

文章编号: 1008-2786-(2010)1-031-06

山地森林采伐作业的环境成本定量研究

郑丽凤,周新年

(福建农林大学,福建福州 350002)

摘要: 在森林采运作业的成本核算中,不仅要考虑采运作业的各项劳动消耗和物化劳动,还应合理考虑到森林采运作业的环境成本。以天然林择伐试验样地的跟踪调查数据为基础,从涵养水源价值、保持水土价值、固碳释氧价值 3 方面对南方丘陵山地不同强度采伐经营的环境成本进行定量研究。结果表明,弱度择伐环境成本较小,仅 1.7 元/m³,中度、强度择伐环境成本分别为弱度的 5.1、12.2 倍,极强度择伐的环境成本最大,达到 25.3 元/m³,是弱度择伐的 16.2 倍;皆伐由于收获量大,其单位采伐量环境成本为弱度择伐的 14.9 倍,低于极强度采伐。研究结果有助于人们对林业生产的效益有进一步的认识,也期待能对继续本领域的研究有参考价值。

关键词: 采伐强度;环境成本;生态效益;定量分析

中图分类号: S751 **文献标识码:** A

森林采伐在获取木材的经济价值的同时,也在一定程度上对环境造成无形和间接的价值损失,导致森林生态环境恶化,防御自然灾害的能力降低,森林多功能效益的发挥受到了很大影响,从而形成“环境成本”^[1-3]。因此在森林采运作业的成本核算中,不仅要考虑采运作业的各项劳动消耗和物化劳动,还应合理考虑到森林采运作业的环境成本,以通过环境成本来补偿森林采运作业对森林生态环境效益的负面影响^[1]。

森林采伐作业作为森林经营的一项重要措施,对木材生产和林分的生长都有重要作用,是森林经营中人们普遍关心的问题,相关的研究及其成果也不少,但从环境成本的角度来研究的成果还比较少,尤其是在环境成本的定量研究方面基本处于空白。以南方山地天然林择伐试验样地的跟踪调查数据为基础,从森林生态服务功能的角度出发,从涵养水源价值、保持水土价值、固碳释氧价值 3 方面对不同采伐强度的环境成本^[4-6]进行定量研究,有助于人们

对林业生产的效益有进一步的认识。

1 数据与方法

数据来源

数据来源于天然林择伐试验样地的跟踪调查。该试验地位于福建省建瓯市大源林业采育场(117°58'45"~118°57'11"E, 26°38'54"~27°20'26"N) 84 林班 17、18、19 小班,海拔 600~800 m,属低山丘陵地形,坡度 25°~34°,土壤为花岗片麻岩发育而成的山地黄红壤,土层厚度中、疏松,质地为轻壤土或重壤土。试验林前茬为近 50 a 生天然次生林(8 阔 2 马+杉),林分郁闭度 0.9,伐前立地条件基本相同,于 1996-03 进行 5 种不同强度择伐(弱度 13.0%、中度 29.1%、强度 45.8%、极强度 67.1%、皆伐 100%)作业,并设未采伐样地进行对比。伐后林分以常绿阔叶林为主体,之后天然恢复植被。

2006-07 对试验林进行复查,调查与分析内容

收稿日期(Received date): 2009-09-25 改回日期(Accepted): 2009-11-13

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(30972359);福建省自然科学基金资助项目(2008J0327, 2009J01232);福建省科技厅重点科学基金资助项目(2007N0002);福建省林业厅科学基金资助项目(闽林科[2006]7号第14项)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30972359), the Natural Science Foundation of Fujian Province(N0 2008J0327, 2009J01232), the Science Foundation of Important Science Technology of Fujian Province(N0 2007N0002), the Science Foundation of Forestry Committee of Fujian Province(Forestry Science of Fujian[2006]N0 7 N0 14).]

