

西双版纳勐仑地区景观格局变化定量分析

刘文俊, 马友鑫, 胡华斌, 曹 敏, 李红梅

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘要: 利用景观空间格局定量化分析软件 FRAGSTATS 和西双版纳勐仑地区 1988、2003 年两期 Landsat 影像解译结果, 定量分析和比较了两时期景观格局的组成、各类型斑块特征、不同类型斑块间空间分布关系及其动态变化, 并进一步分析了其生态效应。结果表明, 15 年来研究区内以经济林为主的人工景观组分剧烈增加, 景观多样性上升; 橡胶园等人工种植园地的扩张使得有林地破碎化: 平均斑块面积由 44km^2 减至 21km^2 , 斑块数由 368 增至 441, 同时边缘密度增加; 导致其核心区缩小, 斑块连接度下降; 城镇建设用地的扩展也使得耕地 (主要是水田) 趋于破碎化。景观中不同斑块的交错分布格局也趋于简单。人工经济林的大面积发展和城市化使该区景观中人为影响显著增强, 并产生了生物生境恶化及生态环境质量下降等不良生态效应。未来土地利用规划中应借鉴景观生态学原则, 以尽量减少对生态环境的进一步破坏。

关键词: 景观制图; FRAGSTATS; 景观指数; 生态效应

文章编号: 1000-0933(2006)09-3088-10 **中图分类号:** Q149 **文献标识码:** A

A quantitative analysis on the landscape pattern change in Menglun, Xishuangbanna, China

LIU Wen-Jun, MA You-Xin, HU Hua-Bin, CAO Min, LI Hong-Mei (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming 650223, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3088 ~ 3097.

Abstract: Menglun Township in Xishuangbanna is located in the tropical rain forest region of Southern Yunnan, China. Biodiversity is high in Menglun, and it is representative of other areas within Xishuangbanna because they have similar environment conditions, ethnic culture and economy development. Although part of the Xishuangbanna National Reserve is located within Menglun, pressure from population growth and economic development, particularly the expansion of cash crop, have greatly modified the landscape, resulting in significant forest fragmentation.

The change in landscape spatial pattern between 1988 and 2003 were analyzed using Landsat TM/ETM images and the program FRAGSTATS. Landscape diversity, patch characteristics, and the spatial distribution attributes of different landscape elements were analyzed quantitatively and their changes over time were compared. Most indices are presented for the landscape and class level to show the overall characteristics of the landscape. Indices at the patch level were mainly used to calculate the average value for each class. Human dominated land-use classes (e. g. rubber plantation, orchard and urban areas) have greatly increased. The area of rubber plantation exceeded forested area and became the largest land cover category in 2003. This resulted in a more even distribution of the major landscape elements, and thus there was an increase in the landscape diversity and evenness indices. The expansion of rubber plantation fragmented forested areas, increased the number of the patches from 368 to 441, and reduced the mean patch sizes from 44 km^2 to 21 km^2 . The shape of the largest patch was simplified, and as a result, the

基金项目: 国家科技部国际科技合作重点项目计划资助项目 (2001DFDF0004-0506)

收稿日期: 2005-07-11; **修订日期:** 2006-03-10

作者简介: 刘文俊 (1979 ~), 女, 云南人, 硕士, 主要从事景观生态学研究. E-mail: liuwj@xtbg.ac.cn

致谢: 本工作得到云南大学张佩芳和林业规划设计院邓喜庆先生的帮助, 沙丽清和郑征老师提供了有关资料, 谨此致谢

Foundation item: The project was supported by the Ministry of Science & Technology, China, under the program of international collaboration for Science & Technology.

Received date: 2005-07-11; **Accepted date:** 2006-03-10

Biography: LIU Wen-Jun, Master, mainly engaged in landscape ecology. E-mail: liuwj@xtbg.ac.cn

core area (with edge depth of 20 m) of forested area decreased and became functionally isolated. The spatial context of other landscape elements also changed. With the exception of rubber plantations, most of the other landscape elements have fewer chances to intersperse with each other. In conclusion, the major factor influencing these changes has been the spread of rubber plantations. If this trend continues, we can expect further deterioration of the regional environment. Rational land use planning is needed to prevent the further fragmentation of forested area and preserve the functional connection between forest patches based on landscape ecology theory.

Key words: landscape mapping; FRAGSTATS; landscape pattern; landscape metrics; ecological effects

景观格局与过程存在着密切的联系^[1]。景观格局影响着生物动态(如生物多样性、种群动态、动物行为、生物量)和物质交换(地表径流、土壤侵蚀、养分流动等)等多方面的生态过程;另一方面,各种生态过程的作用又使景观格局发生动态变化。特定时期和区域的景观格局既是其具体生态过程的产物,也影响着未来生态过程的发展变化。因而研究景观格局及其动态,并通过建立景观指数与特定生态过程的可靠联系来量化度量某些生态过程状况,往往有助于更好地理解景观的生态环境状况^[2~4]及其过去和未来的可能状态,从而对快速变化中的区域生态环境状况进行评估^[5,6]并以此为依据制定更为合理的土地利用规划。

近年来国内景观生态方面的研究日益广泛和深入^[7~13],不少学者以 3S 技术为支撑,结合景观格局定量分析软件 FRAGSTATS^[8,14],开展了景观格局定量研究。这些研究表明,对景观动态变化的分析是了解区域生态环境的变化过程和趋势,探寻其驱动力机制,进而对其未来可能变化进行模拟和预测的基础^[10,15~21]。但大多工作所涉及的是荒漠-绿洲或温带森林等景观,就我国滇南的热带雨林地区而言,这方面的深入研究还较少见,对于该区景观格局动态的定量研究也鲜有报道^[22],而这一地区恰恰就是正在发生着剧烈变化的区域之一。近几十年来,在经济发展、人口增长和城市化的驱动下,区内土地利用/覆盖变化剧烈,主要表现为经济林种植面积迅猛增长,居住、交通和建设用地大面积扩张以及原始林地面积减少,分布范围向高海拔地区退缩^[22,23]。因此,借助景观生态研究手段,定量研究其不同时期的景观格局及其动态就显得尤为必要。研究结果将有助于了解该区土地利用/覆盖及其变化对该区生态环境的影响,进而可为生态环境评估、未来土地利用规划等提供依据。

