保未来的木材生产量和防止水土流失所需的森林覆盖率^[4]。择伐应用两种基本的造林技术:

- ① 单周期系统 一次作业移去所有可出售的树,再采伐的时间等于树木轮期;
- ② 多周期系统 连续采伐,有选择性地重复移去一部分树木,其周期小于树木的轮期。

两种技术的差异在于多周期系统通常对砍伐后留下来的树木危害小,它依赖于年轻树产生下一代,栖息地改变不大,但砍伐次数和相关的人类活动较频繁。相反,单周期系统能极大地改变栖息地,但砍伐次数和相关的人类活动频率低。实际择伐时,实行哪种系统取决于单位面积上砍伐的树木的比例和数量。多周期系统往往实施于商业树种密度较低的森林,而单周期系统多见于商业树种密度高的区域。

目前,世界对木材的需求量不断增加,而全球保护区的现有面积仍很小,不足土地面积的 5%,木材利用和森林保护矛盾突出。如何协调两者间的关系成为林业持续利用的一个关键问题。择伐通过小心地控制采伐量和采伐的树种,可以把森林保护在较原始的状态,同时,在一定程度上缓解全球市场的木材需求压力,因而受到森林管理者和保护生物学家的重视。择伐要求在经济上是可持续的,以提供稳定持续的木材产量,同时保护生物多样性^[5]。当前,大多数热带森林的采伐是择伐^[6,7]。在南美洲的亚马逊地区,择伐已进行了数十年^[8]。在东南亚的马来西亚、印度尼西亚和非洲的广大地区,择伐非常普遍。择伐无论在森林管理和经济上都有一定的成功之处。但是,择伐对生物多样性的影响,特别是对动物多样性的影响受到越来越多的关注^[8,9],逐渐成为生态林业持续利用和生物多样性保护关注的焦点问题。

1 择伐对动物多样性的影响

1.1 采伐的即时效应

许多学者发现采伐时或采伐后不能立即看到动物^[10],原因是动物大量地从采伐迹地逃走。领域较弱的物种如犀鸟、鹿科动物、野猪等从采伐地逃走。而领域性强的物种,如长臂猿,已被迫在领域边界上活动,尽管不情愿移出保护区,但已移出采伐核心区。马达加斯加的大狐猴(*Indri indri*)采伐时移出保护区,但采伐后又回到它们以前的领域。

1.2 对动物物种丰富度、种群密度、种群丰盛度和行为的影响

择伐因不同地区和不同森林类型,择伐木的树种、大小、生长状况、分布格局、择伐的强度等不同,对不同动物类群的影响可能不同。多数学者研究采伐前后动物物种丰富度和种群密度变化,来阐明采伐对动物的影响。灵长类动物是研究最早和最多的类群,主要原因是大多数灵长类动物分布在热带地区,灵长类动物是热带森林生物量最大,最引人注目的动物类群^[9]。Wilson 和 Wilson^[11]的研究显示,东南亚地区低强度的择伐未导致几种灵长类动物的种群密度下降,这可能与商业价值最大的树种一般不是灵长类动物的食物有关。但也有人报道^[12],采伐能导致灵长类动物种群密度下降。Chiver^[13,14]认为,低强度的采伐造成森林的中度干扰,如林窗(gap),能刺激树冠的生长和增加结果量,反而增加了灵长类动物的食物资源。基于这个原因,Chiver^[13,14]和 Wilson 和 Wilson^[11]相信,有限度的干扰(择伐)不危害灵长类动物。但如果采伐的是它们的食物树,即使是低强度的采伐,食性特化的物种也可能受到严重影响。例如,在马来西亚,四种灵长类(克氏长臂猿 *Hylobates klossii*, 门岛叶猴 *Presbytis potenziani*, 豚尾叶猴 *Simias concolor* and 豚尾猴 *Macaca pagensis*)受到严重干扰^[15],原因是采伐食物树减少了它们所需的食物。

Johns^[9]从食物分布的变化和动物取食行为的变化两个方面来研究择伐效应,认为采伐先导致灵长类食物分布的变化和相应的动物行为变化,然后才影响到种群密度。他研究了马来西亚一种夜行性灵长类和 5 种日行性灵长类动物,其中,两种日行性物种(白掌长臂猿(*Hylobates lar*)和黑脊叶猴(*Presbytis melalophos*))在采伐前观察了 14 个月,在采伐后观察了 12 个月。两个物种在采伐后均显示出活动预算的

