

## 人类活动对流域森林景观的影响

郭宗锋<sup>1,2</sup>, 马友鑫<sup>1</sup>, 李红梅<sup>1</sup>, 刘文俊<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 2. 宜宾学院生物工程系, 四川 宜宾 644000)

**摘要:** 人类活动从各个尺度影响森林生态系统。以西双版纳流沙河流域为研究区域, 利用 1988 和 2003 年两期 Landsat TM/ETM 遥感影像, 根据景观生态学原理与方法, 分析了坝区、山区及其中间地带(边缘区)人类活动对森林覆盖率及森林景观的影响。结果表明, 地形越平坦, 森林覆盖率越小; 人口密度越大, 离居民点越近, 人类活动对森林覆盖率、森林斑块平均面积以及森林斑块边界密度的影响越大; 山区森林的变化与坝区和边缘区相反: 离居民点越近, 森林覆盖率越大, 破碎化程度越小; 受森林保护等政策的影响, 15 年来尽管森林覆盖率降低, 但森林斑块平均面积增大。从 1988~2003 年, 边缘区的森林受破坏最严重, 其森林覆盖率、斑块平均面积都下降较多, 而边界密度增加较大, 破碎化程度最剧烈; 人类活动对森林影响的空间范围扩大。居民点周围的森林破坏普遍很严重, 容易引发局地自然灾害, 这是制定流域管理政策时需要重点考虑的问题之一。

**关键词:** 人类活动; 森林破碎化; 景观生态

中图分类号: S717

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0038-05

## Impact of Human Activities on Forest Landscape in the Liushahe Watershed in Xishuangbanna, Southwest China

GUO Zong-feng<sup>1,2</sup>, MA You-xin<sup>1</sup>, LI Hong-mei<sup>1</sup>, LIU Wen-jun<sup>1</sup>

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Yibin College, Yibin, Sichuan 644000, China)

**Abstract:** To assess the spatial and temporal changes of forest landscape in the Liushahe watershed, Yunnan Province, Southwest China, two Landsat TM/ETM images from 1988 and 2003 were classified by Erdas Imagine then converted to shape format based ArcView, and rest of the analyses was performed in GIS environments. A forest fragmentation index was produced for mountainous area, champaign area and between (edge area) that combined measures of forested area, average patch area, perimeter density and fractal dimension. The results show that both population density and distance to residential area impact on forested area and forest fragmentation index near residential area. And significantly negative correlation was found between fragmentation index and distance to residential area in champaign and edge. While forest coverage, average patch area were positively correlated with distance to residential area in mountain area. Average patch area enlarged in mountain area because many strong measures had been taken against forest destroy since 1980s. The spatial variation of the effects of human activities on forest landscape was extended. Mountainous forest near campaign was destroyed very seriously from 1988 to 2003. Forest near residential area was destroyed so much that it can induce natural disasters, which threatens local human activities. So the destruction of forest must be paid more attention.

**Key words:** human activities; forest fragmentation; landscape ecology

人口增长和人类活动范围的扩大对森林生态系统产生了重要影响<sup>[1-4]</sup>, 但已有的研究多是从区域和全球的尺度进行的, 从景观尺度进行的研究相对较少<sup>[5]</sup>, 相关的研究主要是从土地利用的角度, 将森林景观变化作为土地利用变化的一部分、人口作为土地利用变化的一个驱动因子加以考虑<sup>[6-8]</sup>。研究结果表明, 人口压力的增大使森林大面积减少, 破碎化程度加重, 残余森林的生态服务功能下降<sup>[1, 6-8]</sup>; 另外, 人类活动还通过改变区域气候、水文循环等对森林景观产生间接影响<sup>[9, 10]</sup>。

在交通不便、以农业生产为主的农村地区, 当地居民一般以居民点为中心从事各种生产生活活动, 因而其对森林的影响也可能以居民点为中心向周围扩散。在西双版纳地区, 受自然环境和传统习俗的影响, 各民族对森林的利用方式也有很大差别<sup>[11, 12]</sup>。本文通过分析西双版纳流沙河流域 1988 年和 2003 年以居民点为中心的森林景观特征及其变化, 来探讨当地人类活动对森林影响的空间及时间特点, 为今后深入探讨森林变化的环境影响奠定基础, 同时也为生态保护和恢复提供参考。