1 研究地区概况和研究方法

1.1 研究地区

研究地区位于云南省南部勐腊县勐仑镇,地处澜沧江下游,北纬 21°48'~22°00',东经 101°9'~101°25',海拔高度变化介于 500~1400m 之间,总面积 33488hm²。地貌以山原为主,其间分布着许多沟谷盆地、低丘和低山山地。由于位于本地区北部的哀牢山脉削弱或屏蔽了北方南下冷空气的入侵,该地区终年受西南季风控制,属热带季风气候,一年中有干季(雾凉季 11 月~翌年 4 月份)和雨季(5~10 月份)之分,年均气温 21.8℃,年均降雨量 1492.9mm,其中 80%分布在雨季。区内现存有大面积热带森林,主要森林类型有热带季节雨林、热带季雨林、季风常绿阔叶林、竹木混交林、灌木林等,是西双版纳国家级自然保护区的重要组成部分。砖红壤广布于盆地与山间谷地。

1.2 研究方法

景观格局定量分析包括景观空间形态、景观空间关系等多个方面的内容^[24]以及斑块、类型以及景观几个层次^[25,26]。本研究在景观分类基础上,利用景观空间格局定量分析软件(FRAGSTATS)分别计算两时期景观分类图的景观指数,并选取了反映景观格局各方面特征的若干代表性指数来定量描述该区 15a 前后的景观格局特点及其变化。

景观分类借助了 3S 技术,以地形图、Ikonos 影像和航片等为辅助数据,结合实地勘察所得样本点,在 EADAS IMAGING 下对 1988 年和 2003 年两期 Landsat TM(ETM)影像进行监督分类。分类系统的制定主要依据《土地利用现状调查技术规程》^[27],同时考虑了土地利用方式和影像特征等^[12],根据影像分类效果不断加以修

订,得到了包含 11 个类型的三级分类系统(表 1)。然后根据实地采集样本点等对分类结果进行精度评价,达精度要求后输出景观分类图像(图 1)。在分析过程中,按人类活动的影响程度^[28, 29],将景观组分概括为人工组分(包括人造组分,如城市建设用地等和经营组分,如经济林等)和自然组分(如有林地等)两大类。

2 结果与分析

本研究将研究区景观格局特征概括为景观多样性、景观组分斑块基本特征、景观破碎化状况、景观组分空间关系 4 个方面进行量化描述,并分析其 15a 来的变化。

2.1 景观多样性变化

15a 间,该区景观发生了显著改变(图 1)。尽管前后两期景观组分基本一致:2003 年仅新增了面积很小的两种类型:香荚兰园和苗圃。但两期景观各组分间的面积分配差异较大:1988 年,有林地面积最大,橡胶园和轮歇地次之;而 2003 年,橡胶园急剧增加,取代了有林地在景观中的主导地位;有林地仅余原来的一半;轮歇地也几乎完全消失。建设用地、迹地、果园和滩涂则不同程度增加;有林地在面积上绝对占优的局面被打破,不同景观组分之间面积分配比例更加均等,景观的多样性和均一性升高(表 2)。2003 年景观中人类活动影响显著增强,人工景观组分(包括橡胶林、果园和建设用地等)面积骤增,由自然组分(有林地等)占主导的景观转变为人工组分占主导的景观。

2.2 各类型斑块基本特征及其动态

斑块基本特征主要包括其大小和形状复杂程度,本研究通过类型的平均斑块面积和形状指数进行定量描述。

2.2.1 斑块面积特征 两期景观中,有林地,橡胶园和河流的平均斑块面积均远大于其余类型斑块,说明这 3 种景观组分主要由大面积斑块组成。1988 年,橡胶园的平均斑块面积甚至超过了当时总面积最大的有林地,(图 2a),达 63hm²,而有林地仅为 44hm²。这反映了人工种植园地斑块更为集中连片化,斑块面积大;而自然组分如有林地则有更多的小斑块。

2003 年,橡胶园平均斑块面积骤增至 150km²,而有林地降至 21km²(图 2a),两者差异更为明显。水田、轮歇地的平均斑块面积减小,果园、橡胶园、灌木林地、居住用地、水体平均斑块面积增加。各类型的面积权重平均斑块面积指数(图 2b)均明显大于斑块平均面积,尤以橡胶园、有林地、灌木林地等类型最为明显,说明这些类型斑块间的面积分配极不均匀,少数大斑块占据了绝大部分类型总面积。

2.2.2 斑块形状特征 斑块形状的复杂程度往往与受人类影响程度有关。一般而言,受人为影响后斑块的形状趋于简单^[31]。有林地平均形状指数(图 2c)增加,但其面积权重形状指数(图 2d)下降,说明大面积斑块有林地的形状趋于规则,反映出人为影响的痕迹。橡胶园两时期的平均形状指数和面积权重形状指数也表现出相反的变化趋势,前者下降而后者上升,说明橡胶园连片化形成大斑块的同时形状趋于不规则。因河流形状为线状,其形状指数值远大于其余各类型为最大。由于果园、灌木林地、迹地和滩涂等的不规则扩张,其形状

