

西双版纳土地利用/覆盖变化与地形的关系

李增加^{1,2} 马友鑫^{1*} 李红梅¹ 彭明春³ 刘文俊¹

(1 中国科学院西双版纳热带植物园,昆明 650223) (2 中国科学院研究生院,北京 100049)
(3 云南大学生态学与地植物学研究所,昆明 650091)

摘要 土地利用/覆盖变化是全球变化研究的重要领域。该文利用6个时期的MSS/TM/ETM影像和1:50 000 DEM数据分析了1976~2007年西双版纳地区不同地形下的土地利用/覆盖变化动态,结果表明: 1)31年间,该区土地利用/覆盖变化剧烈,有林地面积由1976年的69.0%下降到2007年的43.6%,橡胶园面积由1976年的1.3%增加到2007年的11.8%; 2)有林地在海拔1 600 m以下不断减少,而橡胶园的海拔分布上限则持续增加,由1976年的1 000 m上升至2007年的1 400 m,面积在400~1 000 m处占优。农业用地主要分布在海拔400~600 m,在600 m之上迅速减少; 3)各坡度带上的有林地面积逐年减少,橡胶园则逐年增加,而灌木林与旱地则先升后降; 橡胶园、农业用地等主要分布在坡度较缓的区域,坡度越大,有林地越多; 1988年后,橡胶园面积在坡度5°以下基本保持不变,但在坡度大于5°的区域持续扩张; 4)坡向对橡胶园与农业用地等分布的影响较大,南坡的橡胶发展最为迅速,且有向北坡发展的趋势。有林地在北坡分布比例较大,旱地在北坡分布比例较小。人口增加与橡胶园和茶园等经济种植园的不断扩展是导致西双版纳土地利用/覆盖变化的直接因素。要实现西双版纳的可持续发展,必须控制经济种植园的盲目扩张,科学合理垦殖,保护热带森林。

关键词 土地利用/覆盖 DEM 海拔 坡度 坡向 空间格局 橡胶园 森林砍伐

RELATION OF LAND USE AND COVER CHANGE TO TOPOGRAPHY IN XISHUANGBANNA, SOUTHWEST CHINA

LI Zeng-Jia^{1,2}, MA You-Xin^{1*}, LI Hong-Mei¹, PENG Ming-Chun³, and LIU Wun-Jun¹

¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China, ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China, and ³Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China

Abstract Aims Land-use and land-cover changes are important in the study of global change. Our objective is to understand the impact of topography on land use and cover change in Xishuangbanna, Southwest China, from 1976 to 2007.

Methods Based on GIS techniques, we used six periods of Landsat MSS/TM/ETM images and 1:50 000 digital elevation model (DEM) to analyze patterns of land use and cover change and transfer rates as affected by topography.

Important findings The magnitude, pace and spatial reach of land use and cover changes in Xishuangbanna were unprecedented. The most significant changes were a decrease of forest area from 13 193 to 8 336 km² and an expansion of area of rubber plantations from 249 to 2 256 km² at low elevation. Topographic features, especially elevation and slope, exerted significant influence on the distribution pattern, intensity and velocity of land use and cover changes. Changes varied along elevation gradients, slope gradients and aspects. Forest cover continuously decreased below 1 600 m, while the upper limit of rubber plantations increased continuously from 1 000 to 1 400 m and was dominant between 400 and 1 000 m. Farmland was dominant below 600 m and decreased rapidly with increasing elevation. Along all slope gradients, forest cover decreased gradually, while rubber plantation increased, but shrubland and dry land first increased and then decreased. Rubber plantations and farmland were mainly on gentle slopes, while forest occupied the majority of steep slopes. After 1988, rubber plantation cover

收稿日期: 2007-11-08 接受日期: 2008-05-21

基金项目: 国家自然科学基金(30570321 和 30770385)

野外考察中得到了研究生赵金丽、张黎与张强的帮助, 美国奥本大学的张耀启博士为英文摘要做了修改, 在此表示感谢

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: may@xtbg.ac.cn

was unchanged below slopes of 5°, but continuously expanded above slopes of 5°. Aspect had large influence on the distribution pattern of cash crops and agricultural land. Rubber plantations on south aspects rapid expanded in comparison to a trend of general increase on north aspects, where forests reached a maximum and dry lands a minimum. Economic interests and population growth lead to excessive deforestation and reclamation in this region. Especially in recent years, the continuous conversion of forests to both rubber plantations and tea gardens has yielded negative effects which have led to further fragmentation affecting the biodiversity and security of natural ecosystems. For local sustainable development, the government must control the expansion of rubber plantations into forest and higher elevations, safeguard relatively intact of tropical ecosystems and manage land sustainably over the long term.

Key words land use/cover, DEM, elevation, slope, aspect, spatial pattern, rubber plantation, deforestation

DOI: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.05.014

工业革命以来,随着人类改造环境能力的增强,全球土地利用/覆盖变化(Land use/cover change, 简称LUCC)剧烈,并对环境产生巨大影响(Foley *et al.*, 2005),已成为全球变化研究的重要领域。人们对LUCC研究的焦点主要在于土地覆盖类型变化的时空格局和引起变化的驱动因子(吴晓蕾等, 2006)。目前国内外虽然已经进行了大量的土地利用变化研究,但多侧重面积变化、转化和驱动力分析(Lambin *et al.*, 2001; 江晓波等, 2004; Fox & Vogler, 2005; 刘殿伟等, 2006; 汪小钦等, 2007; 宋开山等, 2008),对热带地区的地形和LUCC的关系及其驱动力的研究较少。而地形因子特别是海拔影响植被类型的分布(Pinder *et al.*, 1997),地形地貌是形成山地结构和功能以及各种生态现象和过程的最根本因素(方精云等, 2004),地形和土地利用决定山体植物多样性(马克明等, 2002),地形特征(坡度与高程)对土地利用/覆盖和景观结构有显著影响(冯朝阳等, 2007),同时在异质景观中也是土地利用强度的限制因子(Wear & Flamm, 1993; Turner *et al.* 1996; Wear & Bolstad, 1998)。因此分析土地利用/覆盖格局随地形地貌梯度的变化,有助于理解区域生态现象和过程、土地利用/覆盖格局的规律性及其驱动因素(沈泽昊等, 2006)。

西双版纳地处我国西部地区最南端,被公认为国际上重要的生物多样性保护的热点地区之一(兰国玉等, 2008)。但其作为我国最主要的橡胶和茶叶生产基地之一,经济种植园发展迅速,并且西双版纳将在以后相当长的一段时间内继续全力发展橡胶产业,打造生物产业的重要基地(王吉涛和郭敏, 2008),因此其未来的土地利用/覆盖可