\* 收稿日期: 2005-08-20

作者简介: 郭宗锋(1978-), 男, 山东济宁人, 助教, 主要从事土地利用变化及其环境影响研究; 通讯作者: 马友鑫。

### 1 研究地点

流沙河流域位于云南省西双版纳傣族自治州勐海县和景洪市境内,其中勐海水文站控制的流域面积为 978 km<sup>2</sup> (本文只研究勐海水文站控制的流域)。该区域全部位于勐海县境内,约 100°5' ~ 100°35' E, 21°40' ~ 22°6' N, 海拔 1 200 ~ 2 000 m, 包括勐遮、勐混坝子及勐海坝子的一部分,其中勐遮坝子是西双版纳最大的坝子,水热条件优越,自古就是滇南的“鱼米之乡”。居民以傣族为主,大部分居住在坝区;山区民族主要有哈尼族、拉祜族、布朗族。流域纬度较低,处于热带北缘,一年分干季(11 ~ 4月)和雨季(5 ~ 10月),雨季受西南季风控制,雨水较多;干季降水较少,降水强度不大。土壤类型的分布具有明显的地域特征:800 ~ 1 500 m 发育着赤红壤(砖红壤性红壤),1 500 ~ 2 000 m 则是红壤。植被以南亚热带季风常绿阔叶林和思茅松林为主,在坝区边缘和村寨附近有茶树-樟脑树-栗类的混生林分布。

### 2 数据来源与处理方法

本研究所用的遥感数据为两期 Landsat TM/ETM 影像,成像时间分别为 1988 年 2 月 2 日和 2003 年 3 月 7 日,地面分辨率分别为 30 m 和 15 m,影像完全覆盖研究区域。此前刘文俊<sup>[6]</sup>已完成 1988 年影像的几何纠正,所以在 2003 年影像纠正时以 1988 年影像作为参考,纠正后 RMS 小于一个像元。由于影像清晰无云,因此经几何纠正后直接利用 Erdas Imagin8.6 软件进行监督分类,分类时参考了 1996 年绘制的《勐海县土地利用现状图》。分类后的栅格图经 clump, eliminate(将小于 4 个像元的斑块删除), neighborhood(3 × 3)处理后利用 ArcView 3.2 软件转成矢量格式,并将面积小于 0.5 hm<sup>2</sup> 的斑块合并到与之相邻且面积最大的斑块内,最后利用 ArcInfo8.3 对分类结果作进一步处理得到流沙河流域森林的图形和属性数据。

从 1:75000 的《勐海县土地利用现状图》上提取出 222 个居民点,然后对坝子边界作宽度为 1 km 的缓冲区分析,以缓冲区为界,以内的居民点作为坝区居民点,以外的为山区,缓冲区内的则作为边缘区居民点。以这些居民点为中心,分别对坝区(Champaign area)、山区(Mountain area)和边缘区

(Edge area)作 0.5 km, 1.0 km ..... 5.0 km 的缓冲区分析,将缓冲区图层分别与 1988 和 2003 年的森林覆被图叠加,进而分析坝区、山区和边缘区森林变化与居民点距离的关系。

边界密度(perimeter density)是某种景观或类型的总边长与总面积的比值,揭示了景观或类型被边界分割的程度,是景观破碎化程度的直接反映<sup>[13]</sup>。通常情况下,比值越大,其形状越不规则<sup>[14]</sup>,斑块与外界的物质与能量交换程度越高<sup>[15]</sup>。