表 1 景观分类系统

Table 1 The landscape classification system		
一级类型 The first class	二级类型 The second class	三级类型 The third class
1 耕地 Farmland	11 灌溉水田 Paddy field	
	12 旱地 Dry land	121 轮歇地 Fallow land
2 园地 Plantation	21 果园 Orchard	
	22 橡胶园 Rubber plantation	
	23 香荚兰园 Vanilla plantation	
3 林地 Forest	31 有林地 Forested area	
	32 灌木林 Shrub land	
	33 迹地 Cleared land	
4 居民地 Residential area	41 城乡建设用地 Built-up	
	42 特殊用地 Special land	421 园林用地 Garden 422 苗圃 Nursery
5 水域 Water area	51 水体 Water	
	52 滩涂 Sand	

表 2 景观多样性状况

Table 2 The landscape diversity of 1988 and 2003		
指数 Indices	年 Year	
	1988	2003
斑块丰富度 PR	11	13
变形辛普森多样性指数 MSIDI	1. 20	1. 28
辛普森均一性指数 SIEI	0. 77	0. 78

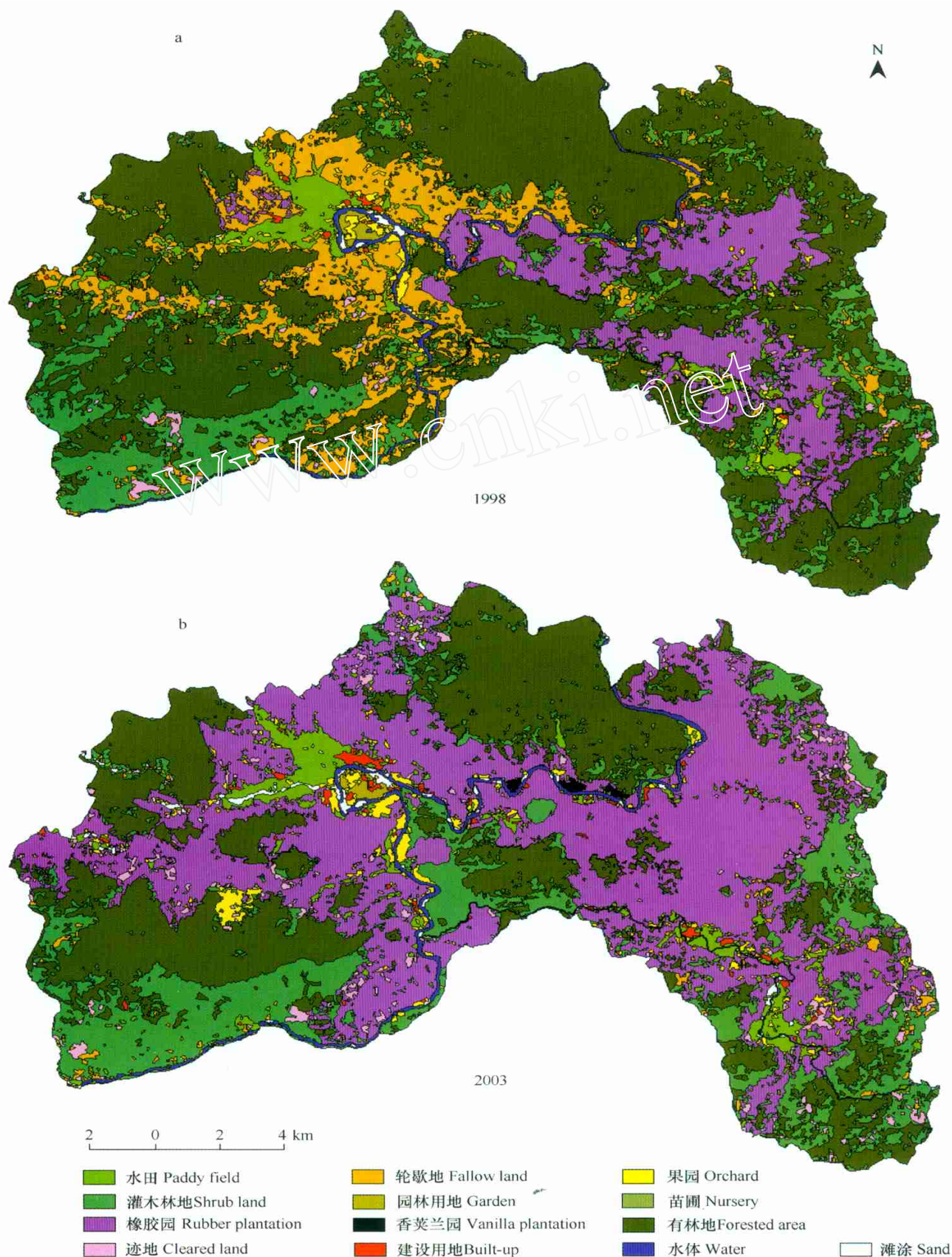


图 1 景观分类结果图
Fig. 1 The landscape maps

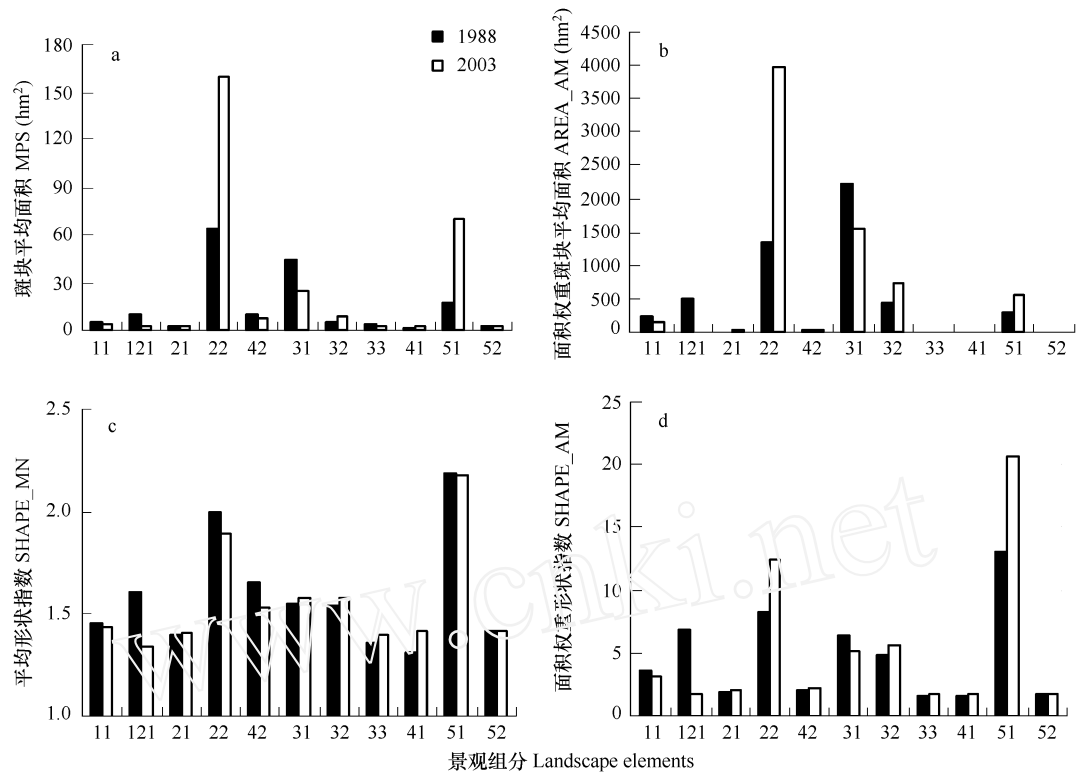


图 2 景观各类斑块形状基本特征及其变化

Fig. 2 The shape features of different patches and their changes over time

(a) 斑块平均面积 MPS(hm²), (b) 面积权重斑块平均面积 AREA-AM(hm²), (c) 平均形状指数 SHAPE-MN, (d) 面积权重形状指数 SHAPE-AM