能发生更为剧烈的变化,由此造成的影响也可能日趋显著。近年来,关于这一地区或其部分地区的土地利用/覆盖变化的研究报道较多(刘文俊等, 2005; Xu *et al.*, 2005; 李红梅等, 2007; Li *et al.*, 2007)。但未发现不同地形条件下的LUCC研究,为此,本文利用6个时期的遥感影像和DEM数据,分析了西双版纳地区31年来LUCC与地形的关系,以期再现研究区景观格局的时空动态变化过程,剖析研究区土地利用/覆盖变化的驱动因子,为生态环境评估、未来土地利用规划与区域可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

西双版纳州地处云南省南部(99°58'~101°50'E, 21°09'~22°36'N),与缅甸和老挝接壤,位于滇西横断山系纵向岭谷区的南端,属无量山脉和怒山山脉的余脉,整个地势以东北西3面较高,由北向南逐渐倾斜,中部较低,在南部边缘处又相对隆起。境内高差起伏较大,最高海拔2 429 m,最低海拔475 m(图1)。西双版纳地处热带北缘,是我国热带森林植被面积最大、类型最多样、保存最完整、生物多样性最丰富的地区。全区总土地面积约19 150 km²,总人口近100万,分布有13个少数民族,约占总人口的70%。由于人口压力及粗放的耕作方式(“刀耕火种”),其土地利用特点表现为轮歇地面积大,森林破坏严重,次生林增加,特别是由于社会经济政策,毁林植胶与垦荒植胶活跃。

2 研究方法

2.1 数据源

本研究采用1976、1988、1992、1999、2003和2007年6个时段的美国Landsat MSS、TM、ETM遥感影像,并结合DEM(1:50 000,分辨率25 m)数据,在Erdas Imagine 9.0、ArcView3.3和Arcgis9.0等GIS软件的支持下,分析了西双版纳地区的LUCC。采用的遥感影像数据主要为(1976-2-24, MSS139-45; 1976-3-14, MSS140-44; 1975-4-25, MSS140-45; 1988-2-2, TM130-45; 1989-1-11,

TM130-44; 1992-11-11, TM130-45; 1993-3-28, 129-45; 1999-12-25, ETM130-45; 2000-11-2, ETM129-45; 2003-3-7, ETM130-45; 2007-3-26, TM130-45, TM130-44; 2007-3-3, TM129-45),辅助数据为西双版纳土地利用现状图(1982、1994和1996年)与植被图(1993和1994年)和1965年版1:50 000地形图。

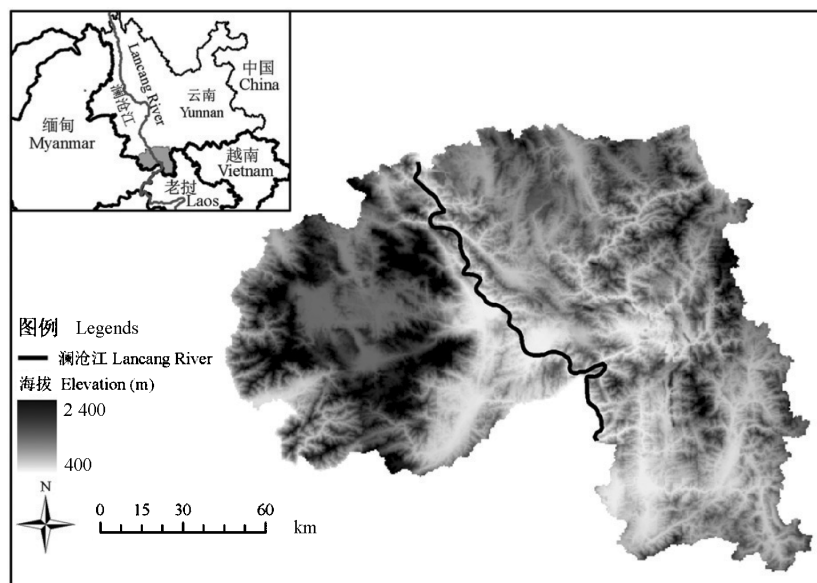


图1 研究区地理位置和地形
Fig. 1 Location and topography of study area

2.2 数据处理

首先利用1:50 000地形图对1988年影像进行精校正,再利用Erdas Imagine9.0的影像自动匹配配准模块AutoSync将其余影像校正到1988年TM影像上,投影由UTM投影转换成计算面积比较精确的Albers等面积割圆锥投影。影像校正误差均控制在一个像元之内。

参考我国土地利用分类标准(吴传钧和郭焕成, 1994),并结合当地实际情况,本研究将研究区划分为11种土地利用/覆盖类型:有林地、灌木林、茶园、橡胶园、荒草地、水田、水浇地、旱地、建设用地、水体和滩涂。参照实地调查资料(GPS样点)与参考资料(地形图、植被图和土地利用现状图),利用Erdas Imagine9.0对影像进行监

督分类、修改,并最终转成栅格格式图像(分辨率为25 m),与DEM数据生成的海拔、坡度、坡向栅格数据进行空间叠加运算。

2.3 精度评价

本研究收集和测定了3个时期的共1 201个GPS样点(2003年3月124个,2004年12月132个,2007年3月945个)。用没参与分类的GPS样点、土地利用图、植被图等对各时段影像分类结果进行精度检验,做出误差矩阵表。由于篇幅限制,此处仅列出2007年分类的误差矩阵,其整体精度为86.5%(表1),由于橡胶中龄林与茶树易分成灌木,因此部分灌木林则可能是橡胶中龄林或茶树。其它5年的整体精度按时间先后顺序分别为77.3%、86.4%、80.3%、84.7%和87.9%。

表1 2007年各土地利用/覆盖类型之间的误差矩阵
Table 1 Error matrix of all land use/cover types in study area

类型 Type	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	X_{i+}	UA (%)
A1	69	5	1	2							1	78	88.5
A2	1	27	1									29	93.1
A3		11	43	1	1			2				58	74.1
A4		1		75				7				83	90.4
A5		1			6			1				8	75.0
A6		1				40			1			42	95.2
A7						1	9			1		11	95.2
A8		1	2		2			31	3		1	40	81.8
A9		1						1	25			27	77.5
A10			1							13		14	92.9
A11										2	8	10	80.0
X_{+i}	70	49	47	78	9	41	9	42	29	16	10		
PA (%)	98.6	55.1	91.5	96.2	66.7	97.6	100	73.8	86.2	81.3	80.0		$OA=86.5$