### 3 结果与分析

由图 1 可以看出,1988 年和 2003 年,无论坝区、边缘区还是山区,流沙河流域森林覆盖率与居民点的关系都十分密切:在坝区和边缘区,离居民点越远,森林覆盖率越大,而山区则相反,离居民点越远,覆盖率越小;居民点密度越大(居民点密度是坝区 > 边缘区 > 山区),覆盖率越小。1988 年,在山区居民点周围 1.5 km 内,森林覆盖率随着与居民点距离的增大而下降,边缘区森林覆盖率在居民点周围 2 km 内随距离的增大而增大,坝区森林覆盖率则是在居民点 1.5 km 外才开始有较明显的增大,说明 1988 年山区和坝区人类活动对森林的影响大约在居民点周围 1.5 km,而边缘区人类活动的影响达到 2.0 km。2003 年坝区和山区人类活动对森林的影响范围与 1988 年一样,都在 1.5 km 处,但边缘区为 2.5 km,比 1988 年多出了 0.5 km,即人类活动影响范围扩大了。

流沙河流域是滇南的鱼米之乡,也是普洱茶的主要产地之一,土地开发利用历史悠久,尤其在坝区,地势平坦,水热条件优越,十分适合农业生产活动。随着人类活动的增强,坝区基本上已经没有森林覆盖,因此从 1988 ~ 2003 年,在坝区居民点周围 1.5 km 范围内森林覆盖率变化很小。边缘区的居民点既靠近坝区又靠近山区,但坝区已基本上没有森林,因此该区居民的薪材等森林产品只能从靠近边缘区的山区获取,坝区居民也是如此,因而图 1 显示边缘区居民点对森林覆盖率的影响的范围要比坝区和山区更远,15 年来森林覆盖率下降最多。山区居民点周围适合农业活动的土地较少,加上人口密度小,所以山区森林覆盖率较大,离开居民点越远,坝区和边缘区的影响越大,森林覆盖率相应减小。

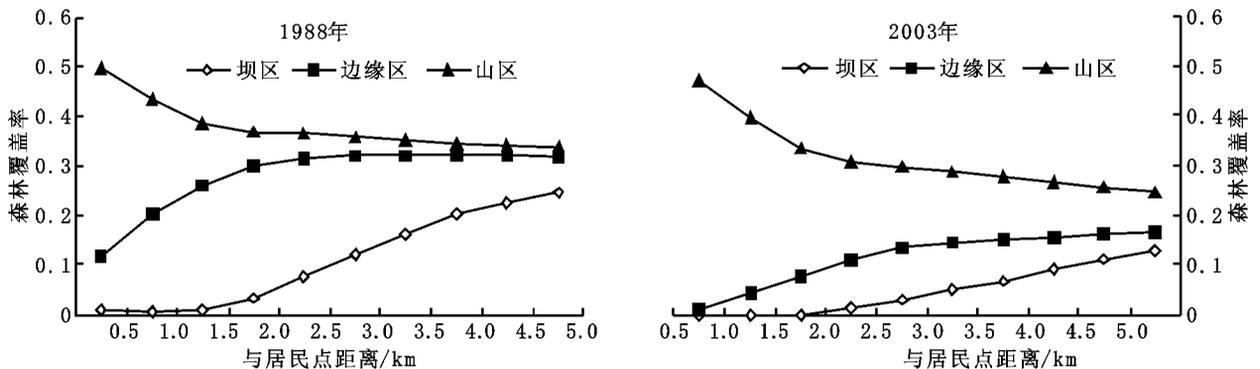


图 1 流沙河流域 1988 年和 2003 年森林覆盖率随居民点距离的变化

与 1988 年相比,2003 年的坝区、山区和边缘区的森林覆盖率都相应有一定程度的下降,其中边缘区森林覆盖率下降最多(图 2)。在坝区居民点周围 1.5 km 范围内,由于人类活动干扰而使森林在 1988 年时就已经所剩无几,所以到 2003 年时森林覆盖率下降很小;1988 年 1.5 ~ 4 km 之间森林还较多,到 2003 年这一区域森林覆盖率下降较多。山区人口密度小,交通条件较差,加上林业政策的调整,制约了森

林破坏活动,因此尽管山区森林覆盖率较大,可利用的森林资源相对丰富,但覆盖率下降得不是很多。边缘区的森林承受着来自边缘区、坝区和山区三方面的压力,是森林破坏最严重的区域,图 1 显示在边缘区从居民点开始至周围 2.0 km 处森林覆盖率逐渐增大,2.0 km 以外变化不明显,也即人类活动对森林的影响主要在 2.0 km 以内,2.0 km 外影响较小。这就使得从 1988 ~ 2003 年的 15 年间,由居民点开