变化,花费更多的时间休息,取食时间减少和漫游时间增加。这两个物种都是原始林中领域性很强的物种,采伐前后它们的漫游的范围变化很小。黑脊叶猴社群间活动区域在老采伐迹地重叠增加,而食物资源从均匀分布变成了聚丛分布。他认为灵长类动物在择伐林的行为变化是对食物资源和栖息地破碎和栖息地的其它变化作出的反映。灵长类动物在采伐迹地中能调整取食对策以适应变化的栖息地,因此能持续存活。不过,在灵长类动物中,食物质量的短期下降可引起种群死亡率增加。在马来西亚的一个研究案例中,Johns^[16]发现择伐能导致初生个体的大量死亡,食物减少是主要因素。

东南亚地区的择伐作业开展得较晚,仅有 20~30a 的历史。相比较而言,非洲的择伐开展较早,已有 60~70a 的历史。Plumtre 和 Reynolds^[17]认为大多数热带地区应用单周期采伐系统,采伐周期在 60~70a 左右,而目前的多数研究有以下问题:(1)只考虑 25a 以下的择伐林,没有考虑不同年龄的择伐林;(2)研究地点间灵长类动物的密度变化很大^[17],而许多研究用未采伐迹地作择伐林的对照,因此很难确定动物密度的变化是由采伐效应引起,还是由不同地点的差异引起。Plumtre 和 Reynolds 研究了非洲乌干达布东格(Budongo)保护区 60a 择伐活动对 5 种日行性灵长类动物的影响。该保护区有不同地点采伐量和采伐时间的资料。他们发现只有东黑白疣猴(*C. guereza*)的种群密度与采伐时间显著相关,而种群密度与采伐量无关。对比采伐区和未采伐区,东黑白疣猴、青猴(*C. mitis*)和肯尼亚长尾猴(*C. ascanius*)在采伐区密度反而较高,青猴和肯尼亚长尾猴的密度与混交林在栖息地中所占的比例呈正相关。他们认为采伐对青猴、肯尼亚长尾猴和东黑白疣猴有利,对另外两种灵长类物种影响小。

尽管许多研究检测了择伐对灵长类动物的影响,但大多数方法有不足之处^[18]。一些研究在采伐后不久进行^[19~21],其结果可能不能用作检验采伐效应,因为采伐通常降低森林的再生能力但不立即引起灵长类动物死亡。在许多情况下,动物因干扰而逃离采伐区^[10]。由于灵长类的寿命比较长,许多灵长类动物在采伐多年后才出现种群下降现象^[18]。例如,在肯尼亚阿穆博舍里(Amboseli)地区,采伐 10a 后主要食物损失了近 90%,黑长尾猴的种群下降才检测出。Chapman 等^[18]同意 Plumtre & Reynolds^[17]的观点,认为许多研究没有采伐前后灵长类丰盛度的数据,而是用相邻的地区作对比,这种途径未考虑未干扰森林的灵长类动物丰盛度的自然变异,同时,灵长类动物的密度往往还受捕杀等混合因素的影响^[22~24],这对得出采伐效应的可靠结论有影响。另外,绝大多数研究只针对一种采伐强度^[18]。必须检查不同的采伐强度,有长时间的采伐前后数据,结果才可信。择伐要与灵长类保护协调,直接的判别标准是看采伐后灵长类种群丰盛度是否能够恢复到采伐前它们原来的密度。

Chapman 等^[18]分析了乌干达基巴乐(Kibale)国家公园 5 种灵长类动物,在轻度择伐和重度择伐下,28a 的种群密度变化。他们惊奇地发现青猴和肯尼亚长尾猴在重砍伐区种群一直下降。东方绿疣猴(*Procolobus tephrosceles*)种群在重砍伐区正在恢复,但种群增长非常低(0.005 个社群/(km²/a)。东黑白疣猴在一些干扰的栖息地中表现很好,在砍伐区的密度比非砍伐区高。这与 Plumtre 和 Reynolds^[17]的结果一样。白颊白脸猴(*Lophocebus albigena*)种群密度在重采伐区有下降的趋势。与重采伐区对比,轻采伐区所有灵长类的种群密度均没有明显变化。他们建议低强度采伐能与灵长类保护协调,而目前非洲大多数地区属重采伐区。