A1: 有林地 Forest A2: 灌木林 Shrubland A3: 茶园 Tea garden A4: 橡胶园 Rubber plantation A5: 荒草地 Grassland
A6: 水田 Paddy field A7: 水浇地 Irrigated land A8: 旱地 Dry land A9: 建设用地 Construction land A10: 水体 Water body
A11: 滩涂 Mudflat X_{i+} 为第*i*类类型抽样数累计值; UA 为用户精度; X_{+i} 为第*i*类参考类型抽样数累计值; PA 为过程精度; OA 为整体精度 X_{i+} is total of samples on type *i*, UA is user's accuracy, X_{+i} is total samples on reference type *i*, PA is producer's accuracy, OA is overall accuracy

2.3 分析方法

将遥感影像分类结果转成栅格格式图像(分辨率为25 m),与DEM数据生成的地形因子栅格数据进行空间叠加运算。海拔、坡度、坡向等地形因子分级见表2。

表2 地形因子分级 Table 2 Classification of different topographic factors				
级别 Grade	海拔 Elevation (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	
1	400~600	<5	平地 Flat	
2	600~800	5~8	北 North	
3	800~1 000	8~15	东 East	
4	1 000~1 200	15~25	南 South	
5	1 200~1 400	25~35	西 West	
6	1 400~1 600	>35		
7	1 600~1 800			
8	1 800~2 000			
9	>2 000			

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆盖变化趋势

西双版纳地区主要的土地利用/覆盖类型为有林地、灌木林、橡胶园、旱地与茶园等,约占

总面积的93%。1976~2007年间,研究区LUCC剧烈,主要表现为有林地大面积减少,覆盖率从69.0%减少到43.6%;橡胶园呈聚集分布,覆盖率从1.3%增加到11.8%;茶园面积由1988年的0.23%增加到2007年的2.14%;灌木林的面积由1976年的11.7%增加到2007年的23.6%。

3.2 LUCC与地形的关系

3.2.1 LUCC与海拔的关系

图3显示了各土地利用/覆盖类型在各高程带上的面积百分比随时间变化的规律。从图中可以看出: 1)不同时段各地类的分布规律较为一致,海拔800 m以下农业用地与橡胶园占据优势,并随海拔的升高而减少。橡胶园主要集中在400~1 000 m海拔范围,尤其在600~800 m内占优,同时有向高海拔发展的趋势,最高分布由1976年的1 000 m上升到2007年的1 400 m。2)总体上,有林地在海拔1 600 m以下不断减少;而海拔2 000 m以上,覆盖率在1988年达到最低(33.48%),之后逐年升高。3)灌木林随海拔升高而增加,尤其海拔800~1 400 m处在1999年后明显升高,而大于1 600 m则放缓,但在>2 000 m处有所减少。4)各时段旱地变化不稳定,这主要因旱地绝大部分为不稳定的轮歇地所致。

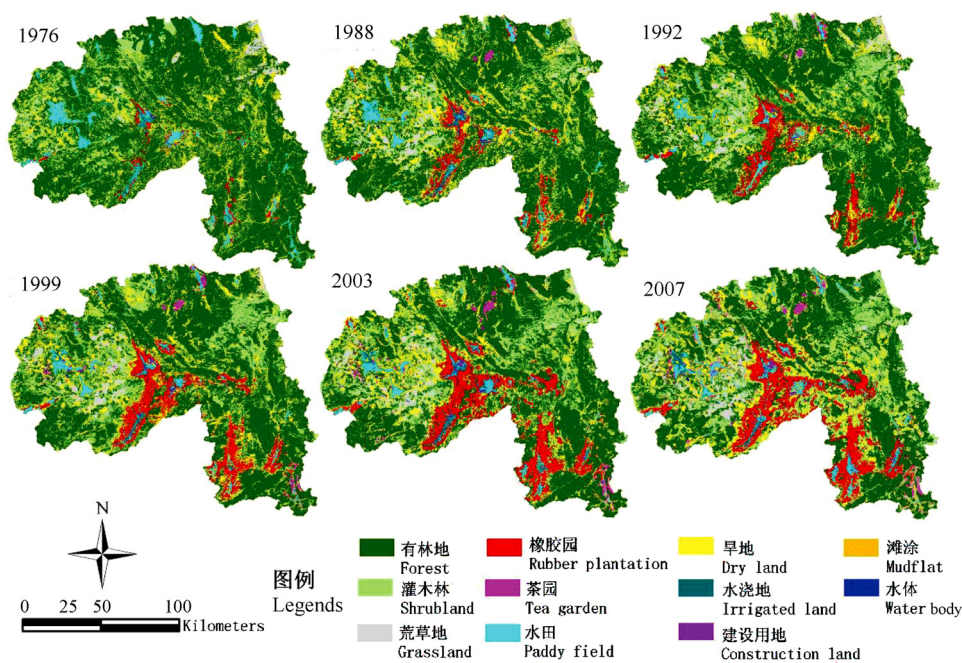


图2 1976~2007年西双版纳地区土地利用/覆盖变化
Fig. 2 Land use/cover changes in Xishuangbanna from 1976 to 2007

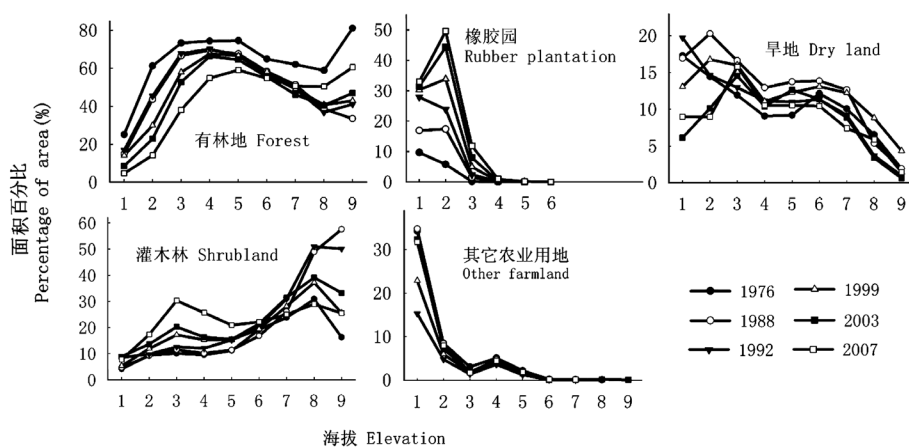


图3 各高程带上的不同土地利用/覆盖类型的面积百分比
Fig. 3 Area percentage of land use/cover types in different elevation gradients
其它农业用地包括水田与水浇地 Other farmland includes paddy field and irrigated land