始,森林覆盖率变化越来越小,但由于居民点附近可利用的森林已经很少,反而使周围 2.0 km 内森林覆盖率变化随着距离的增大而增大,到 2.0 km 外才出现随距离的增大覆盖率变化减小的情况(图 2)。

1988 年和 2003 年森林斑块平均面积的变化比较复杂(图 3)。随着与居民点距离的增大,两年中坝区、边缘区和山区的森林斑块平均面积的变化趋势都是增大的,但 1988 年坝区在居民点周围 1.5 km 范围内的变化相反:随着距离的增大而减小。1988 年在坝区居民点周围 3.0 km 范围内,由于人类活动的干扰,只残留有很少的森林小斑块,从居民点至 1.5 km 处,森林面积增加较小,而斑块个数增加较多(表 1),从而使斑块平均面积减小;从 1.5 km 处开始,坝区森林斑块平均面积随着与居民点距离的增大而增大,并分别在 3.0 km 处和 3.7 km 处超过山区和边缘区。在居民点周围 0.5 km 处,边缘区森林斑块平均面积和坝区相差很小,随

着与居民点距离的增大,边缘区森林面积逐渐增大(图 1),同时斑块个数增加较少(表 1),从而使斑块平均面积迅速增大,并在 1.1 km 处超过山区,在 2.0 km 处达到最大,此后略有下降。山区森林斑块的变化除了在 1.0 km 范围内增大幅度稍大外,其变化幅度很小,但随着与居民点距离的增大有明显的增大趋势。与 1988 年相比,2003 年坝区、边缘区和山区的森林斑块平均面积变化较简单:从居民点周围 0.5 km 至 5.0 km,平均面积都是坝区 < 边缘区 < 山区,变化幅度也没有 1988 年大。2003 年坝区森林斑块平均面积在两处突然增大:1.5~2.0 km 处和 4.0~4.5 km 处,其余变化较平缓。从 1.5~2.5 km,边缘区森林斑块平均面积逐渐增大,从 2.5 km 处后变化很小,没有象 1988 年出现减小的情况。山区则在 0.5~1.0 km 处增幅较大,然后平缓增大,在 3.5~4.5 km 处出现略微减小,可能是斑块个数增大较多的缘故(表 1)。