鸟类是另一个研究比较多的类群。择伐对鸟类的影响与地理纬度有关。在纬度低的热带和亚热带森林,择伐对鸟类的影响很明显。有人发现择伐减少了食物和适合的营巢地点,对已采伐 25a 的森林的某些鸟类的繁殖起限制作用^[25]。Thiollay^[26]调查了南美法属圭亚那采伐 1a 和 10a 以及未干扰原始热带雨林的鸟类群落。在每公顷移去多于 3 棵树的地方,38%的下层林丛受到破坏,大量的树冠暴露或公开。采伐后,鸟类的物种丰富度、频率和丰盛度下降了 27%~35%,但多样性指数(diversity index)和均匀度(evenness)下降不明显。采伐区与未采伐区的物种组成上的差异为 45%。采伐后有 42%的物种种群急剧下降或消失,但只有 34%的物种种群增加或保持稳定。受采伐干扰最大的是过熟林下层林丛的陆地物种和食虫类物种,它们下降了 70%~90%。与树冠小林窗和维管束植物有关的鸟类仅下降了 10%~30%。体形小的食果类鸟类和与皆伐内数据及林缘有关的物种增加。高强度的采伐减少了鸟类多样性。采伐 10a 后,再生树木已生长繁茂,但栖息地仍未恢复到中度干扰下原始林的物种多样性水平。Marsden^[27]研究了印度尼西亚巴

拉穆(Seram)低地近期采伐的森林和未采伐的森林的鸟类密度,他们发现只有几种特有种在采伐迹地中受到严重影响,大多数鸟类的种群并未下降。Danielsen^[28]认为,在自然干扰频繁的森林,择伐对鸟类群落干扰少。择伐对树冠层和林下灌木层的鸟类影响可能是不同的,它能增加上层树冠的破碎化,从而减少树冠层的鸟类丰富度,而对灌木层的鸟类影响可能较少,甚至可能出现鸟类丰富度增加。

在温带森林,择伐对鸟类的影响相对较小。Robinson & Robinson^[29]在美国温带南宜利若宜洲,用实验砍伐的方法建立了象择伐造成的小林窗,研究小林窗对繁殖鸟类的影响。他们比较了近期砍伐(1~5a)和中期砍伐(10~15a)的采伐迹地,发现采伐迹地鸟类无明显下降。对加拿大北方混交林的研究表明^[30],采伐地的鸟类丰富度反而增加。李世纯等人比较了我国温带长白山原始阔叶红松林(15hm²)样地和择伐林(11.25hm²)样地鸟类的丰富度和群落的相似比(similarity ratio)^[31,32]。择伐林的平均择伐强度为50%(约采伐175~200株/hm²),主要伐除生长衰退的过熟林木、心腐林木、枯立木和下层灌木。两样地共有繁殖鸟36种,其中择伐样地有24种而原始林有29种,两样地鸟类种数差异不明显,但密度差异十分明显。随着时间推移,择伐林鸟类群落逐渐恢复到原始林水平。

昆虫是陆地生态系统的优势种,它们的寿命短,分布广和生活史复杂,对生物环境和非生物环境的变化均十分敏感^[33],因此是生态系统中的指示类群。在昆虫中,蝴蝶是研究的最多的类群,原因是它们容易鉴定和记录^[34]。Lewis^[35]调查了巴西基奎布尔森林择伐对食果类蝴蝶的影响。在每公顷采伐6棵树的强度下,3a后,蝴蝶的物种多样性、物种丰富度分布和单个物种的丰盛度没有明显的变化,地理分布范围局限的物种对采伐亦不敏感。标记释放试验显示大多数物种只短距离迁移,只有个别物种在大于1km距离的样方间迁移。在择伐区和未采伐区,蝴蝶群落是相似的。他们发现该森林经常有飓风和火等自然干扰,所研究的蝶类已适应了自然干扰,可能因此对择伐不敏感。在研究择伐时,必须考虑研究地点的自然干扰和人为干扰。他们的结果支持生态持续林业,在自然干扰施加影响的范围内,择伐是可行的。Willatt等^[36]比较了原始林和采伐6a后的森林的蝴蝶群落。他们发现在采伐迹地反而有较多的物种和个体,稀有种的丰盛度与树冠的暴露程度呈正相关。在同一科内,原始林与采伐迹地物种多样性无差异。但相对丰盛度有明显差异,主要是由一至两个种的丰盛度差异引起。与原始林接近的采伐迹地,在低强度的采伐情况下,蝴蝶的物种丰富度和丰盛度没有减少或下降,但物种的组成发生了改变。