表3列出了各时段主要土地利用/覆盖类型的年变化面积占该海拔段总面积的百分比。由表看出: 1) 海拔在600~1 400 m之间的土地面积为总面

积的81.3%, 是土地利用/覆盖变化最多的地区。建设用地在<600 m范围内变化剧烈, 反映了显著的城市化进程。2) 海拔<600 m区域内, 农业用地

在1988~1992年减少速率最快(3.77%),而此期间速率增加最快的是橡胶园,说明了大量的农业用地被开垦成橡胶园;值得注意的是1976~1988和1999~2007年有林地的快速减少,而相应增加速率较快的则是橡胶园、农业用地与灌木林,表现了强烈的人类干扰特性。另外,此海拔灌木林的变化速率不稳定,可能与橡胶中龄林或部分茶树误分为灌木林有关。3)海拔在600~1 000 m之间,有林地在1992年后减少迅速,特别是2003年以后,平均每年递减率为3.04%,而相应灌木林与橡胶园的增速依然很高,说明在2003年后该海拔经历

了新一轮的橡胶种植高峰期。4)海拔1 000~1 400 m之间,有林地在2003年后减少速率最快(2.24%),远高于其它年份,而灌木林则相反。另外,农业用地在1992年后持续增加,橡胶园在2003年后增速较快(0.11%),而在2003年以前增速不明显,说明低海拔橡胶园的可开发地少,橡胶园近年来向高海拔发展。5)海拔>1 400 m,近年来有林地有增加的趋势,灌木林与农业用地有减少的趋势,说明此海拔段森林的保育与退耕还林活动开展得较好,天然林保护工程初见成效。

表3 1976~2007年西双版纳地区不同海拔土地利用/覆盖类型的年变化率
Table 3 Annual changes in percentage of land use/cover at various altitude gradients from 1976 to 2007

海拔段 Altitude (m)	总面积 Total area (hm ²)	土地利用/覆盖类型 Land use/cover types	年变化率 Annual change in percentage (%)				
			1976~1988	1988~1992	1992~1999	1999~2003	2003~2007
<600	56 162	有林地 Forest	-0.85	0.49	-0.39	-1.38	-0.95
		灌木林地 Shrubland	0.05	0.95	-0.43	0.85	-0.28
		橡胶园 Rubber plantation	0.61	2.76	0.34	0.27	0.39
		农业用地 Farmland	0.02	-3.77	0.22	0.09	0.56
		建设用地 Construction land	-	0.04	0.26	0.24	0.14
600~1 000	735 674	有林地 Forest	-0.94	0.37	-1.76	-1.48	-3.04
		灌木林地 Shrubland	0.06	0.22	0.50	0.63	1.86
		橡胶园 Rubber plantation	0.47	0.81	0.80	1.55	1.10
		农业用地 Farmland	0.38	-1.50	0.55	-0.74	0.19
		建设用地 Construction land	-	0.05	0.00	0.02	0.00
1 000~1 400	820 524	有林地 Forest	-0.47	-0.04	-0.21	-0.40	-2.24
		灌木林地 Shrubland	0.04	0.69	0.27	0.16	1.92
		橡胶园 Rubber plantation	0.00	0.00	0.01	0.01	0.11
		农业用地 Farmland	0.34	-0.76	0.19	0.16	0.27
		建设用地 Construction land	-	0.01	0.00	0.01	0.00
>1 400	302 905	有林地 Forest	-0.84	-0.41	0.18	-0.59	0.56
		灌木林地 Shrubland	0.18	0.92	-0.49	0.63	-0.68
		橡胶园 Rubber plantation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		农业用地 Farmland	0.14	-0.58	0.44	-0.29	-0.45
		建设用地 Construction land	-	0.01	0.00	0.00	0.00

农业用地包括茶园、旱地、水田和水浇地 Farmland includes tea garden, dry land, paddy field and irrigated land

3.2.2 LUCC与坡度的关系

图4显示了各土地利用/覆盖类型在各坡度带上的面积百分比随时间变化的规律。总体上有林地面积在各坡度带上逐年降低,橡胶园则逐年升高,而灌木林地与旱地则先升后降。具体变化趋势如下:1)随着坡度的增大,有林地的面积比例不断增大,并在大于25°时占据明显优势,表明

坡度大的地方人为干扰小。2)小于5°时,农业用地占绝对优势,橡胶园在1988年之前呈增加趋势,而到了1988年以后,橡胶园的面积变化不大。因为小于5°时农业用地占据优势,由于国家的基本农田保护制度,橡胶园不可能占用最适宜水稻等作物的种植区。3)灌木林在小于5°范围内所占比例较小,随着坡度的增大而增大,到了15~25°达

到最大, 之后随坡度的增大而显著减少。4)旱地 低, 这主要由于此时正值改革时期, 百业待兴, 在各坡度的分布, 1988年达到最大, 随后逐渐降 砍伐森林, 耕种, 撂荒的土地较多。

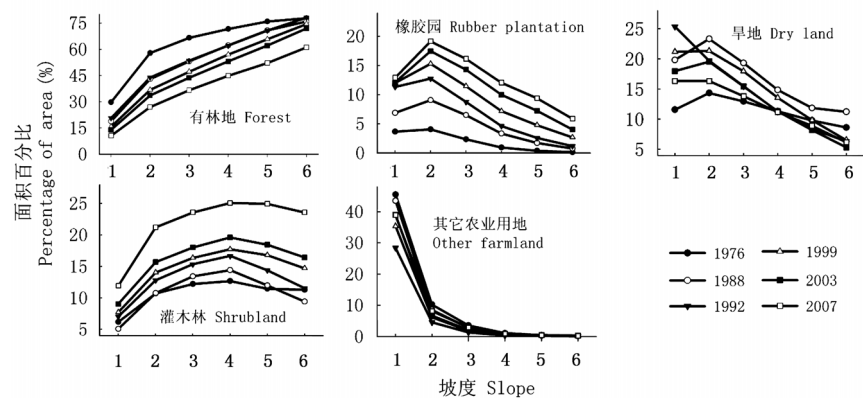


图4 各坡度带上的不同土地利用/覆盖类型的面积百分比
Fig. 4 Area percentage of land use/cover types in different slope gradients
其它农业用地包括水田与水浇地 Other farmland includes paddy field and irrigated land

表4 1976~2007年西双版纳地区不同坡度土地利用/覆盖类型的年变化率
Table 4 Annual changes in percentage of land use/cover along different slope gradients from 1976 to 2007