作者简介(Biography): 郑丽凤(1972-)女,福建邵武人,副教授,博士,从事生态采运和森林经理等研究。[Zheng Lifeng female associate professor, doctor specialized in forest ecological harvesting and forest management] E-mail: lzf@163.com

包括植被调查分析、凋落物养分含量和土壤理化性质分析,以此数据为基础,对山地森林采伐作业的环境成本进行定量研究。

研究方法

森林的环境效益主要包括:(1)森林涵养水源效益;(2)森林保持水土效益;(3)森林净化环境效益;(4)森林固碳放氧效益;(5)森林转化太阳能效益;(6)森林游憩效益;(7)森林生物多样性保护效益;(8)森林减轻水灾旱灾效益^[6]。在评估试验林采伐对环境效益造成的影响时,由于实验条件和方法所限,无法对全部效益做出估算,仅从涵养水源、保持土壤和固碳制氧等3方面,运用市场价值法、替代市场法、防护费用法和恢复费用法等方法,以未采伐样地作为参照,评估不同强度的采伐对环境效益造成的影响。采伐经营造成的损失可表达为

$$\Delta W = W'_k - W_k \quad (1)$$

式中 ΔW 各环境效益损失的成本; W'_k 未采伐样地相应指标效能值; W_k 不同强度采伐样地各指标效能值。

2 采伐作业的环境成本分析

涵养水源损失的环境成本

森林的涵养水源的能力与林分类型、郁闭度、坡度、土壤类型、枯枝落叶层、林下植被状况、降雨强度和地表径流等因素有关,由于本研究5种不同强度的采伐样地伐前立地条件基本相同,因此仅从林地土壤持水量和枯枝落叶层吸水量2方面,以未采伐样地作为参照,采用等效价值替代法,即先求得水源涵养量,再等效价值替代为货币进行评价。

2.1.1 林地土壤持水量损失

森林蓄水能力主要取决于森林土壤非毛管孔隙度,按照未采伐样地土壤比采伐样地土壤多贮水的能力来计量,林地土壤贮水损失量可按(2)式计算

$$\Delta W_1 = (A' - A) \times H_i \times \gamma \times P_k \quad (2)$$

式中 ΔW_1 : 土壤持水量损失的环境成本(元/ hm^2); A' : 未采伐样地土壤非毛管孔隙度(%); A : 采伐样地土壤非毛管孔隙度(%); H_i : 第 i 层土壤厚度(cm); γ : 水的比重(t/m^3); P_k : 水价(元/ t)。

根据供水的价格,取得森林蓄水效益的货币转换参数,福建供水价格平均为1.00元/ m^3 左右。采伐对土壤物理性质的主要发生在腐殖质层和0~20 cm 以内的矿质层,因此仅对和0~20 cm 的土壤非

毛管孔隙度进行分层测定,表中非毛管孔隙度为0~10 cm 和10~20 cm 的平均值。据此,得到土壤持水量损失的环境成本(表1),表中弱度和中度择伐时由土壤损失引起的环境成本为负值,说明其为正的环境效益。

表1 土壤持水量损失的环境成本
Table 1 Environmental costs caused by water storage in soil

采伐类型	非毛管孔隙度(%)		土壤持水量损失(t/hm^2)	环境成本 ΔW_1 (元/ hm^2)
	绝对值	变化量		
未采伐	13.23	—	—	—
弱度择伐	16.98	-3.75	-75.0	-75.0
中度择伐	14.75	-1.52	-30.4	-30.4
强度择伐	11.82	1.41	28.2	28.2
极强度择伐	9.95	3.28	65.6	65.6
皆伐	8.14	5.09	101.8	101.8

注:数据来源见参考文献[7]。

2.1.2 枯枝落叶层吸水量损失

森林枯枝落叶层涵养水源量与其性质、蓄积量、结构、湿度及分解状况等密切相关,采用饱和持水量来衡量,其公式如下

$$\Delta W_2 = k(S' - S) \times P_k \quad (3)$$

式中 ΔW_2 : 枯枝落叶层吸水量损失的环境成本(元/ hm^2); k : 枯枝落叶层饱和吸水率(福建林区 k 取2^[8]); S' : 未采伐样地每公顷林区枯枝落叶重量(t/hm^2); S : 采伐样地每公顷林区枯枝落叶重量(t/hm^2)。

据此,得到枯枝落叶层吸水量损失的环境成本(表2)。

表2 枯枝落叶层吸水量损失的环境成本
Table 2 Environmental costs caused by water storage in withered

采伐类型	凋落物重量(kg/hm^2)	凋落物变化量(kg/hm^2)	吸水量损失(t/hm^2)	环境成本 ΔW_2 (元/ hm^2)
未采伐	6150.0	—	—	—
弱度择伐	5293.0	857	1714	1.7
中度择伐	4990.0	1160	2320	2.3
强度择伐	4253.0	1897	3794	3.8
极强度择伐	3491.0	2659	5318	5.3
皆伐	1623.0	4527	9054	9.1