有关择伐对昆虫其它类群影响的研究较少。对巴西中部热带雨林的研究表明^[37],在每公顷采伐8棵树的强度下,4a和10a后,采伐地的蛾类种类、均匀度和丰盛度与未采伐林没有差异。有人发现^[38],皆伐能改变美国俄亥俄温带森林蚁类的物种丰富度,有花植物组成的改变是影响其的关键因素,但择伐对其影响却很小。

1.3 对捕食和疾病传播的影响

有人推测择伐后森林树冠的破碎化能增加非洲某些灵长类动物捕食的敏感性(黑猩猩 *Pan troglodytes*)^[8]。在马来西亚,日行性和夜行性的猛兽捕食者在采伐道和皆伐迹地里密度很高^[16]。择伐可能影响动物对疾病的敏感性,一些动物采伐后因栖息地干扰的胁迫而导致身体的健康条件下降^[39],这会增加对寄生者和疾病的接触。这方面的总体效应仍需探讨^[8]。

1.4 小气候变化

择伐对森林小气候有重要影响。采伐后树冠暴露增加,因而增加了隔离和温度,降低了湿度。在原始森林,采伐后两栖类的生存发生困难。不能容忍快速环境变化的物种很快消失^[16]。许多树冠下生活的鸟类不能容忍变化的小气候。许多物种的活动受温湿度波动的制约,一些树冠下生活的物种从来不越过林窗的亮光斑。改变森林小气候的另一个效应是引起广泛的干旱,导致土壤板结,对陆地鸟类有严重影响。

1.5 卫生伐的效应

这是目前研究的一个热点。采伐枯立木和清理森林地面的枯倒木严重影响以死木为生的动物的生存。在欧洲的许多国家,死木昆虫(saproxyllic insects)的稀有种和受威胁种的比例非常高^[40~42],主要原因是卫生伐。在德国,死木与死木有关。据估计,全球死木甲虫的物种数比哺乳类、鸟类、爬行类和两栖类物种总和还多^[43]。Grove^[43]比较了澳大利亚老生长林(old growth forest)、卫生伐林和再生林的死木甲虫多样

性,发现卫生伐导致死木甲虫的种群丰富度、物种丰富度和群落组成等的明显变化,他认为枯立木和枯倒木应予保留。Ranius^[44]建议保留一定面积的老生长林将有助于保护死木甲虫。

在树洞中营巢的物种可能严重依赖于过熟林,采伐过熟林的枯死木可能导致这些物种种群密度下降^[8],这些物种包括犀鸟、哥斯达黎加鹦鹉和各种澳大利亚桉树林鸟类。一些依赖于树洞的脊椎动物,择伐枯死木减少适宜居住的洞穴数量,可能会影响到它们的生存^[45,46]。尽管木材燃料资源的持续性一直是许多发展中国家关心的原因,很少有人考虑燃料木材利用对除树以外类群的影响^[47]。Du Plessis^[47]的研究显示,移去小于 10a 的枯死木对利用洞穴的脊椎动物多样性有负的影响,在生物多样性保护中,必须考虑保护枯死木。

2 展望

尽管择伐效应研究的类群和地点不相同,但研究的结论却是一致的:在采伐迹地中,分布范围广或广适种的物种多样性或丰富度将增加,而适应于原始林的专化种的物种多样性或丰富度将下降^[48~51]。在自然干扰频繁的地区,择伐对动物多样性影响相对较小^[28,35]。轻度的采伐对森林动物多样性影响小,因而与生物多样性保护相协调。但不同地理纬度的森林对择伐的反映不同,在热带原始林,动物多样性受择伐影响大,而在温带森林,动物多样性受影响小^[29,52]。