坡度 Slope (°)	总面积 Total area (hm ²)	土地利用/覆盖类型 Land use/cover types	年变化率 Annual changes in percentage (%)				
			1976~1988	1988~1992	1992~1999	1999~2003	2003~2007
<5	136 664	有林地 Forest	-0.92	0.48	-0.72	-0.43	-0.85
		灌木林地 Shrubland	-0.09	0.49	0.10	0.33	0.72
		橡胶园 Rubber plantation	0.27	1.11	0.10	0.03	0.19
		农业用地 Farmland	0.57	-2.14	0.47	-0.04	-0.22
		建设用地 Construction land	-	0.12	0.13	0.14	0.06
5~15	347 156	有林地 Forest	-1.14	0.11	-0.91	-0.85	-1.76
		灌木林地 Shrubland	0.08	0.49	0.15	0.41	1.39
		橡胶园 Rubber plantation	0.36	0.64	0.38	0.68	0.45
		农业用地 Farmland	0.54	-1.35	0.54	-0.32	0.00
		建设用地 Construction land	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00
15~25	793 236	有林地 Forest	-0.78	-0.03	-0.74	-0.98	-2.04
		灌木林地 Shrubland	0.15	0.56	0.15	0.47	1.36
		橡胶园 Rubber plantation	0.20	0.32	0.37	0.70	0.52
		农业用地 Farmland	0.28	-0.94	0.41	-0.32	0.15
		建设用地 Construction land	-	0.01	0.00	0.01	0.00
25~35	505 351	有林地 Forest	-0.43	-0.01	-0.72	-0.90	-2.50
		灌木林地 Shrubland	0.04	0.60	0.34	0.42	1.62
		橡胶园 Rubber plantation	0.11	0.21	0.32	0.62	0.53
		农业用地 Farmland	0.17	-0.87	0.25	-0.21	0.27
		建设用地 Construction land	-	0.01	0.00	0.01	0.00
>35	132 858	有林地 Forest	-0.15	0.54	-0.52	-0.65	-2.68
		灌木林地 Shrubland	-0.16	0.53	0.45	0.43	1.79
		橡胶园 Rubber plantation	0.05	0.10	0.21	0.34	0.46
		农业用地 Farmland	0.22	-1.22	0.05	-0.15	0.27
		建设用地 Construction land	-	0.00	0.00	0.00	0.00

农业用地包括茶园、旱地、水田和水浇地 Farmland includes tea garden, dry land, paddy field and irrigated land

表4显示了各时段主要土地利用/覆盖类型的年变化面积占该坡度带总面积的百分比。从表中可以看出: 1) 5~35°坡度段的面积占总面积的85.9%, 其中15~35°坡度段占67.8%, 说明该地区主要为较陡坡与陡坡。各坡度带上变化速率较快的是2003年后的有林地, 其在各坡度带上的减少速率随着坡度的增加而增加, 说明此时间后该地区土地开发达到了一个高峰期。2) <5°坡度段变化最快的是1988~1992年农业用地的减少, 与橡胶园的增加相对应, 也说明了大量的农业用地转为橡胶园。另外, 建设用地的年变化率也在1988~2003年逐渐升高。3) 坡度5~15°的区域, 有林地迅速减少的两个时段分别是1976~1988和2003~2007年。通过与同时期的其它地类的变化对比, 说明前一时段主要转为橡胶园与农业用地, 后一时段则主要转为灌木林与橡胶园, 而其中大部分的灌木林则可能是橡胶中龄林或茶树, 所以橡胶园是尽可能向其适宜生长的地区扩展。4) 坡

度15~35°内, 1988年以后橡胶园保持了较高的增长速率, 1988~1992年农业用地减少明显, 而这一时期的有林地等其它地类减少速率很小, 因此这一时期橡胶园的增加主要来自农业用地。5) 坡度>35°, 1988~1992年有林地增加, 说明此时段对天然林的保护较好。2003年后有林地减少速率最快(2.68%), 而灌木林的增速最快(1.79%), 另外橡胶园与农业用地增加也较快。

3.2.3 LUCC与坡向的关系

图5显示了各土地利用/覆盖类型在各坡向上的面积百分比随时间的变化规律。从图中可以看出, 农业用主要分布于平地上, 其它各坡向上有林地占据明显优势并逐年减少, 并在北坡所占比例较高。橡胶园逐年增加, 并在平地、东坡和南坡的分布比例较高。旱地各年变化不稳定, 但在平地、南坡与西坡分布较多。灌木林基本呈逐年上升趋势; 其它农业用地在除平地以外的坡向上变化不大。

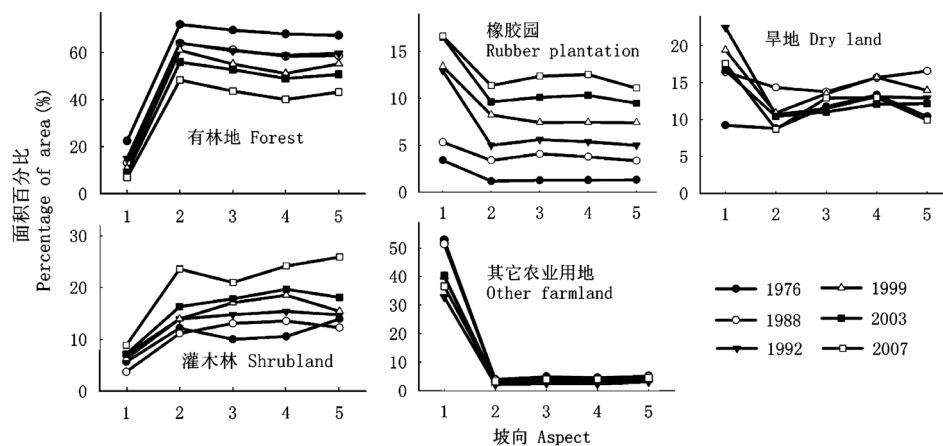


图5 各坡向上的不同土地利用/覆盖类型的面积百分比

Fig. 5 Area percentage of land use/cover types in different aspects

其它农业用地包括水田与水浇地 Other farmland includes paddy field and irrigated land

表5显示了各时段各坡向主要的土地利用/覆盖类型的年变化面积占该坡向总面积的百分比。从表中可以看出: 1) 平地仅占总面积的0.36%, 南坡与北坡的面积相对较大。各坡向上变化较快的是1988~1992年农业用地、2003年以后有林地的减少速率, 和非平地上的灌木林与橡胶园的增加

速率。2) 北坡最显著的变化是1999年后有林地的减少, 以及2003年后灌木林的增加, 橡胶园在1988年后均保持较高的增长速率。3) 东坡、南坡与西坡橡胶园的增长速率在1976~1988和1992~1999年较为平缓, 但1992~1999年其在北坡的增长速率明显高于东、南、西坡。这是因为1992

年之前, 由于东、南、西坡热量较北坡充足, 不易发生寒害而被大量用于发展橡胶种植, 1992年以后, 东、南、西坡的可植胶区变少, 受经济利益驱动, 水热条件较差的北坡也被大量开发以种植橡胶。1999年以后, 其增长速率虽然略低于东坡与

南坡, 但还是保持了较高的增长速率。另外, 各个坡向植胶区的发展还是以南、东为主, 其中以南坡的发展最为迅猛。4) 灌木林与农业用地的变化在各坡向均不稳定, 它们主要的转化去向为橡胶园。