11—水田 Paddy field, 21—果园 Orchard, 22—橡胶园 Rubber plantation, 23—香荚兰园 Vanilla plantation, 31—有林地 Forested area, 32—灌木林地 Shrub land, 33—迹地 Cleared land, 41—建设用地 Built-up, 42—园林用地 Garden, 51—水体 Water, 52—滩涂 Sand, 121—轮歇地 Fallow land, 422—苗圃 Nursery 7, 下同 the same below

指数也均升高。

2.3 景观组分破碎化状况

2.3.1 景观组分破碎化的基本特征 景观组分结构上的破碎化可以进一步用边缘密度 (ED, 图 3a) 和斑块密度 (PD, 图 3b) 进行衡量。

两期景观中,橡胶园的边缘密度和斑块密度都远小于其它类型斑块,且在边缘密度下降的同时斑块密度上升,反映出其斑块少,面积大,且分布连片化。有林地的边缘密度和橡胶园相近,但是其斑块密度增大,且远大于橡胶园,说明有林地出现了破碎化,但斑块边界较简单。进一步借助其不同大小斑块的频数分布^[21]可看出,2003 年较之 1988 年面积小于 100hm² 的森林斑块数量明显增加,而大于或等于 100hm² 的森林斑块数目却明显减少;1988 年最大森林斑块面积大于 3000hm²,到 2003 年其面积已降至 3000hm² 以下,其破碎化现象十分严重(表 3)。

两期景观中斑块密度最大的均是灌木林地,但其数量在 2003 年已明显下降,边缘也趋简单。轮歇地边缘密度上升最为显著,同时斑块数量剧烈减少。水田也反映出破碎化的趋势;而果园、居住用地和迹地的边缘密

表 3 有林地斑块频数分布

Table 3 The frequency distribution of the forested area		
斑块面积级别(hm ²) Area class of patch	斑块数量 Number of Patches	
	1988	2003
< = 1	150	179
1 ~ 10	178	184
10 ~ 50	21	30
50 ~ 100	4	7
100 ~ 500	8	8
500 ~ 1000	2	1
1000 ~ 2000	2	0
2000 ~ 3000	2	2
> = 3000	1	0
总计 Total	368	411