注:数据来源见参考文献[9]。

保肥效益损失的环境成本

2.2.1 凋落物保肥效益损失

林地的枯枝落叶, 在微生物和光、水和温度的综合作用下分解成有机质, 含有大量 N、P 和 K 以及一些微量元素, 从而可有效改良林地的土壤, 其统计量为森林凋落物中 N、P 和 K 的含量 (%)。根据保肥效益与价值公式

$$W_3 = \sum_{i=1}^3 P_i P_2 P_3 / 1\ 000 \quad (i=1, 2, 3 \text{ 分别表示 N、P、K}) \quad (4)$$

式中 W_3 : 凋落物养分价值 (元 / hm^2); P_1 : 实验测定的凋落物 N、P、K 养分总量 (kg/hm^2); P_2 : 纯 N、P、K 折算成化肥 (N 肥为尿素、P 肥为过磷酸钙、K 肥为氯化钾) 的比例, 分别为 79/14、506/62、174/78; P_3 : 各类化肥在当地的销售价 (元 / t)。福建化肥市场各种肥料平均销售价格分别为 1 800、550 和 2 200 元 / t 。

凋落物养分损失的环境成本由下式确定

$$\Delta W_3 = W'_3 - W_3 \quad (5)$$

式中 ΔW_3 : 凋落物养分损失的环境成本 (元 / hm^2); W'_3 : 未采伐样地凋落物养分价值 (元 / hm^2); W_3 : 不同强度采伐样地凋落物养分价值 (元 / hm^2); 凋落物养分损失的环境成本, 见表 3。

表 3 凋落物养分损失的环境成本

Table 3 Environmental costs caused by nutrient losses in withered

采伐类型	凋落物养分含量 (kg/hm^2)			凋落物养分价值 W_3 (元 / hm^2)	环境成本 ΔW_3 (元 / hm^2)
	N	P	K		
未采伐	29.16	17.19	23.32	487.8	—
弱度择伐	22.23	14.92	20.90	395.3	92.5
中度择伐	21.36	14.68	18.07	371.5	116.3
强度择伐	18.73	13.49	16.04	329.5	158.3
极强度择伐	11.62	10.17	16.94	246.8	241.0
皆伐	10.18	7.94	7.21	174.4	313.4

注: 数据来源见参考文献 [8]。

2.2.2 土壤保肥效益损失

土壤养分是土壤肥力的重要指标, 是林木生长发育的重要营养条件。森林采集作业后, 林地环境发生不同程度的变化, 经微生物分解、矿化得到的养分和随水土流失的养分数量都有所增加。其中土壤主要养分 N、P、K 的含量变化较为明显, 公式为

$$W_4 = D \times \sum_{i=1}^3 P_i P_2 P_3 / 1\ 000$$

$$(i=1, 2, 3 \text{ 分别表示 N、P、K}) \quad (6)$$

式中 W_4 : 土壤养分价值 (元 / hm^2); D : 有林地比无林地减少侵蚀量 (t/hm^2), 按每公顷森林每年可防止土壤流失量为 32.3 t 计算^[10]; P_1 : 实验测定土壤中 N、P、K 含量 (g/kg)。

土壤养分损失的环境成本, 见表 4。

表 4 土壤养分损失的环境成本

Table 4 Environmental cost caused by soil nutrient

采伐类型	土壤养分含量 (g/kg)			土壤养分价值 W_4 (元 / hm^2)	环境成本 ΔW_4 (元 / hm^2)
	全 N	全 P	全 K		
未采伐	0.95	0.092	54.29	8 931.0	—
弱度择伐	0.99	0.106	53.02	8 744.8	186.2
中度择伐	0.97	0.108	49.70	8 212.3	718.7
强度择伐	0.84	0.091	38.60	6 407.6	2 523.4
极强度择伐	0.77	0.09	36.18	6 000.9	2 930.1
皆伐	0.65	0.089	34.97	5 769.5	3 161.4

注: 数据来源见参考文献 [7]。

固碳和制氧损失的环境成本

即植物每生产 1 g 干物质需要 $\text{CO}_2 = 1.629 \text{ g}$ 释放 $\text{O}_2 1.2 \text{ g}$ 则 CO_2 固定量 = 森林生长量 \times 木材绝干重 \times (1 + 根、枝生长量占木材年生长量比值) $\times 1.629$; 氧气释放 = 森林生长量 \times 木材绝干重 \times (1 + 根、枝生长量占木材年生长量比值) $\times 1.2$ ^[11]。取一般树根生物量为树干的 25%, 枝丫生物量为树干的 18%, 木材的绝干重平均取 0.45 t/m^3 , 计算出 CO_2 固定量后, 还需要折合为纯碳。根据 CO_2 分子式和原子量, $\text{C}/\text{CO}_2 = 0.2729$, 即: 折合纯碳量 = CO_2 固定量 $\times 0.2729$ 。