目前对择伐效应的认识还很不够。大多数研究仅比较了采伐前后动物多样性的变化,而对择伐对动物多样性影响的生态机理研究很少。只有全面了解了森林中树木特征与各种动物间的关系,如树的种类、大小和有关特征与动物取食、筑巢或居住以及伐木对生物环境和非生物环境的影响,才有可能确定在采伐时哪些树应保留,哪些树可以采伐,以指导林业管理。一些研究已建议有洞穴的树木无论是死树或活树在采伐时应当保留^[53~55],因为它们的洞穴是森林许多动物营巢或躲避天敌的地方。在澳大利亚,约有 300 种脊椎动物利用树木的洞穴^[56]。影响动物占据树洞的主要特征有树的直径、树洞的数量、树的健康状况、周围的植被状况、树的种类、树洞的特征等^[56]。这些机理探讨为择伐提供了科学指导。

有关择伐对物种遗传多样性和生态系统过程影响的研究还比较少。许多物种在轻度的采伐下能恢复到采伐前的种群大小,但择伐是否会导致物种遗传多样性的“瓶颈效应”仍不清楚,如果出现“瓶颈效应”,则会影响物种的长期进化潜力。另外,动物是许多树种的种子扩散者和传播者,择伐能影响动物种群动态和物种多样性,有可能影响生态系统功能。树木的种子扩散取决于整个动物群落的保护^[57]。应加强这些方面的研究。

择伐效应研究的可信度取决于多种因素。对大型的脊椎动物而言,要有长期的数据才能说明问题,一方面是因为只有较长时间的研究才能把采伐效应与采伐时人类活动导致的动物逃离现象分开;另一个原因是大型动物的寿命较长,往往 10 余年到几十年,采伐效应对它们的种群密度的影响需要较长时间才能表现出来。Plumtre 和 Reynolds^[17]建议对灵长类动物而言,至少 2 个采伐周期才能确定采伐效应。De Vries 等^[58]列出了与热带雨林蝴蝶多样性研究有关的范畴和实验设计问题,这些问题包括取样时间较短、取样时间不吻合、取样方法不标准、只运用物种的出现和缺失(present and absent)资料,小样本量的外推和缺乏群落内物种垂直分布数据。他们提出的问题也适合于其它类群的研究。

目前采伐效应研究主要涉及一些指示种或类群,如灵长类、鸟类和昆虫中的蝶类等。Lawton 等^[59]发现,在受干扰的栖息地中,不同指示类群对栖息地变化的反映不一致,它们之间没有相关性。判断采伐效应不能仅局限于几个指示类群,择伐对非指示类群的影响将是未来研究的重点。Lindenmayer 等^[2]认为目前指示类群和整个生物多样性之间的关系还不清楚,指示类群对栖息地变化的反映能否代表整个生物多样性仍需要研究。除考虑指示类群外,还应考虑森林结构指标(林分水平和森林景观水平的特征)如林分结构复杂性、植物物种组成、连通性(connectivity)和异质性(heterogeneity)。他们建议择伐的森林管理应(1)在即将采伐的森林中建立保护区;(2)在生产性的森林中应用结构指标;(3)用多空间尺度的多保护对策,以分散木材材的生态风险。同时应加强择伐的人工控制的实验研究。

我国大部分森林皆伐,但部分森林实行了择伐^[60~62]和采育择伐^[63,64]。择伐对我国森林动物多样性的影响还不清楚,这方面的研究还比较少^[31,32]。应大力开展这方面的工作。由于我国的森林类型的自然保

护区偏少,通过择伐,不但能提供国民经济所需的木材,而且可以把许多非保护区的森林保护在接近自然的状态。

我国许多保护区面临着两难选择:保护区经常会遇到树木受病虫害严重危害而造成大面积死亡的情况。为了防止病虫害从枯死木扩散到其它活树,一些保护区采伐了受病虫害危害的枯死木。不科学地采伐枯死木可能对保护区的动物多样性造成严重影响,但如果不采伐这些树木,又可能导致病虫害的大量传播,造成更多树木死亡。这种两难问题值得研究。另外,一些保护区防止了“滥砍滥伐”活树,但通常对枯死木不重视,森林中的枯死木经常被采伐,用作燃料和木材。这些都是择伐。它们可能对森林动物多样性造成不利影响。枯死木对森林生物多样性保护的意义目前受到越来越多的重视^[47]。应大力加强择伐枯死木的生态效应研究。只有了解了采伐枯死木的生态效应,才能采取科学的决策,确定这些枯死木保留否。

参考文献

[1] Kohm K, and Franklin J F. *Forestry in the 21th century*. Island Press, Covelo, California. 1997.