表5 1976~2007年西双版纳地区不同坡向土地利用/覆盖类型的年变化率
Table 5 Annual changes in percentage of land use/cover at different aspects from 1976 to 2007

坡向 Aspect	总面积 Total area (hm ²)	土地利用/覆盖类型 Land use/cover types	年变化率 Annual changes in percentage (%)				
			1976~1988	1988~1992	1992~1999	1999~2003	2003~2007
平地 Flat	6 904	有林地 Forest	-0.78	0.48	-0.59	-0.45	-0.54
		灌木林 Shrubland	-0.16	0.84	-0.11	0.22	0.42
		橡胶园 Rubber plantation	0.16	0.45	0.13	0.11	0.16
		农业用地 Farmland	0.51	-1.64	0.47	0.03	-0.44
北坡 North	493 468	有林地 Forest	-0.67	0.06	-0.45	-1.26	-1.90
		灌木林 Shrubland	-0.09	0.70	0.00	0.59	1.82
		橡胶园 Rubber plantation	0.19	0.40	0.46	0.35	0.44
		农业用地 Farmland	0.45	-1.22	0.16	0.13	-0.32
东坡 East	447 575	有林地 Forest	-0.70	-0.10	-0.80	-0.60	-2.29
		灌木林 Shrubland	0.25	0.43	0.32	0.19	0.79
		橡胶园 Rubber plantation	0.23	0.38	0.26	0.67	0.56
		农业用地 Farmland	0.11	-0.87	0.42	-0.30	0.86
南坡 South	508 489	有林地 Forest	-0.79	0.07	-1.09	-0.53	-2.23
		灌木林 Shrubland	0.25	0.45	0.45	0.28	1.13
		橡胶园 Rubber plantation	0.21	0.40	0.24	0.82	0.53
		农业用地 Farmland	0.18	-1.00	0.54	-0.58	0.48
西坡 West	458 829	有林地 Forest	-0.72	0.26	-0.64	-1.11	-1.89
		灌木林 Shrubland	-0.14	0.62	0.10	0.67	1.94
		橡胶园 Rubber plantation	0.17	0.41	0.35	0.52	0.40
		农业用地 Farmland	0.51	-1.34	0.34	-0.24	-0.44

农业用地包括茶园、旱地、水田和水浇地 Farmland includes tea garden, dry land, paddy field and irrigated land

4 LUCC的驱动力分析

LUCC由环境和社会经济因素之间复杂的相互作用关系决定(Hietel *et al.*, 2004), 西双版纳31年LUCC的驱动力因子主要分为自然、人口压力、经济全球化与政策等因素。

西双版纳地处热带北缘, 充沛的水热条件使其成为我国热带森林植被面积最大、类型最多样、保存最完整、生物多样性最丰富的地区(朱华, 1990)。丰富的水热资源和多雾天气使其适宜种植多种经济作物(如橡胶、茶叶、甘蔗等)。正是这种富饶的土地资源, 使得大量外地人口迁移至此, 再加上计划生育观念薄弱, 导致西双版纳人口不断膨胀: 由1949年199 300人猛增至1982年646 400人、1990年796 300人和2000年993 300人

(马友鑫等, 2002; 赵晓彪, 2003), 人口的不断增加导致了该区人地矛盾日趋突出。由于该区低海拔地区适宜种植橡胶, 同时市场全球化对橡胶需求的增加导致国际市场橡胶期货价格持续走高及近年天然橡胶价格的快速增长, 如纽约市场天然橡胶TRS20的价格由2003年的1 120 \$·10³ kg⁻¹上升到2007年的2 321 \$·10³ kg⁻¹ (International Rubber Study Group, 2007), 橡胶价格的增长激起了人们开发植胶的高潮: 20世纪50年代后期、80年代中期和90年代初是前3次高潮期, 而由于近年橡胶价格的快速增长, 当地的橡胶开发种植正处于第四次热潮。另外, 近年来由于普洱茶叶价格猛增也使茶树种植发展迅速。土地资源的紧张, 导致目前橡胶种植不断向高海拔、陡坡与北坡发展, 同时茶园也在迅速扩张。

5 讨 论

由于高海拔处和北坡热量条件差,橡胶种植不断向高海拔、陡坡与北坡发展可能导致橡胶树低温寒害风险增大(江爱良和钱平, 1985),同时橡胶林叶面积指数、生物量、净初级生产力等随着海拔的升高而降低,从而影响干胶产量¹⁾。因此,橡胶种植园向高海拔发展可能会给农民带来巨大损失。

经济作物种植的快速发展,显著改变了西双版纳地区的土地利用/覆盖格局,以自然组分为主的景观格局正不断向由人工组分组成为主的景观格局演变,并且热带森林砍伐,导致森林破碎化日趋严重。刘文俊等(2006)对西双版纳勐仑地区的土地利用/覆盖的景观格局定量分析也表明,勐仑地区的自然组分在景观中的优势已为人工组分取代,橡胶园等人工种植园地的扩张使得有林地严重破碎化。Li等(2007)对西双版纳27年来的土地利用/覆盖变化的研究结果显示:橡胶园的扩张主要来源于对热带季节雨林的砍伐,并导致了山地雨林成为面积减少最快的类型,且有林地面积不断减少与破碎化。此外,西双版纳自1980年建立保护区以来,其保护区内的山地雨林、热带季节雨林的覆盖率下降,而灌木林与橡胶园的覆盖率则升高,这对当地的生物多样性保护产生了深远影响。

土地利用/覆盖空间格局在很大程度上记录了人与自然相互作用的过程,并逐渐形成了具有典型特征的区域土地利用/覆盖格局的空间模式(史培军等, 2002)。本研究结果表明,地形因子特别是海拔与坡度显著地影响了该区土地利用/覆盖的分布格局、变化强度与速率,坡向在一定程度上限制着经济作物与农业用地的分布格局,并且随地形因子的变化,土地利用/覆盖类型呈现有规律的变化。地形、气候等自然因素与社会经济因素决定了西双版纳地区的LUCC,并形成了随海拔升高“水田—橡胶(茶叶)—旱地—有林地”依次占据优势的空间分布格局。而随着橡胶园向高海拔扩张,导致了该区森林的进一步破碎化,

再加上西双版纳处在热带生物区系向亚热带生物区系过度的生物地理群落交错带上,其生态系统更为脆弱(朱华, 1990)。Zhu等(2004)研究比较了云南南部3块破碎化雨林与1块原始雨林的生物多样性,结果表明破碎化雨林的物种多样性明显低于原始雨林。另外,西双版纳地区的印支虎(*Panthera tigris corbetti*)几近绝迹,而作为濒危种亚洲象(*Elephas maximus*)因土地覆盖变化导致生境剧减,近些年频繁走出保护区觅食(许再富, 2004),并发生人象矛盾。因此这种热带地区土地利用的快速变化严重地破坏了当地天然生态系统的完整性与安全性,可能会加速物种灭绝与生物多样性丧失。