度下降,斑块数量也有较明显上升,有连片分布趋势。

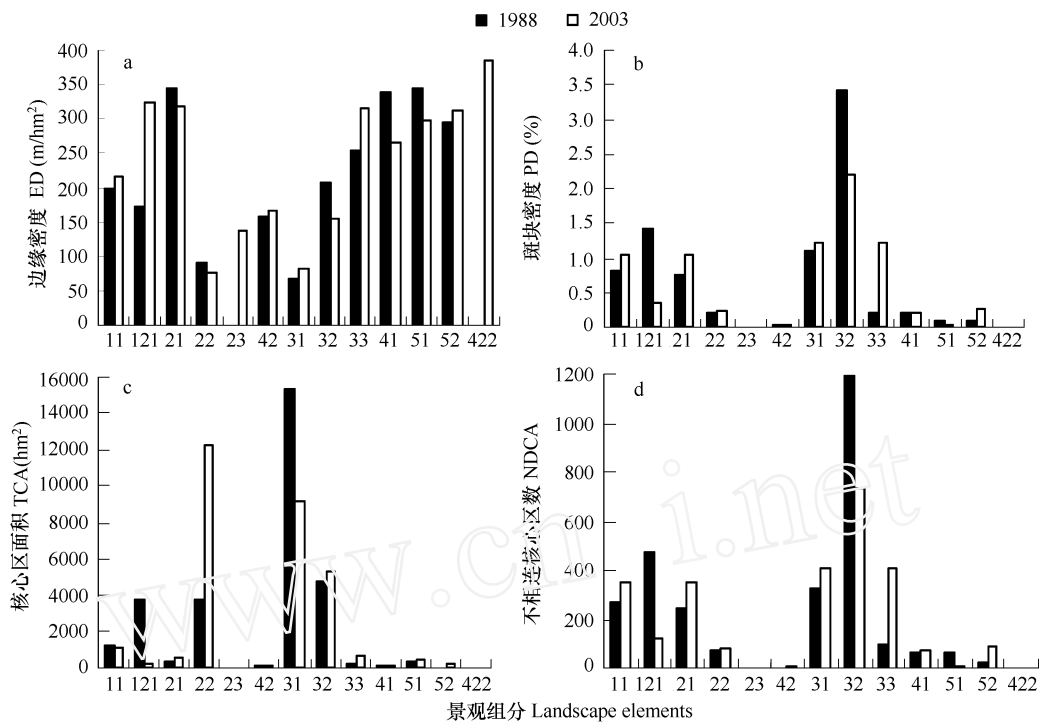


图3 景观组分破碎化状况

Fig. 3 The fragmentation of landscape elements

(a) 边缘密度 (ED, m/hm²), (b) 斑块密度 (PD, %), (c) 核心区总面积 TCA (hm²), (d) 不相连核心区数 NDCA

2.3.2 景观组分核心区变化 核心区是基于某指定边缘深度 (Edge depth) 而言的,主要针对的是可以作为生物生境的植被,如有林地、灌木林地等。它主要由斑块面积大小和形状特征决定,因而其变化可直接反映出景观破碎化的影响^[31]。不同针对性的研究往往需要指定不同的边缘深度。本研究为便于比较各景观组分的受破碎化影响的相对变化,未就不同景观组分对其分别指定,而是根据该区林缘小气候研究的结果^[30],选取了20 m 进行计算。

15a 间,各类型的核心区总面积 (图 3c) 的变化趋势与其各自总面积的变化一致。橡胶园核心区总面积急剧上升 (图 3c);而有林地核心区总面积显著下降,同时不相连核心区数 (图 3d) 由 330 增加至 441 块,反映出了其结构及功能上的破碎化。灌木林地总面积变化不显著,而核心区面积明显增长,说明其斑块明显趋于连片化,单个斑块面积增大且形状趋于简单。

不相连核心区指数与斑块数量 (PN) 有着密切的联系,但由于斑块形状的不规则性及所指定的边缘深度的不同,一个斑块中可包含 0 块至多块不等的核心区,因此该指数可能出现大于、等于或小于 PN 的情况。水田、果园、橡胶园、有林地、迹地等的不相连核心区数量都有不同程度上升。

2.4 景观组分空间关系及其变化

2.4.1 各景观组分空间分布特征及变化 景观组分空间分布特征的变化,其主要特征可以概括为两方面:一为同种斑块间相互关系 (孤立和接近性),二是不同种斑块间的相互关系 (蔓延和点缀性)。

散布与并列指数 (图 4a) 测量的是与某类型相邻的其它类型数量的多少,以此反映不同景观组分空间分布关系^[25]。其值越高,则与该组分相邻的类型越多。前后两期景观中橡胶园的散布与并列指数变化较小,说明橡胶周围其它类型的分布情况变化不大;但是其它类型该指数的值都有较明显下降,即这些景观组分与其它组分交错分布的机会减少,空间关系趋于简单化。橡胶园吞并其它类型斑块而迅速扩张对此有显著的影响。

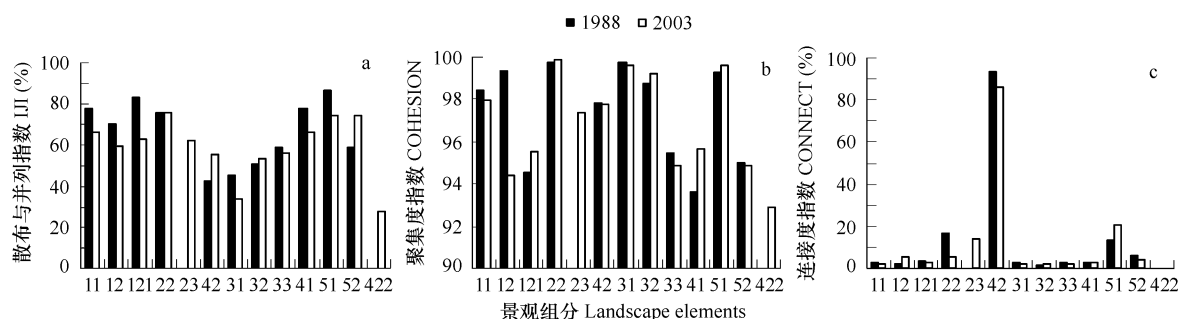


图4 景观组分空间关系及连接度状况

Fig. 4 The spatial relationship and connectivity among landscape elements

(a) 散布与并列指数, II, (b) 聚集度指数 COHESION, (c) 连接度指数, CONNECT

2.4.2 景观组分连接性及其变化 斑块空间分布特征的改变直接影响到斑块间连接性状况。斑块间物理连接度和功能连接度可以分别由聚集度指数和连接度指数(指定距离 1000 m)衡量。

大部分景观组分的聚集度指数(图 4b)和连接度指数(图 4c)呈现一致的变化,如有林地的聚集度和连接度均降低,说明结构上的破碎化导致了该类斑块间连接度的下降。但也有例外,如橡胶园和轮歇地,橡胶园物理连接度上升的同时功能连接度下降,究其原因,尽管 2003 年有很多橡胶小斑块合并成一个连续的大斑块,就单个斑块的变化而言,连接度上升;但由于新增了许多小的橡胶园斑块,导致该景观组分的总斑块数量大大增加,因而该景观组分总体的功能连接度下降。同理,尽管 1988 年大斑块的轮歇地到 2003 年被分割为了若干不连续的小斑块,在景观中所占比例也大大下降,物理连接度下降,但由于其斑块数量减少,分布相对而言更为紧凑,故而该类型斑块的功能连接度反而上升。这也说明类型级别的物理连接度和功能连接度之间不存在必然的联系。