[2] Lindenmayer D B, Margules C R, and Botkin D B. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation Biology*, 2000, **14**(4), 941~950.

[3] Hartshorn G S. Ecological basis for sustainable development in tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 1995, **26**,155~175.

[4] Rapera R B. Effects of logging on residual stands. *BIOTROP Spec. Publs.*, 1977, **3**:119~125.

[5] Bawa K S, Seidler R S. Natural forest management and conservation of biodiversity in tropical forests. *Conservation Biology*, 1998, **12**, 46~55.

[6] Wadsworth F H. *Forest production for tropical America*. Agriculture handbook 710. U. S. Forest Service, Washington, D. C. 1997.

[7] Kellman M, and T Tackaberry. *Tropical environments; the functioning and management of tropical ecosystems*. Routlege, London. 1999

[8] Johns A D. Selective logging and wildlife conservation in tropical rain forest: problems and recommendations. *Biological Conservation*, 1985. 355~375.

[9] Johns A D. Effects of selective logging on the behavioral ecology of West Malaysian primates. *Ecology*, 1986, **67** (3):684~694.

[10] Wilson W L, and A D Johns. Diversity and abundance of selected animal species in undisturbed forest, selectively logged forest and plantations in East Kalimantan, Indonesia. *Biological Conserevation*, 1982, 205~218.

[11] Wilson C C, and W L Wilson. The influence of selective logging on primates and some other animal in East Kalimantan. *Folia Primatologica*, 1975, **23**:245~274.

[12] Tenaza R R. Territory and monogamy among Kloss' gibbons (*Hylobates klossii*) in Siberut island, Indonesia. *Folia Primatologica*, 1975, **24**:60~80.

[13] Chivers D J, Raemaekers J J, and Aldrich-Blake F P G. Long-term observation of siamang behaviour. *Folia Primatologica*, 1975, **23**:1~49.

[14] Chivers D J. The siamang and the gibbon in the Malay Peninsula. In *Gibbon and Siamang*, ed. By D. M. Rumbaugh. Basle, Karger. 1972, 103~135.

[15] Wilson W L & Wilson W L. *Final report; census of Sumatran primates*. Seattle, Washington, Regional Primate Center, University of Washington. 1973.

[16] Johns A D. Tropical forest primates and logging; can they co-exist? *Oryx*, 1983, **17**:114~118.

[17] Plumtre A T and V Reynolds. The effects of selective logging on the primate populations in the Budongo Forest Reserve, Uganda. *Journal of Applied Ecology*, 1994, **31**:631~641.

[18] Chapman C A, Balcomb S R, and Gillespie T R, et al. Long-term effects of logging on African primate communities: a 28 year comparison from Kibale Nation Park, Uganda. *Conservation Biology*, 2000. 207~217.

[19] Bennett E L, and Z Dahaban. Wildlife responses to disturbances in Sarawak and their implication for forest management. In: R. B. Primack and T. E. Lovejoy, editors; *Ecology, Conservation, and management of Southeast Asian rainforests*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1995.

[20] Ganzhorn J U. Low-level forest disturbance effects on primary production, leaf chemistry, and lemur