由于热带季节雨林的水分循环利用和涵养水源功效远高于人工橡胶林(刘文杰等, 2003),橡胶园与旱地逐渐代替有林地并向高海拔与陡坡发展,可能会导致区域涵养水源能力的下降与水分的损耗,引起局地气候的变化。杨景成等(2004)对西双版纳不同生态系统土壤有机质的研究发现,热带地区的原始林和次生林转化为农田和橡胶园后,极大地影响了土壤有机物的含量和组成,降低了土壤肥力,危及到生态系统的可持续发展。因此该区有林地和次生林被开垦为橡胶园等经济作物种植园,并且不断向高海拔与陡坡发展后,可能加重该区的水土流失,造成土壤肥力下降,导致土壤退化。加之橡胶园与茶园每年大量施肥,且橡胶生胶加工排出大量工业废水,加剧了污染。

此外,西双版纳近40年来雾日、雾时与雾量正在迅速减少(宫世贤和凌升海, 1996),温度增加显著,降水与相对湿度则明显减少,区域气候向干热型转变(马友鑫等, 2002; 何云玲等, 2007),这可能与西双版纳剧烈的LUCC有关。同时张克映和张一平(1984)、宫世贤和凌升海(1996)与马友鑫等(2002)在分析西双版纳气候变化时指出,该区森林面积的减少与破碎化是地方气候变化的主要原因。因此需要进一步研究西双版纳气候变化与土地利用/覆盖变化之间的关系。

综上,人口增加与橡胶园和茶园等经济种植园的不断扩展是导致西双版纳土地利用/覆盖变化的直接因素。要实现西双版纳的可持续发展,必须严格控制橡胶园与茶园的盲目扩张,禁止陡坡和高海拔毁林植胶,科学合理垦殖,保护热带

1) Jia KX (贾开心) (2006). Study on growth change of the rubber plantation along an altitudinal gradient in Xishuangbanna, Southwest China (西双版纳三叶橡胶林生长随海拔高度变化研究). Master dissertation, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 28–30. (in Chinese with English abstract)

森林。

6 结 论

本研究主要结论如下:

1)有林地、灌木林、橡胶园、旱地及茶园为西双版纳地区的主要土地利用/覆盖类型。1976~2007年的31年间,有林地面积不断减少,橡胶园与灌木林面积持续增加,旱地面积则呈现波动状态。土地利用/覆盖变化最剧烈的时期是1976~1988和2003~2007年,最明显的变化是有林地的急剧减少与橡胶园和茶园的迅速增加。

2)有林地在1 600 m以下不断减少,而在此之上则呈现增加趋势;橡胶园面积逐年持续增加,在400~1 000 m处占优势,种植上限由1976年的1 000 m上升至2007年的1 400 m;灌木林随海拔的升高增加,并在>2 000 m有所减少;农业用地在海拔400~600 m处占据优势,并且随海拔的升高迅速减少,逐渐被有林地与灌木林地占据主导地位。

3)人工干扰强度大的土地利用/覆盖类型,如经济植物种植园、水田等主要分布在坡度较缓的区域。坡度越大,有林地保留面积越多。1988年后,橡胶园面积在坡度5°以下基本保持不变,但在坡度大于5°的区域持续扩张。在研究的6个时间段内,有林地面积在各坡度带上均逐年降低,橡胶园则逐年升高,而灌木林与旱地则先升后降。

4)南坡的橡胶发展最为迅速,且有向北坡发展的趋势。旱地在北坡分布比例较少,有林地在北坡分布比例较多。

5)除低海拔、小坡度与平地上建设用地的变化剧烈外,其它各海拔段、各坡度与各坡向中变化速率最快的是有林地的减少与橡胶园和灌木林的增加。

参 考 文 献

- Fang JY (方精云), Shen ZH (沈泽昊), Cui HT (崔海亭) (2004). Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology. *Biodiversity Science* (生物多样性), 12, 10-19. (in Chinese with English abstract)
- Feng CY (冯朝阳), Yu Y (于勇), Gao JX (高吉喜), Han YW (韩永伟) (2007). Influences of topographic on distribution and change of land use and cover in Mentougou district, Beijing. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 25, 274-279. (in Chinese with English

abstract)

- Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice LC, Ramankutty N, Snyder PK (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574.
- Fox J, Vogler JB (2005). Land-use and land-cover change in montane mainland Southeast Asia. *Environmental Management*, 36, 394-403.
- Gong SX (宫世贤), Ling SH (凌升海) (1996). Fog decreasing in Xishuangbanna region. *Meteorological Monthly* (气象), 22(11), 10-14. (in Chinese with English abstract)
- He YL (何云玲), Zhang YP (张一平), Yang XB (杨小波) (2007). Climate change in tropical area of southern China since 1950s. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 27, 499-505. (in Chinese with English abstract)
- Hietel E, Waldhardt R, Otte A (2004). Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*, 19, 473-489.
- International Rubber Study Group (2007). Statistical Summary of World Rubber Situation. <http://www.rubberstudy.com/statistics-quarstat.aspx>. Cited 20 Jan 2008
- Jiang AL (江爱良), Qian P (钱平) (1985). A study of the relationship between nocturnal cooling process in winter on different-facing slopes in Xishuangbanna and the chilling injury of rubber trees. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), 6(2), 1-12. (in Chinese with English abstract)
- Jiang XB (江晓波), Ma ZZ (马泽忠), Zeng WR (曾文蓉), Zhou WC (周万村), Zhou AX (周爱霞), Li AN (李爱农), Sun YQ (孙育秋) (2004). Land-use/cover change process and driving force analysis in three gorges area. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 18(4), 108-112. (in Chinese with English abstract)
- Lambin EF, Turner BL, Geist HJ, Agbola SB, Angelsen A, Bruce JW, Coomes OT, Dirzo R, Fischer G, Folke C, George PS, Homewood K, Imbernon J, Leemans R, Li XB, Moran EF, Mortimore M, Ramakrishnan PS, Richards JF, Skanes H, Steffen W, Stone GD, Svedin U, Veldkamp TA, Vogel C, Xu JC (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261-269.
- Lan GY (兰国玉), Hu YH (胡跃华), Cao M (曹敏), Zhu H (朱华), Wang H (王洪), Zhou SS (周仕顺), Deng XB (邓晓保), Cui JY (崔景云), Huang JG (黄建国), Liu LY (刘林云), Xu HL (许海龙), Song JP (宋军平), He YC (何有才) (2008). Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamics plot: Species compositions and spatial distribution patterns. *Acta Phytoecologica*