采用工业固碳影子价格法的固碳价 273.3 元 / t , O_2 价格采用工业制氧价 375 元 / t 。虽然固碳与制氧是同一过程, 但其效益却是 2 个方面, 因此分别用下式计算

$$W_5 = G \times 0.45 \times 1.43 \times 1.629 \times 0.2729 \times 273.3 \quad (7)$$

$$W_6 = G \times 0.45 \times 1.43 \times 1.2 \times 0.2729 \times 375 \quad (8)$$

式中 W_5 : 固碳价值 (元 / hm^2); W_6 : 制氧价值 (元 / hm^2); G : 年生长量 (m^3/hm^2)。

固碳和制氧损失的环境成本, 见表 5。弱度、中度和强度择伐平均年生长量大于未采伐样地, 因此其择伐所引发的环境成本为负值, 即为环境效益。

采伐环境成本评价

从涵养水源、土壤保肥和固碳制氧等 3 方面分

析采伐经营的环境成本, 汇总见表 6。

从表 6 可见, 相对于未采伐样地, 弱度和中度土壤持水量有正的环境效益, 在固碳制氧上弱度、中度和强度也有正的环境效益。在总成本中, 土壤养分损失的环境成本所占的份额最大, 其次为制氧的环境成本, 枯枝落叶持水量的环境成本所占份额最小。从总成本看, 随着采伐强度的增大, 环境成本增加, 弱度择伐环境成本仅为 58.3 元 / hm², 中度、强度、极强度择伐环境成本分别为弱度择伐的 11.2、39.8、64.6

倍, 皆伐的环境成本最高, 为弱度择伐的 89.4 倍。

表 7 为单位采伐量的环境成本。弱度择伐单位采伐量环境成本较小, 仅 1.7 元 / m³, 说明对弱度择伐其环境成本在 10⁻³后基本可以不计; 中度、强度择伐单位采伐量环境成本分别为弱度择伐的 5.1 和 12.2 倍; 极强度采伐的单位采伐量的环境成本最大, 达到 27.6 元 / m³, 是弱度择伐的 16.2 倍; 皆伐由于收获量大, 其单位采伐量环境成本为弱度择伐的 14.9 倍, 低于极强度采伐。

表 5 固碳和制氧损失的环境成本

Table 5 Environmental costs caused by carbon sequestration and oxygen releasing

采伐类型	平均年生长量 (m ³ / (hm ² · a))	固碳价值 W ₅ (元 / hm ²)	固碳环境成本 ΔW ₅ (元 / hm ²)	制氧价值 W ₆ (元 / hm ²)	制氧环境成本 ΔW ₆ (元 / hm ²)
未采伐	5.01	391.7		1 450.8	—
弱度择伐	5.41	423.0	-31.3	1 566.6	-115.8
中度择伐	5.43	424.5	-32.8	1 572.4	-121.6
强度择伐	6.08	475.4	-83.7	1 760.6	-309.8
极强度择伐	3.59	280.7	111.0	1 039.6	411.2
皆伐	0.58	45.3	346.4	168.0	1 282.8

注: 数据来源见参考文献 [12]。

表 6 环境成本总量

Table 6 Total environmental costs (元 / hm²)

采伐类型	涵养水源环境成本		土壤保肥环境成本		固碳制氧环境成本		总成本
	土壤持水量 ΔW ₁	枯枝落叶持水量 ΔW ₂	凋落物养分 ΔW ₃	土壤养分 ΔW ₄	固碳 ΔW ₅	制氧 ΔW ₆	
弱度择伐	-75.0	1.7	92.5	186.2	-31.3	-115.8	58.3
中度择伐	-30.4	2.3	116.3	718.7	-32.8	-121.6	652.5
强度择伐	28.2	3.8	158.3	2 523.4	-83.7	-309.8	2 320.2
极强度择伐	65.6	5.3	241.0	2 930.1	111.0	411.2	3 764.2
皆伐	101.8	9.1	313.4	3 161.4	346.4	1 282.8	5 214.9