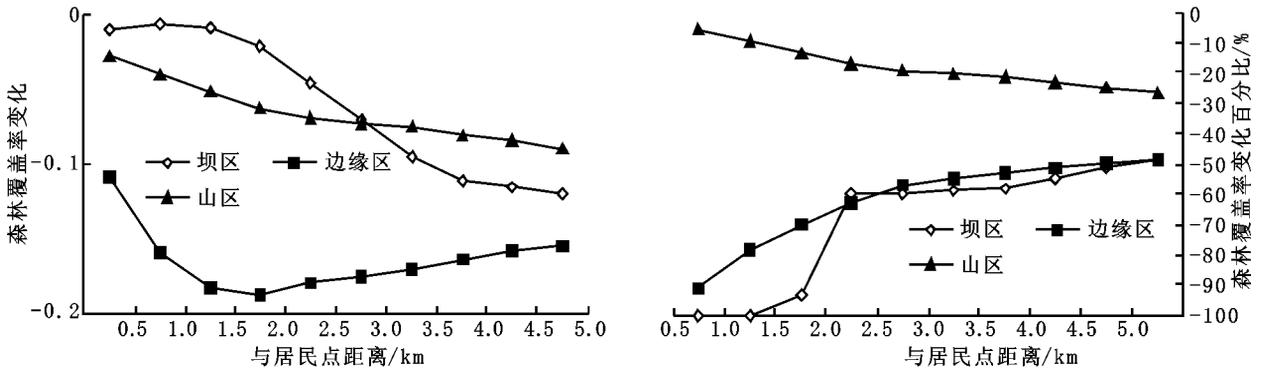


图 2 流沙河流域 1988~2003 年森林覆盖率变化及其变化百分比

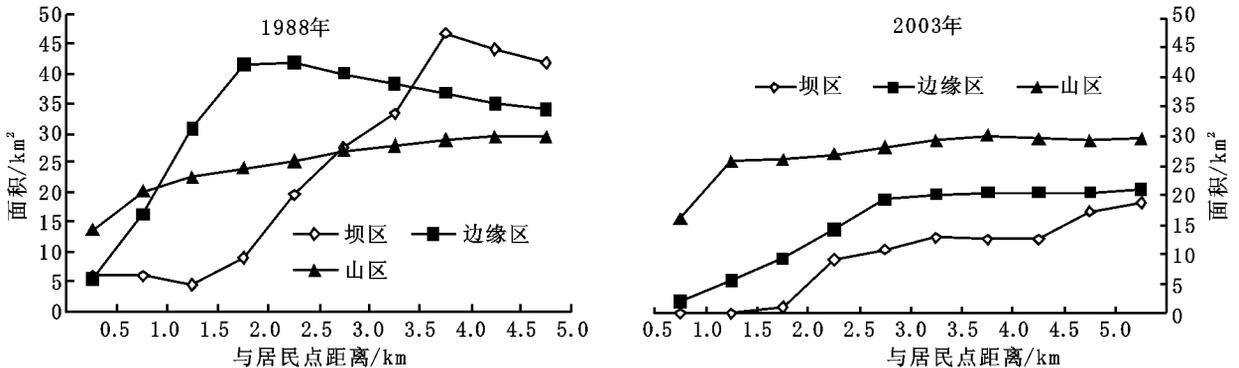


图 3 流沙河流域 1988 和 2003 年森林斑块平均面积随居民点距离的变化

表 1 流域森林斑块数量(个)

与居民点 距离/km	坝区			边缘区			山区		
	1988	2003	变化	1988	2003	变化	1988	2003	变化
0.5	4	0	-4	176	44	-132	167	132	-35
1.0	7	0	-7	268	166	-102	313	223	-90
1.5	21	5	-16	275	273	-2	451	338	-113
2.0	46	18	-28	297	321	24	590	438	-152
2.5	55	40	-15	363	338	-25	718	517	-201
3.0	71	62	-9	429	386	-43	790	575	-215
3.5	93	103	10	488	427	-61	841	612	-229
4.0	93	155	62	545	477	-68	877	658	-219
4.5	122	153	31	609	519	-90	911	913	2
5.0	156	178	22	652	545	-107	945	691	-254

图 4 显示了 1988~2003 年流沙河流域森林斑块平均面积的变化,以及其变化的百分比。从 1988~2003 年,坝区和边缘区森林斑块平均面积都有不同程度的减小,说明流域森林景观破碎化程度加重;而山区则相反,斑块平均面积增大,破碎化程度减轻。其中坝区森林斑块平均面积变化最复杂:从居民点周围 0.5~2.0 km,斑块平均面积的变化趋势是减小,但减小的越来越少,在 2.0 km 处几乎没有变化,表 1 显示这个范围内斑块个数相应比 1988 年少,森林覆盖率变化超过 60%(图 2),即从 1988~2003 年,减少的主要是面积较小的森林斑块,这种情况可能同当地居民的传统文有关:坝区居民以傣族为主,寨子周围有受居民保护的“神山”林、风水林,“神山”林和风水林的存在使一些面积较大斑块得以幸存<sup>[11]</sup>,从而使得森林斑块平均面积增大。随着与居民点距离的增大,“神山”林减少,森林破碎化更加严重,在居民点周围 4.0 km 处最严重(图 4)。在居民点周围 2.0 km 范围内,边缘区森林斑块平均面积变化随着与居民点距离的增大