- populations. *Ecology*, 1995, **76**:2048~2096.
- [21] Rao M, and C P van Schaik. The behavioral ecology of sumatran orangutans in logging and unlogged forest. *Tropical Biodiversity*, 1997, **4**:173~185.
- [22] Wilkie D A, B Crran, and R Tshombe, *et al.* Modeling sustainability of substance farming and hunting in Ituri forest of Zaire. *Conservation Biology*, 1998, **12**:137~147.
- [23] Wilkie D S, J G Silde, and G C Boundzanga. Mechanized logging, market hunting, and a bank loan in Congo. *Conservation Biology*, 1992, **6**:570~580.
- [24] Rosenbaum B, T G Obrien, and M Kinnard, *et al.* Population densities of Sulawesi crested black macaque (*Macaca nigra*) on Bacan and Suklawest, Indonesia: effects of habitat disturbance and hunting. *American Journal of Primatology*, 1998, **44**:89~106.
- [25] Wong M. *Pattern of food availability and understory bird community structure in a Malaysian rain forest*. Ph.D. thesis, University of Michigan, 1982.
- [26] Thiollay Jean-Marc. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guiana rain forest. *Conservation Biology*, 1992, **6**(1):47~63.
- [27] Marsden C. Changes in bird abundance following selective logging on Seram, Indonesia. *Conservation Biology*, 1998, **12**(3):605~611.
- [28] Danielsen F. Stable environments and fragile communities: does history determine the resilience of avian rain-forest communities to habitat degradation? *Biodiversity and Conservation*, 1997, **4**:401~422.
- [29] Robinson W D and S K Robinson. Effects of selective logging on forest bird populations in a fragmented landscape. *Conservation Biology*, 1999, **13**(1):58~66.
- [30] Hobson K A, and Schieck J. Changes in bird communities in boreal mixedwood forest: harvest and wildfire effects over 30 years. *Ecological Applications*, 1999, **9**(3):849~863.
- [31] Li S C(李世纯), Liu X Y(刘喜悦), Zhang X L(张兴录), *et al.* Effects of logging on forest bird communities. Forest Ecosystem Research(森林生态系统研究), 1994, (7):131~137.
- [32] Zhao S D(赵士洞), Hao Z Q(郝占庆), Tao Y(陶炎), *et al.* The impact of human alteration on the broad-leaved and Korean pine mixed forest. In: Chen L Z and Wang Z W, Eds(陈灵芝和王祖望主编). *The impact of human alteration on ecosystem diversity*(in Chinese). Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1999. 12~78.
- [33] Kremen C, R K Colwell, and T L Erwin, *et al.* Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conservation Biology*, 1993, **7**:796~808.
- [34] New T R. Are lepidoptera an effective 'umbrella group' for biodiversity conservation? *Journal of Insect Conservation*, 1997, **1**:5~12.
- [35] Lewis O T. Effect of experimental selective logging on tropical butterflies. *Conservation Biology*, 2001, **15**(2): 389~400.
- [36] Willott S J, D C Lim, and S G Compton, *et al.* Effects of selective logging on the butterflies of a Bornean Rainforest. *Conservation Biology*, 2000, **14**(4):1055~1065.
- [37] Vasconcelos H L, J M S Vilhena and G J A Caliri. Responses of ants to selective logging of a central amazonian forest. *Journal of Applied Ecology*, 2000, **37**: 508~514.
- [38] Summerville K S, and Crist T O. Effects of timber harvest on forest Lepidoptera: community, guild, and species responses. *Ecological Applications*, 2002, **12**(3): 820~835.
- [39] Rijken A. *field study of Sumatran orang-utans (Pongo pygmaeus abelii, lesson 1827)*; *Ecology, behavior and conservation*. B. V. Wageningen, H. Veenman, 1978.
- [40] Berg A, Ehnstrom R, and Gustafsson L, *et al.* Threats levels and threats to red-listed species in Swedish forests. *Conservation Biology*, 1995, **9**(6): 1629~1633.
- [41] Hyman P S, Parsons, M S. *A Review of the scarce and threatened Coleoptera of Great Britain, Part 1*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 1992.
- [42] Hyman P S, Parsons M S. *A Review of the Scarce and threatened Coleoptera of Great Britain, Part 2*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 1994.
- [43] Grove J. **万方数据** Influence of forest management history on the integrity of the saproxylic beetle fauna in an Australian lowland tropical rainforest. *Biological Conservation*, 2002, **104**: 149~171.