3 讨论和结论

3.1 讨论

3.1.1 快速变化中的热带地区景观特点及其主要驱动因子 在经济快速发展、城市化不断推进的地区,土地利用/覆盖发生深刻变化,景观中大量人工组分的出现并伴有林地的破碎化是很普遍的现象。就热带地区而言,有林地的破碎化往往与经济作物的大力发展存在着直接的联系。张佩芳对西双版纳 30a 来的森林空间变化的研究结果显示:以橡胶为主的经济林大量代替原始林是该区最主要的土地利用/覆盖变化,同时当地森林的破碎化程度加深^[32]。林媚珍等对海南岛热带天然林动态变化研究结果也显示人类开发利用活动,尤其是近几十年来橡胶林的大面积种植是热带雨林大面积减少的直接原因^[33]。热带地区的景观变化特点表现为人工组分不断取代自然组分在景观中占据优势地位,且其结构上反映出人为种植、经营等管理的特点,即集中化、连片化分布;而自然组分不同程度地破碎化。

3.1.2 景观格局变化的生态效应 特定土地利用/土地覆盖格局有着与之相应的生态学过程^[1]。西双版纳勐仑地区以有林地的破碎化以及橡胶园等人工种植园地的大面积扩张为特征,在景观多样性增加的同时,出现了各类型空间关系简单化,交错分布几率降低,有林地核心区减少,连接度下降的现象,随之而来的将是生态环境的退化。首先,有林地的破碎化必然导致一系列的负面生态效应,例如更多处于不同退化阶段的隔离生境的出现^[34]。另一方面,林缘的增加也必然导致以林地为生境的内部种的多样性下降,同时直接导致了植物生境小气候的变化^[30]。朱华将片断化雨林和原始热带雨林的植物区系进行对比研究发现,前者先锋种增加,而喜阴种减少^[35]。区域气候也与有林地的破碎化产生响应。区域下垫面的反射率、粗糙度等的变化将最终导致其水分循环和热量循环的改变^[36]。研究区内橡胶林大量取代原始林(主要为热带雨林),这两种植被类型在物理性质(如反射率)和生理特点(如水分蒸腾)等多方面都存在着较大的差异:热带雨林的蒸腾量是疏林和灌丛的 7 倍^[37]。该地区近年来已表现出明显的温度升高、湿度降低趋势^[38]。

3.1.3 景观格局定量分析指数的选取 对众多的景观指数进行合理选取是景观格局定量化研究过程中的关键。不同指数反映着景观格局的不同方面特征:景观丰富度指数和多样性、均一性指数相结合可以反映景观多样性;斑块面积-形状指数以及边缘密度、斑块密度指数可以反映景观破碎化在结构上的各方面特点;散布与并列指数、聚集度指数等分别反映不同景观组分之间以及同种组分间斑块的空间分布关系;核心区指数、连接度指数则反映由于格局变化,如破碎化等产生的影响。同时,对于不同层次指数及其统计方式的选取也很重要,以景观级别和类型级别的指数为主将有利于对从整体上把握景观格局特征^[39],而斑块级别的景观指数则往往较少涉及。常用的统计方式有平均和面积权重两种,两者有时会出现相反的变化趋势,原因是前者容易受面积仅占很小一部分、但数量较大的小斑块限制,因而后者相较之下更能突出类型的主要特点。

3.1.4 本研究存在的局限及展望 3S 技术的支撑以及景观格局分析软件 FRAGSTATS 的运用使本研究及时有效地掌握了研究区 1988、2003 两期景观格局及其动态,并对其进行了定量化地分析和比较。但本研究也不可避免地存在一定的局限。首先,利用 Landsat TM 卫星影像解译结果进行景观格局分析,受其分辨率以及解译精读限制,以分类图像为基础所做景观格局定量分析也必然受到一定的影响^[25,29,40~42]。其次,由于研究范围较大,涉及景观组分较多,在计算连接度指数和核心区指数时,难以就具体景观组分设定不同的指数,而只能用同一阈值对各组分进行计算,从而缺乏针对性。但计算结果仍能反映出不同时期各景观组分的空间结构及其状况的相对差异,由此分析其所产生的生态效应,从而可对受威胁程度较大、生态状况退化严重的景观组分或区域进行预警,以便及时采取相应措施。在此基础上,若有更高分辨率影像以及实地资料的支持,还可进一步对生物、环境、水文等各方面所受影响开展深入研究,从而使景观格局变化的生态效应得出更为具体的结论。

3.2 结论

景观分类制图及其格局定量化分析的结果表明,15a 来,随着该区土地利用/覆盖的剧烈变化,自然组分(有林地等)在景观中的优势已为人工组分(橡胶园等)取代,景观丰富度和多样性增加。同时不同景观组分的斑块大小、形状和斑块间的空间分布关系都发生了变化。主要表现为:有林地为主的自然组分大面积减少,有林地斑块平均面积由 1988 年的 44 hm² 降为 2003 年 21 hm²,同时面积小于 100 hm² 的森林斑块数量明显增加,而大于或等于 100 hm² 的森林斑块数目却明显减少;最大森林斑块面积也远低于 1988 年的 3000 hm²。有林地严重破碎化,并进而导致了斑块间连接度降低,不相连核心区数由 330 升至 441。而橡胶园、果园等人工景观组分急剧扩张,斑块数量增加和平均斑块面积均有较大增加,同时分布趋于连片化、聚集化。其中以橡胶园的增长最为显著,总面积成倍增长,平均斑块面积由 60 km² 骤增至 150 km²。以橡胶园为主的人工组分的急剧扩张及其对其他类型斑块的吞并还使得整个景观中各类斑块的交错分布格局趋于简单。