而增大,从 2.0 km 处则随着距离的增大而减小。尽管森林覆盖率减小,但由于森林斑块个数减少更多,2003 年山区森

林斑块平均面积比 1988 年更大,破碎化程度减轻,与居民点距离越大其变化趋势越不明显。

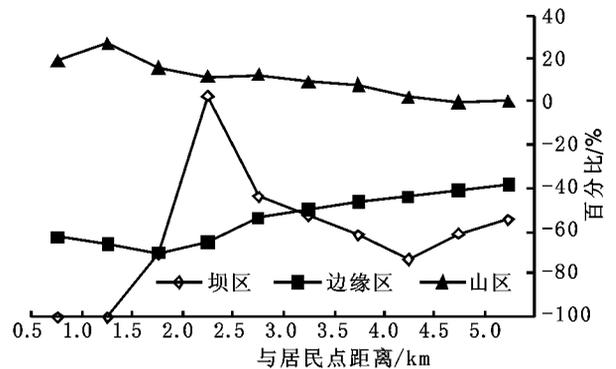
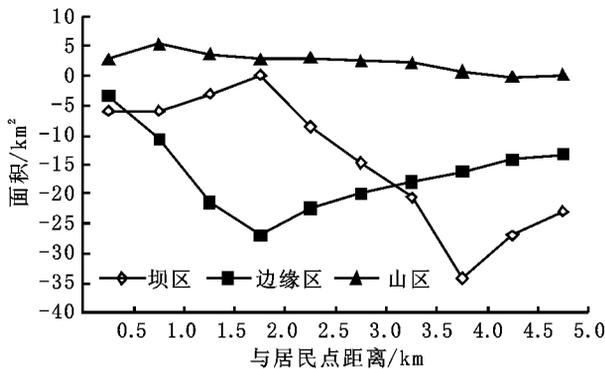


图 4 流沙河流域 1988~2003 年森林斑块平均面积变化及其变化百分比

面积较小的森林斑块被破坏后,某些斑块消失或面积太小无法识别,从而使斑块数量减少;当面积较大的斑块遭受不规则破坏时,则可以增加斑块数量。从 1988~2003 年,流域斑块数量总的变化是减少的,尤其山区减少最多,边缘区次之,坝区最少,甚至在离居民点一定距离后的区域内增加(表 1)。以上情况表明,虽然坝区、边缘区和山区森林都遭到不同程度的破坏,但破坏的方式不同:山区面积较小的森林斑块受破坏程度最重,表现为森林覆盖率下降、斑块数量减少、斑块平均面积增大;边缘区斑块不论面积大小都遭到严重破坏,表现为覆盖率下降、斑块数量减少、斑块平均面积减小;坝区情况稍微复杂一些,在居民点周围 3.0 km 范围内,同边缘区一样,不论斑块面积大小都遭到破坏,3.0 km 范围以外则是面积较大的斑块破坏较重,表现为森林覆盖率下降、斑块数量增加、斑块平均面积减小。

染的加重,保护现有森林,扩大森林面积,已经引起社会各界的重视。该流域处于热带北缘,与典型热带气候相比,湿度和热量水平较低,具有明显的过渡性,加上干季较长,森林一旦遭到破坏,环境质量会急剧退化。本研究发现,从 1988~2003 年,流沙河流域的森林覆盖率降低,需要采取相应的措施保护现有的森林;山区与坝区之间的区域,人口密度较大,森林破坏最严重,是最急需保护的区域。另外,即使是区域整体森林面积较大,一些发生于局部的灾害(如滑坡、泥石流)仍有可能由于局部地区的森林破坏而发生<sup>[16]</sup>。在流域内,居民点周围的森林破坏普遍较严重,发生这些灾害的可能性较大(尤其是地形复杂的山区),在制定流域管理政策时需要加以考虑。

如表 2 所示,1988 年和 2003 年,流域森林斑块边界密度的变化趋势都是先随着与居民点距离的增大而减小,然后趋于平缓而变化很小,即居民点附近森林受人类活动干扰较大,斑块形状不规则,与外界物质和能量交换程度高,抵抗外界干扰的能力较差,同时较小的斑块面积(图 3)又加剧了这种趋势,使森林斑块面临很大的风险;与居民点距离增大后,边界密度减小,抵抗外界干扰的能力增强,逐渐增大的斑块平均面积又在一定程度上增强了这种趋势,使森林斑块更加稳定。在 1988 年,随着与居民点距离的增大,坝区、边缘区和山区边界密度的关系变化较大:在居民点周围 1.5 km 范围内,山区 < 边缘区 < 坝区,1.5 km 以外则是边缘区 < 山区 < 坝区;2003 年则较简单,山区 < 边缘区 < 坝区;两年都是坝区森林斑块形状最规则,说明坝区森林受人类活动干扰最大;山区变化较平缓,受人类活动干扰较少。