- [44] Ranius T. Influence of stand size and quality of tree hollows on saproxylic beetles in Sweden. *Biological Conservation*, 2002, **103**: 85~91.
- [45] Taylor R J, Savva N M. Use of roosts by four species of bats in state forest in south-eastern Tasmania. *Australia Wildlife Research*, 1988, **15**: 165~171.
- [46] Adam-Gates J. The use of hollow by birds and mammals in dead river red gum and black box trees at Disher Creek, Murray River National Park. South Australia. *South Australia Ornithologist*, 1996, **32**: 65~75.
- [47] Du Plessis M A. The effects of fuelwood removal on the diversity of some cavityusing birds and mammals in South African. *Biological Conservation*, 1995, **74**:77~82.
- [48] Holloway J D, A H Kirk-Spriggs, and V K Chey. The response of some rain forest insect group to logging and conversion to plantation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 1992, **335**:425~436.
- [49] Spitzer K, Novotny M, and Tonner J, *et al.* Habitat preference, distribution and seasonality of the butterflies (Lepidoptera, Papilionoidae) in a montane tropical rain-forest, Vietnam. *Journal of Biogeography*, 1993, **20**:109~121.
- [50] Hill J K, K C Hamer, and L A lace, *et al.* Effects of selective logging on tropical forest butterflies on Buru, Indonesia. *Journal of Applied Ecology*, 1995,**32**:754~760.
- [51] Hamer K C, J K Hill, and L A Lace, *et al.* Ecological and biogeographical effects of forest disturbance ob tropical butterflies of Sumba, Indonesia. *Journal of Biogeography*, 1997, **24**: 67~73.
- [52] Wilcove D S, McLellan C H, and Dobson A P. Habitat fragmentation in the temperate zone. In Soule', M. E. Ed, *Conservation Biology: the science of scarcity and diversity*, Sinauer, Sunderland, 1986. 237~156.
- [53] Thomas J W. *Wildlife Habitats in Managed Forests*. The Blue Mountains of Oregon and Washington. US Department of Agriculture Forest Service, Washington, DC, 1979.
- [54] Anon. *Biodiversity Guidebook*. Forest Practice Code of British Columbia. Ministry of Forest, British Columbia & BC Environment. Vancouver,1995.
- [55] Gibbon P, Lindenmayer D B. Developing tree retention strategies for hollow-dependent arboreal marsupial in the wood production eucalypt forest of eastern Australia. *Australia Forestry*, 1997, **60**:29~45.
- [56] Gibbons P, Lindenmayer D B, and Barry S C, *et al.* Hollow selection by vertebrate fauna in forests of southeastern Australia and implications for forest management. *Biological conservation*, 2002. 1~12.
- [57] Guariguata M R, Adame J J R and Finegan B. Seed removal and fate in two selectively logged lowland forests with contrasting protection levels. *Conservation Biology*, 2000, **14**(4):1046~1054.
- [58] DeVries P J, Murray D, and L Lande. Species diversity in vertical, horizontal, and temporal dimenstons of a fruit-feeding butterfly community in an Ecouadorian rainforest. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1997, **62**:343~363.
- [59] Lawton J H, Bignel D E, Bolton B. Biodiversity in inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 1998, **391**:72~76.
- [60] Shao G F(邵国凡), Zhang P C(张佩昌), Bai G X(柏广新), *et al.* Ecological classification system for China's natural forest: protection and management. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 2001, **21**(9), 1564~1568.
- [61] Wang F Y(王风友), Yang X(杨修), Wu B H(吴榜华). The theorical basement of natural forest conservation engineering. In: Zhang P C, Ed (张配昌主编). *Expert's opinion on natural forest conservation engineering* (in Chinese). Beijing:China Forestry Press, 2000. 86~120.
- [62] Hao Z Q(郝占庆), Dai L M(代力民), Wang Q L(王庆礼). The natural forest conservation engineering and biodiversity conservation. In: Zhang P C, Ed (张配昌主编). *Expert's opinion on natural forest conservation engineering* (in Chinese). Beijing:China Forestry Press, 2000. 120~136.
- [63] Wang Z(王战) The study on growth of crop trees in selective logged broad-leaved Korean pine forest in Northeast China. *Forest Ecosystem Research* (in Chinese) (森林生态系统研究), 1981, (2):1~22.
- [64] Xu Z B(徐振邦) Selection of optimum growth conditions of replanting red pines in selective logged broad-leaved Korean pine forest. *Forest Ecosystem Research* (in Chinese). 森林生态系统研究, 1983, (3), 34~43.