可以看出,市场和政策驱动下的以橡胶为主的人工经济林的大面积扩张是该区景观产生显著变化的直接因素。对于具有较高生态保护价值的滇南热带雨林区,有必要在未来土地利用规划中借鉴景观生态学原则,开发利用有林地区域时应保证其一定面积核心区的存在,并尽量保持其功能上的联系性,以避免其结构和功能上的破碎化,从而促进区域可持续发展。

References:

- [1] Wu J G. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [2] Fu B J, Chen L D. Landscape diversity types and their ecological significance. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(5): 454~461.
- [3] Moser D, Zechmeister H G, Plutzer C, et al. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology*, 2002, 17(7): 657~669.
- [4] O'Neill R V, Krumm J R. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1(3): 153~162.
- [5] Behera M D, Kushwaha S P S, Roy P S. Rapid assessment of biological richness in a part of Eastern Himalaya: an integrated three-tier approach. *Forest Ecology and Management*, 2005, 215: 363~384.
- [6] Weiers S, Bock M, Wissen M, et al. Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scales using remote sensing and GIS methods. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67: 43~65.

- [7] Ding S Y, Qian L X, Cao X X, *et al.* Forest Landscape pattern dynamics of Yihe-Luohe River basin. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3) : 354 ~ 362.
- [8] Lu L, Li X, Cheng G D, *et al.* Analysis on the landscape structure of the Heihe River Basin, Northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8) : 1217 ~ 1224.
- [9] Song K S, Zhang B, Yu L, *et al.* The Dynamic Change of Landscape Pattern in Tonghua Region Using RS and GIS. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(2) : 234 ~ 240
- [10] Wang X C, Sun L, Zhou X F, *et al.* Dynamic of forest landscape in Heilongjiang Province for one century. *Journal of Forestry Research*, 2003, 14(1) : 39 ~ 45.
- [11] Wang X Z, Helge B, Michael R, *et al.* A quantitative Analysis of the landscape pattern around Qira oasis based on remote sensing data. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (9) : 1491 ~ 1499.
- [12] Wen Z M, Jiao F, Zhang X P. Impact of landscape changes on environment due to 60 year 's land use in a small catchment in Loess Hilly Region on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9) :1903 ~ 1909.
- [13] Xu J H, Fang C L, Yue W Z. An analysis of the mosaic structure of regional landscape using GIS and remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (2) :365 ~ 375.
- [14] Li H L, Xiao D N, Wang Q B, *et al.* Landscape changes of typical agricultural oasis in arid regions and its driving factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (9) :1878 ~ 1883.
- [15] Bi X L, Zhou R, Liu L J, *et al.* Gradient variations in landscape pattern along the Jinghe River and their driving forces. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (5) :1041 ~ 1047
- [16] Brown D G, Pijanowski B C, Duh J D. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*, 2000, 59: 247 ~ 263.
- [17] Cushman S A, Wallin D O. Rates and patterns of landscape change in the Central Sikhote-alin Mountains, Russian Far East. *Landscape Ecology*, 2000, 15 (7) : 643 ~ 659.
- [18] Ma M G, Wang X M, Jiao Y M, *et al.* Study on the change of landscape pattern of oasis in arid region based on RS and GIS Methods: application of Jinta Oasis. *Journal of Desert Reserach*, 2003, 23(1) : 53 ~ 58.
- [19] Song D M, Xiao D N, Zhang Z C, *et al.* Landscape changes of Minqin oasis in Gansu Province and its driving force. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (4) : 535 ~ 539.
- [20] Tinker D B, Romme W H, Despain D G. Historic range of variability in landscape structure in sub alpine forests of the Greater Yellowstone Area, USA. *Landscape Ecology*, 2003, 18 (4) : 427 ~ 439.
- [21] Zhao S Q, Fan J Y, Tang ZY, *et al.* Spatial-temporal patterns of land use and land cover change in Honghu Lake Region, Hubei Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(5) : 721 ~ 725.
- [22] Gan S, He D M, Dang C L. The Comparison of Three Case Study Area on Landscape Structure of Lancang River Basin in Yunnan Province, *Journal of Mountain Science*, 2002, 20 (5) : 564 ~ 569.
- [23] Liu W J, Ma Y X, Hu H B *et al.* Land Use and Land Cover Changes in the Tropical Rainforest Region of Southern Yunnan, China :a case study of Menglun, Xishuangbanna. *Journal of Mountain Science*, 2004, 23 (1) : 71 ~ 79.
- [24] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. The Characteristics and Contents of Landscape Spatial Analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (7) : 1135 ~ 1142
- [25] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, *et al.* Fragstats: Spatial Pattern Analysis Software for Categrical Maps. Computer Software Program Produced by the Authors at the University of Massachusetts, Amhurst, 2002.
- [26] Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative methods in landscape pattern analysis. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18 (4) : 346 ~ 352.
- [27] China Agricultural Division Committee. The technical guide to land use status survey. Beijing: China Surveying Press, 1984.
- [28] Xiao D N, Zhong L S. Ecological principle of landscape classification and assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9 (2) :217 ~ 221
- [29] Zhan W, Xu F L, Zhao Z Y, *et al.* A methodological research on quantitative assessment for the dynamic trends of landscape structure in regional ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10) :2263 ~ 2268.
- [30] Ma Y X, Liu Y H, Zhang K Y. On microclimate edge effects of tropical rainforest fragmentation in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22 (3) : 250 ~ 255.
- [31] Li X Z, Bu R C, Chang y, *et al.* The response of landscape metrics against pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (1) :123 ~ 134
- [32] Zhang P F, He W R, He X, *et al.* An Approach on Forest Spatial Change In Xishuangbanna. *Acta Geographic Sinica*, 1999, 54 (Supplement) : 139 ~ 145.
- [33] Lin M Z, Zhang Y L. Dynamic change of tropical rainforest in Hainan Island. *Geographical Research*, 2001, 20 (6) : 703 ~ 712.
- [34] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 2000, 15 (2) : 115 ~ 130.