表 2 流沙河流域森林斑块边界密度变化 m/hm<sup>2</sup>

与居民点 距离/km	坝区			边缘区			山区		
	1988	2003	变化	1988	2003	变化	1988	2003	变化
0.5	185.96	0.00	-185.96	184.44	280.54	96.10	131.68	121.09	-10.59
1.0	174.54	0.00	-174.54	117.21	173.04	55.83	106.56	94.64	-11.92
1.5	210.96	384.31	173.35	95.17	137.16	42.00	101.13	90.51	-10.62
2.0	149.98	156.75	6.77	83.69	114.88	31.19	98.40	88.57	-9.83
2.5	111.87	126.21	14.34	80.50	99.50	18.99	94.49	86.33	-8.16
3.0	96.61	123.67	27.06	81.51	96.55	15.04	92.10	83.69	-8.42
3.5	91.17	117.02	25.86	82.98	95.55	12.57	90.51	81.22	-9.30
4.0	84.02	109.68	25.66	84.26	96.09	11.83	88.96	80.59	-8.38
4.5	80.90	103.27	22.37	85.32	96.31	10.99	88.42	88.43	0.00
5.0	80.44	98.57	18.14	86.20	96.73	10.53	88.03	80.30	-7.73

从 1988~2003 年,坝区和边缘区的边界密度有了不同程度的增大,即斑块形状更不规则,受人类活动的干扰更大;山区边界密度变化最小,但边界密度减小了,说明 2003 年山区森林斑块形状变得更规则,受人类活动干扰减小。

森林破碎化引起的主要景观变化之一是暴露在其它生境中的边缘比例增加<sup>[17]</sup>。在森林边缘生境中许多物理、化学和生物因子都会发生一系列的显著变化,突出表现在森林边缘的小气候以及植物、动物和微生物等会沿林缘-林内的梯度发生不同程度的变化,从而也导致破碎化森林生态系统边缘的养分循环过程发生改变<sup>[18,19]</sup>,即森林破碎化后,在其边缘会因为受到相邻生态系统的相互作用而产生边缘效应<sup>[20]</sup>。原本生活于阴暗、潮湿、阴凉环境下的植物,因为森林边缘的形成而改变了生活环境,使某些阴性植物因为不适应新的环境而生长不良以致被淘汰,而阳性或耐阴植物长势更好<sup>[20]</sup>;生态环境改变后,在与外来物种竞争的过程中,当地物种并不一定具有优势,这就为外来物种入侵创造了条

#### 4 结论与讨论

流沙河流域是滇南的鱼米之乡,也是普洱茶的主要产地之一,土地开发利用历史悠久,尤其在坝区,地势平坦,水热条件优越,十分适合农业生产活动,因而该地区的森林破坏也非常严重,在本研究中表现为森林覆盖率下降、斑块平均面积减小、边界密度增大,原来连片分布的森林严重破碎化。

森林生态系统是维持陆地良好生态环境的关键因素之一。随着风沙、旱涝、水土流失等自然灾害的频繁发生和污

件,外来种通常具有侵入森林边缘的趋势<sup>[21]</sup>,从而导致森林边缘植物组成发生改变。总之,森林破碎化产生边缘效应后,会影响森林生态系统的结构和功能<sup>[22]</sup>,使森林的生物和非生物因素发生改变<sup>[20,23]</sup>,进而可能导致生物多样性降低<sup>[22,24]</sup>,使森林生态系统应有的某些功能丧失,甚至导致系