表 7 单位采伐量的环境成本

Table 7 Environmental costs of unit cutting (元 / m³)

采伐类型	涵养水源环境成本		土壤保肥环境成本		固碳制氧环境成本		合计
	土壤持水量 ΔW ₁	枯枝落叶持水量 ΔW ₂	凋落物养分 ΔW ₃	土壤养分 ΔW ₄	固碳 ΔW ₅	制氧 ΔW ₆	
弱度择伐	-2.2	0.1	2.7	5.5	-0.9	-3.4	1.7
中度择伐	-0.4	0.0	1.6	9.6	-0.4	-1.6	8.7
强度择伐	0.3	0.0	1.4	22.6	-0.7	-2.8	20.8
极强度择伐	0.5	0.0	1.8	21.5	0.8	3.0	27.6
皆伐	0.5	0.0	1.5	15.3	1.7	6.2	25.3

3 小结与讨论

以天然林择伐试验样地的跟踪调查数据为基础, 从涵养水源价值、保持水土价值和固碳释氧价值 3 方面对采伐经营的环境成本进行定量研究, 研究结果表明, 随着采伐强度的增大, 环境成本增加。从单位采伐量的环境成本看, 弱度择伐环境成本较小, 仅 1.7 元 / m^3 , 进一步增大采伐强度, 则采伐经营的环境成本就不可忽略, 极强度采伐的单位采伐量的环境成本最大, 达到 27.6 元 / m^3 , 是弱度择伐的 16.2 倍; 皆伐由于收获量大, 其单位采伐量环境成本为弱度择伐的 14.9 倍, 低于极强度采伐。

由于试验条件的限制, 本研究仅从涵养水源、土壤保肥和固碳制氧等 3 方面分析采伐经营的环境成本, 对水土保持、净化环境、动植物生境和生物多样性保护等影响尚未进行科学的计量, 另一方面, 即使在生态效益物理量已知的条件下, 选择合适的经济转换参数也是较有争议的, 有些国内外目前还没有切实可行的计量标准, 这都影响到采运作业的环境成本核算。此外本文中的实验数据为伐后 10 年的, 严格说来并不是作业当年的环境成本, 因此实际采伐作业的环境成本要大于本研究结果, 但即使是这样一个保守的估计, 也有助于人们对采伐的环境成本有一个初步认识。

森林采伐作业环境成本的研究, 尚处于起步阶段, 相关文章更是凤毛麟角。从理论上说, 环境价值评价基本理论与方法不尽完善, 有待于进一步研究, 从实践上, 森林采伐对森林生态环境和环境服务功能的影响是渐进的, 其影响程度取决于采运作业方式、采伐强度、生产规模、生态环境的稳定性和恢复能力等因素。因此, 采伐作业的环境成本核算中, 必须通过对不同林型条件下伐区进行生态定位研究, 为科学的核算采运作业环境成本提供可靠的技术支持。

参考文献 (References)

[1] Qi Chunhua, Zhu Shoulin, Wang Xiaoliang et al. Environmental costs of forest operations [J]. Forest engineering 2003, 19(6): 3 ~

5[戚春华, 朱守林, 王效亮, 等. 森林采运作业环境成本分析 [J]. 森林工程, 2003, 19(6): 3 ~5]

[2] Li Zhifeng. Study on environmental cost for sustainable management of commercial plantation [D]. Beijing: Agriculture University of China 2001 [李智勇. 商品人工林可持续经营的环境成本研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2001]

[3] Pimentel D. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits [J]. Science 1995, 267: 1117 ~ 1123

[4] Costanza R. The value of the world ecosystem services and natural capital [J]. Nature 1997, 389: 253 ~ 260

[5] Michel G, J den Elzen and Paul L. Lucas. The FAR model: A tool to analyse environmental and costs implications of regimes of future commitments [J]. Environmental Modelling and Assessment 2005, 10(2): 115 ~ 134

[6] Richard B. Howarth, Stephen Farber. Accounting for the value of ecosystem services [J]. Ecological Economics 2002, (41): 421 ~ 429

[7] Zheng Lifeng, Zhou Xinjian, Wu Zhilong et al. Analysis on soil physico-chemical properties of natural forest 10 years after high intensity cutting [J]. Forest Research 2008, 21(1): 106 ~ 109 [郑丽凤, 周新年, 巫志龙, 等. 天然林不同强度采伐 10 年后林地土壤理化性质分析 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(1): 106 ~ 109]