- Sinica* (植物生态学报), 32, 287–298. (in Chinese with English abstract)
- Li HM (李红梅), Ma YX (马友鑫), Guo ZF (郭宗峰), Liu WJ (刘文俊) (2007). Land use/land cover dynamic change in Xishuangbanna based on RS and GIS technology. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 25, 280–289. (in Chinese with English abstract)
- Li HM, Aide TM, Ma YX, Liu WJ, Cao M (2007). Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China. *Biodiversity and Conservation*, 16, 1731–1745.
- Liu DW (刘殿伟), Song KS (宋开山), Wang DD (王丹丹), Zhang SQ (张树清) (2006). Dynamic change of land-use patterns in west part of Songnen Plain. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 26, 277–283. (in Chinese with English abstract)
- Liu WJ (刘文杰), Zhang YP (张一平), Liu YH (刘玉洪), Li HM (李红梅), Duan WP (段文平) (2003). Comparison of fog interception at a tropical seasonal rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, Southwest China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23, 2379–2386. (in Chinese with English abstract)
- Liu WJ (刘文俊), Ma YX (马友鑫), Hu HB (胡华斌), Cao M (曹敏), Li HM (李红梅) (2006). A quantitative analysis on the landscape pattern change in Menglu, Xishuangbanna, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 26, 3088–3097. (in Chinese with English abstract)
- Liu WJ (刘文俊), Ma YX (马友鑫), Hu HB (胡华斌), Cao M (曹敏), Wang W (王伟) (2005). Land use and land cover change in the tropical rainforest region of southern Yunnan. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 23, 71–79. (in Chinese with English abstract)
- Ma KM (马克明), Zhang JY (张洁瑜), Guo XD (郭旭东), Fu BJ (傅伯杰) (2002). Plant diversity of mountains in rural landscapes: the combined influences of topography and land use. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 26, 575–588. (in Chinese with English abstract)
- Ma YX (马友鑫), Guo P (郭萍), Zhang YP (张一平), Li YR (李佑荣), Liu YH (刘玉洪) (2002). Climate change and forest fragmentation in Xishuangbanna. In: Chen YY (陈宜瑜) ed. *Biodiversity Conservation and Regional Sustainable Development in China: Proceedings of the Fourth National Symposium on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in China* (生物多样性保护与区域可持续发展——第四届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集). China Forestry Publishing House, Beijing, 262–279. (in Chinese with English abstract)
- Pinder JE III, Krah GC, White JD, Basham May AM (1997). The relationships between vegetation type and topography in Lassen Volcanic National Park. *Plant Ecology*, 131, 17–29.
- Shen ZH (沈泽昊), Zhang QF (张全发), Yue C (岳超), Zhao J (赵俊), Hu ZW (胡志伟), Lü N (吕楠), Tang YY (唐园园) (2006). The spatial pattern of land use/land cover in the water supplying area of the middle-route of the South-to-North Water Diversion (MR-SNWD) Project. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 61, 633–644. (in Chinese with English abstract)
- Shi PJ (史培军), Song CQ (宋长青), Jing GF (景贵飞) (2002). Strengthening the study of land use/cover change and its impact on eco-environmental security—the trend of the study of the dynamics of human-nature system based on “Global Chang Open Science Conference 2001” in Amsterdam, Netherlands. *Advance in Earth Science* (地球科学进展), 17, 161–168. (in Chinese with English abstract)
- Song KS (宋开山), Liu DW (刘殿伟), Wang ZM (王宗明), Zhang B (张柏), Jin C (金翠), Li F (李方), Liu HJ (刘焕军) (2008). Land use change in Sanjiang Plain and its driving forces analysis since 1954. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 63, 93–104. (in Chinese with English abstract)
- Turner M, Wear D, Flamm R (1996). Land ownership and land-cover change in the southern Appalachian Highlands and the Olympic Peninsula. *Ecological Applications*, 64, 1150–1172.
- Wang JT (王吉涛), Guo M (郭敏) (2008). Rubber Industry in Xishuangbanna—the Primary Backbone to Rich Prefecture. <http://www.ynxxb.com/cindex/show.aspx?id=60014>. Cited 12 Mar 2008
- Wang XQ (汪小钦), Wang QM (王钦敏), Li HG (励惠国), Liu GH (刘高焕) (2007). Driving forces of land use change/cover in the Yellow River Delta. *Resources Science* (资源科学), 29(5), 175–181. (in Chinese with English abstract)
- Wear DN, Bolstad P (1998). Land-use changes in southern appalachian landscapes: spatial analysis and forecast evaluation. *Ecosystems*, 1, 575–594.
- Wear DN, Flamm RO (1993). Public and private forest disturbance regimes in the southern Appalachians. *Natural Resource Modeling*, 7, 379–397.
- Wu CJ (吴传钧), Guo HC (郭焕成) (1994). *Chinese Land Use* (中国土地利用). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu XP (吴晓蕾), Tang ZY (唐志尧), Cui HT (崔海亭), Fang JY (方精云) (2006). Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing. *Acta Phy-*

- toecologica Sinica* (植物生态学报), 30, 239–251. (in Chinese with English abstract)
- Xu JC, Fox J, Vogler JB, Zhang PF, Fu YS, Yang LX, Qian J, Leisz S (2005). Land-use and land-cover change and farmer vulnerability in Xishuangbanna prefecture in southwestern China. *Environmental Management*, 36, 404–413.
- Xu ZF (许再富) (2004). Approach on ecological effects of Asian elephants isolated from the distribution of bamboo-wild banana and its conservation strategy. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 23, 131–134. (in Chinese with English abstract)
- Yang JC (杨景成), Huang JH (黄建辉), Pan QM (潘庆民), Han XG (韩兴国) (2004). Spectroscopic characteristics of soil organic matter in different tropical ecosystems in Xishuangbanna, Southwest China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 623–629.
- Zhang KY (张克映), Zhang YP (张一平) (1984). The impact of deforestation on local climate in Xishuangbanna. In: The Agriculture Association and the Forestry Association (中国农学会和中国林学会) eds. *Forestry and Meteorology Proceeding* (林业气象文集). China Meteorological Press, Beijing, 14–23. (in Chinese)
- Zhao XB (赵晓彪) (2003). An analysis of the changes of the population of nationalities in Xishuangbanna Autonomous State. *Northwest Population* (西北人口), 93(3), 59–61. (in Chinese with English abstract)
- Zhu H (朱华) (1990). The tropical rain forest vegetation in Xishuangbanna. *Tropical Geography* (热带地理), 10, 233–240. (in Chinese with English abstract)
- Zhu H, Xu ZF, Wang H, Li BG (2004). Tropical rain forest fragmentation and its ecological and species diversity change in southern Yunnan. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1355–1372.

责任编辑: 傅伯杰 责任编辑: 刘丽娟