统的崩溃<sup>[25~26]</sup>。因而,在今后的研究中,有必要对森林破碎化的环境影响做进一步的探讨。

本研究的不足之一是没有考虑各个居民点的居民人数,以及各地区各民族对森林利用方式的差异,这也是作者下一步的工作之一。

#### 参考文献:

- [1] Noble Ian R, Rodolfo Dirzo. Forests as human-dominated ecosystems[J]. *Science*, 1997, 277(5325):522 - 525.
- [2] Foster, C R. Land use history (1730 - 1990) and vegetation dynamics in central New England, USA[J]. *The Journal of the Ecology*, 1992, 80:753 - 772.
- [3] Ehrlich P R. Conservation in temperate forests: What do we need to know and do? [J]. *Forest Ecology and Management*. 1996, 85:9 - 19.
- [4] Matlack G R. Four centuries of forest clearance and regeneration in the hinterland of a large city[J]. *Journal of Biogeography*, 1997, 24:281 - 295.
- [5] Wickham J D, O'Neill R R, Jones K B. Forest fragmentation as an economic indicator[J]. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 171 - 179.
- [6] 刘文俊, 马友鑫, 胡华斌, 等. 西双版纳勐仑镇土地利用/覆盖变化及其驱动力研究[J]. *山地学报*, 2005, 23(1):71 - 79.
- [7] Meyer W B, Turner B L. Human population growth and global land - use cover change[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1992, 23:39 - 61.
- [8] Mather A S, Needle C L, Fairbairn J. The human drivers of global land cover change: the case of forests[J]. *Hydrological Process*, 1998, 12:1983 - 1994.
- [9] Matlack, G R. Microenvironmental variation within and among forest edge sets in the eastern United States[J]. *Biological Conservation*, 1993, 66: 185 - 194.
- [10] Rosenberg D M, Mccully P, Pringle C M. Global - scale environmental effects of hydrological alterations: Introduction [J]. *BioScience*, 2000, 50:746 - 751.
- [11] 刘宏茂, 许再富, 陶国达. 西双版纳傣族“龙山”的生态学意义[J]. *生态学杂志*, 1992, 11(2):41 - 43.
- [12] 刘宏茂, 许再富, 陈爱国. 西双版纳土地的不同管理方式对植物多样性的影响评价探讨[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(6):518 - 522.
- [13] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社, 2002. 202 - 207.
- [14] Gautam A P, Webb E L, Shivakoti G P, Zoebisch M A. Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 99:83 - 96.
- [15] 刘湘南, 许红梅. 土地利用空间格局的图形信息表达初步研究[J]. *地理研究*, 2001, 20(6):752 - 760.
- [16] 谢洪, 钟敦伦, 李泳, 等. 长江上游泥石流灾害的特征[J]. *长江流域资源与环境*. 2004, 13(1):94 - 99.
- [17] Kapos, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 1989, 5:173 - 185.
- [18] 渠春梅, 韩兴国, 苏波. 片断化森林的边缘效应与自然保护区的设计管理[J]. *生态学报*, 2000, 20(1):160 - 167.
- [19] 马友鑫, 刘玉洪, 张克映. 西双版纳热带雨林片断小气候边缘效应的初步研究[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(3):250 - 255.
- [20] Murcia C. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, 10:58 - 62.
- [21] Brothers T S, Spingarn A. Forest fragmentation and alien plant invasion of central Indiana old-growth forests[J]. *Conservation Biology*, 1992, 6:91 - 100.
- [22] 朱华, 许再富, 王洪, 等. 西双版纳片断热带雨林的物种组成及其变化的研究[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5):560 - 568.
- [23] Chen J, Franklin J F and Spies T A. Contrasting microclimates among clear-cut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1993, 63:219 - 237.
- [24] 朱华, 许再富, 王洪, 等. 西双版纳傣族“龙山”片断热带雨林植物多样性的变化研究[J]. *广西植物*, 1997, 17(3):213 - 219.
- [25] Hobbs R J. Effects of landscape fragmentation on ecosystem process in the western Australian wheatbelt[J]. *Biological Conservation*, 1993, 64:193 - 201.
- [26] Laurance W F, Laurance S G, Ferreira L V, et al. Biomass collapse in Amazonian forest fragment[J]. *Science*, 1997, 278:1117 - 1118.