[8] Jiang Chuan, Yang. Study on economic evaluation of forest environmental effect [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University 2006 [江传阳. 森林环境影响经济评价的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2006]

[9] Zhou Xinjian, Wu Zhilong, Zheng Lifeng et al. Biomass and nutrient content of forest litter in natural forest of different intensity harvest after ten years [J]. Scientia Silvae Sinicae 2008, 44(10): 25 ~ 28 [周新年, 巫志龙, 郑丽凤, 等. 天然林择伐 10 年后凋落物现存量及其养分含量 [J]. 林业科学, 2008, 44(10): 25 ~ 28]

[10] Guo Zhiwei. Regional Forest Sustainable Management: A Case Study from the Baibe Forestry Bureau [D]. Harbin: Northeast Forestry University 2003 [郭志伟. 白河林业局区域森林可持续经营研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2003]

[11] Zhou Xiaofeng. Jiang Minyuan. Qualification evaluation and compensation for forest benefits in Heilongjiang Province [J]. Scientia Silvae Sinicae 1999, 35(3): 97 ~ 102 [周晓峰, 蒋敏元. 黑龙江省森林效益的计量、评价及补偿 [J]. 林业科学, 1999, 35(3): 97 ~ 102]

[12] Zheng Lifeng, Zhou Xinjian. Dynamic effects of selective cutting intensity on the species composition and diversity of natural forest [J]. Journal of Mountain Science 2008, 26(6): 699 ~ 706 [郑丽凤, 周新年. 择伐强度对天然林树种组成及物种多样性影响动态 [J]. 山地学报, 2008, 26(6): 699 ~ 706]

A Quantitative Study on Environmental Costs of Mountain Forest Cutting Operation

ZHENG Lifeng, ZHOU Xinjian

(Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: In the forest harvesting cost accounting, it is not only need to consider cutting cost of labor, but should also consider environmental costs, thus to compensate the negative impacts of forest harvesting to economical benefits and ecological benefits. In this paper, the environment cost of cutting operating were evaluated based on the data of tracking investigation of natural forest selective cutting plots. The plots were set up in DaYuan Forest Logging and Regeneration Station located in Jianou County, Fujian Province. The experimental stands were harvested by selective cutting of different intensities (low intensity of 13.0% in volume, medium intensity of 29.1%, high intensity of 45.8%, over high intensity of 67.1%) in November, 1996. The uncutting and clear cutting plots were set as controls. In July 2006, the regeneration investigation was conducted again, forest litters were collected and soil sections were examined in every plot as well. Thus environmental costs of logging operations were evaluated quantitatively from the conversed values of water and soil conservation, carbon sequestration and oxygen releasing. The results show that environmental cost of low intensity selective cutting is the least on ¥1.7 Yuan/m³, while that of medium and high intensity cutting were 5.1 Yuan/m³, 12.2 times of that of low intensity. Over high intensity selective ranks the highest, which is 27.6 Yuan/m³, and is 16.2 times of that of low intensity selective cutting. Due to its more timber volume harvesting, the cost of clear cutting is lower than that of over high selective, which is 14.9 times of that of low intensity. The findings are helpful to understanding forestry production benefit.

Key words: cutting intensity, environmental cost, ecological benefits, quantitative analysis

封面照片说明: 藏东南多依冰川与冰湖

西藏东南部的岗日嘎布山是青藏高原南部边缘受西南季风影响最强的一条山脉, 由于降水(雪)丰沛, 也是青藏高原冰川覆盖率最高的山脉之一, 山的北面是雅鲁藏布江的支流帕隆藏布江。多依弄巴位于岗日嘎布山西段的北坡, 流向自南向北, 汇入帕隆藏布江上游的然乌湖。多依冰川和冰湖发育在多依弄巴的上游, 冰湖面积 0.334 km², 原有多条冰川与冰湖相连, 现仅有一条冰川直接与冰湖相连。经将多依弄巴 2005/2006年的航片与 1980年代的地形图比较, 20多年来, 多依冰湖面积在缩小, 且变化量较大, 面积减小了 0.023 km²。究其原因, 在于冰川退缩, 使补给冰湖的水量减少。照片清楚地反映了冰川退缩遗留下的大量冰碛物堆积在湖岸边及其附近, 显示出环境变化(主要是气温升高)对冰川和冰湖影响强烈。

(山水)