- [35] Zhu H, Xu Z F, Wang H, *et al.* Floristic composition and changes of rain forest fragment in Xishuangbanna, Southern Yunnan. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8 (2): 139 ~ 145.
- [36] Zhou G S, Wang Y H. The feedback of land use /cover change on climate. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14 (4): 318 ~ 322.
- [37] Ye D F. A study of the interaction mechanism between precipitation and forest. *Exploration of Nature*, 1998, 17(1): 85 ~ 89.
- [38] Ma Y X, Guo P, Zhang Y P *et al.* Climate change and forest fragmentation in Xishuangbanna. In: Chen Y Y 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*. Beijing: China Forestry Publishing House. 2002. 262 ~ 279.
- [39] Narumalani S, Mishra D R, Robert G R. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91: 478 ~ 489.
- [40] Shao G F. The influence of remotely sensed thematic maps on landscape ecology studies. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (9): 1857 ~ 1862.
- [41] Wu J G, Shen W J, Sun W Z, Tueller P T. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology*, 2002, 17 (8): 761 ~ 782.
- [42] Narayanan R M, Desetty, M K, Reichenbach S E. Effect of spatial resolution on information content characterization in remote sensing imagery based on classification accuracy. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23 (3): 537 ~ 553.

参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [2] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态学意义. *地理学报*, 1996, 51(5): 454 ~ 461.
- [7] 丁彦彦, 钱乐祥, 曹新向 等. 伊洛河流域典型地区森林景观格局动态. *地理学报*, 2003, 58: 354 ~ 362.
- [8] 卢玲, 李新, 程国栋 等. 黑河流域景观结构分析. *生态学报*, 2001, 21(8): 1217 ~ 1224.
- [9] 宋开山, 张柏, 于磊, 等. 基于 RS 与 GIS 的通化地区景观格局动态变化. *山地学报*, 2004, 23 (2): 234 ~ 240.
- [11] 王兮之, Helge B, Michael R, 等. 基于遥感数据的塔南策勒荒漠-绿洲景观格局定量分析. *生态学报*, 2002, 22 (9): 1491 ~ 1499.
- [12] 温仲明, 焦峰, 张晓萍, 等. 纸坊河流域近 60 年来土地利用景观变化的环境效应. *生态学报*, 2004, 24 (9): 1903 ~ 1909.
- [13] 徐建华, 方创琳, 岳文泽. 基于 RS 与 GIS 的区域景观镶嵌结构研究. *生态学报*, 2003, 23: 365 ~ 375.
- [14] 李华蕾, 肖笃宁, 王秋兵, 等. 干旱区典型农业绿洲的景观变化与原因分析. *生态学报*, 2004, 24(9): 1878 ~ 1883.
- [15] 毕晓丽, 周睿, 刘丽娟, 等. 泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析. *生态学报*, 2005, 25 (5): 1041 ~ 1047.
- [18] 马明国, 王雪梅, 角媛梅, 等. 基于 RS 与 GIS 的干旱区绿洲景观格局变化研究——以金塔绿洲为例. *中国沙漠*, 2003, 23(1): 53 ~ 58.
- [19] 宋冬梅, 肖笃宁, 张志诚 等. 甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析. *应用生态学报*, 2003, 14 (4): 535 ~ 539.
- [21] 赵淑清, 方精云, 唐志尧, 朴世龙. 洪湖湖区土地利用土地覆盖时空格局研究. *应用生态学报*, 2001, 12 (5): 721 ~ 725.
- [22] 甘淑, 何大明, 党承林. 澜沧江流域上、中、下游典型案例区景观格局对比分析. *山地学报*, 2002, 20 (5): 564 ~ 569.
- [23] 刘文俊, 马友鑫, 胡华斌 等. 滇南热带雨林区土地利用/覆盖变化研究——以西双版纳勐仑地区为例. *山地学报*, 2005, 23 (1): 71 ~ 79.
- [24] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. *生态学报*, 2002, 22 (7): 1135 ~ 1142.
- [26] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. *山地学报*, 2000, 18 (4): 346 ~ 352.
- [27] 全国农业区划综合委员会. 土地利用现状调查技术规程. 北京:测绘出版社, 1984.
- [28] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则. *应用生态学报*, 1998, 9 (2): 217 ~ 221.
- [29] 詹巍, 徐福留, 赵臻彦, 等. 区域生态系统景观结构演化定量评价方法. *生态学报*, 2004, 24 (10): 2263 ~ 2268.
- [30] 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. *植物生态学报*, 1998, 22 (3): 250 ~ 255.
- [31] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应. *生态学报*, 2004, 24: 123 ~ 134.
- [32] 张佩芳, 郝维人, 何祥 等. 云南西双版纳森林空间变化研究. *地理学报*, 1999, 54 (Supplement): 139 ~ 145.
- [33] 林媚珍, 张德铨. 海南岛热带天然林动态变化. *地理研究*, 2001, 20 (6): 703 ~ 712.
- [35] 朱华, 许再富, 王洪, 等. 西双版纳片断热带雨林植物区系成分及变化趋势. *生物多样性*, 2000, 8(2): 139 ~ 145.
- [36] 周广胜, 王玉辉. 土地利用/土地覆盖变化对气候的反馈作用. *自然资源学报*, 1999, 14(4): 318 ~ 322.
- [37] 叶岱夫. 降水与森林相互作用激励的探讨. *大自然探索*, 1998, 17 (1): 85 ~ 89.
- [38] 马友鑫, 郭萍, 张一平, 等. 西双版纳地区气候变化与森林片断化. 见:陈宜瑜主编. *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*. 北京:中国林业出版社, 2002. 262 ~ 279.
- [40] 邵国凡. 遥感主体图的准确度对景观生态学研究的影响. *生态学报*, 2004, 24 (9): 1857 ~ 1862.