

热带林业实验中心人工林区景观格局变化分析

车腾腾¹, 冯益明¹, 蔡道雄², 张万幸², 张显强², 吴春争³

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600; 3. 西南林业大学资源学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 以中国林业科学研究院热带林业实验中心(热林中心)1998年、2004年和2009年3期森林资源调查成果为主要信息源, 在地理信息系统软件的支持下, 通过分析景观指数, 对热林中心3个时期的景观格局作了系统分析。研究表明: 1998 - 2009年, 有林地景观要素占有所有景观要素面积的49%以上, 呈现出面积大、斑块数目多、优势度高的特征, 它对热林中心景观的结构功能起着主导作用。未成林造林地、非林地、无立木林地在1998 - 2009年期间面积分别减少283.83, 538.84和1 507.11 hm², 疏林地在2004年和2009年2期数据中都已经不存在, 宜林地面积在不断增加, 苗圃和辅助生产这些为营林造林服务的土地面积也略有上升趋势。这些变化与热林中心近年来重视森林培育, 精细化经营林地, 对林地利用方式进行调整有关。表3参26

关键词: 景观生态学; 人工林; 景观格局; 动态分析

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)05-0706-07

Dynamics analysis on landscape patterns of Chinese tropical and subtropical plantation areas

CHE Teng-teng¹, FENG Yi-ming¹, CAI Dao-xiong², ZHANG Wan-xing²,
ZHANG Xian-qiang², WU Chun-zheng³

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Experimental Centre of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China; 3. Faculty of Resources, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: Forest subcompartment data for the survey years of 1998, 2004 and 2009 were used to systematically analyze the dynamics of landscape spatial structure at Experimental Centre of Tropical Forestry of Chinese Academy of Forestry, in terms of landscape index by using Geographic Information Systems (GIS). It is found that the area of forest landscape element accounted for over 49% of all landscape elements area from 1998 to 2009 and showed the characteristics such as large area, many patches and high dominance index, which played a leading role in the landscape structure and function of Experimental Centre of Tropical Forestry. The afforestation for undeveloped forests, non-forests and no stumpage forests were reduced by 283.83, 538.84, 1 507.11 hm² during 1998 - 2009, respectively, while the open forest land area disappeared in 2004 and 2009. However, forestation-suitable land area was growing, and nursery and auxiliary production area which were used to serve the business afforestation displayed a slight rise. These changes were related to the strengthening of the forest cultivation, the fine forest management and the adjustment of forest land-use patterns. [Ch, 3 tab. 26 ref.]

Key words: landscape ecology; forest plantation; landscape pattern; dynamic analysis

收稿日期: 2010-09-19; 修回日期: 2011-04-13

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(200704019)

作者简介: 车腾腾, 硕士, 从事遥感图像处理与地理信息系统应用研究。E-mail: xiaoxuan0703@163.com。通信作者: 冯益明, 研究员, 博士, 从事“3S”技术及其在林业中应用研究。E-mail: fengym@caf.ac.cn

景观生态学(landscape ecology)是研究景观单元的类型组成、空间配置及其与生态学过程相互作用的综合性学科。景观的结构、功能及其动态变化是景观生态学研究中的三大核心问题。结构决定功能,功能的改变最终将从结构的变化中反映出来。因此,景观结构是三大核心问题中的核心^[1-2]。通过研究景观结构与功能的关系,进而实现景观动态研究的目的^[3]。对研究地区不同时期景观的组成结构、斑块特征及景观要素空间分布格局运用数量化方法加以描述和进行动态分析,可以有效地揭示研究地区景观变化规律和分析影响因素^[4]。近年来,国内许多学者采用地理信息系统(GIS)技术开展景观动态和景观格局方面的研究。如 2007 年,王磊等^[3]利用 ERDAS 8.7 和 ArcViewGIS 3.3 等软件,分析了 1989 - 2006 年间,2/3 是人工林的孟家岗林场的森林景观多样性指数、景观空间结构指数和森林景观内部年龄结构指数,并揭示了森林景观格局的动态变化情况。此外,方晰等^[5]在 2008 年利用 ViewGIS 软件对长沙市城郊湖南省林科院试验林场森林植被景观的生态格局和破碎化程度进行了分析,揭示了人类活动对该地区森林植被景观影响程度。热带林业实验中心(以下简称“热林中心”)作为一个集科研、生产、经营与开发为一体的以人工林为主的科学实验基地,在中国热带、南亚热带人工林的经营管理和林地利用上起着模范带头作用,其经营的好坏,对其他相关林场的经营起着重要的借鉴作用。通过分析景观格局动态可以很好地帮助我们了解森林的状况,但目前热林中心尚未有类似景观格局的研究,故运用现代科技手段来认识其景观格局变化是一项十分迫切的任务。本研究运用 ArcGIS 软件,对热林中心不同时期的森林资源调查数据进行景观分类统计,并对结果进行分析,找出 1998 - 2009 年林地利用类型的景观格局变化,为今后合理制定森林经营方案提供一定依据。

1 实验数据

1.1 研究区概况

热林中心位于广西省凭祥市,21°57'~22°16'N,106°41'~106°59'E,地形地貌复杂,地貌类型有丘陵、台地、低山、中山和岩溶地貌,最高海拔为 1 045.9 m(北大青山),最低海拔为 130.0 m(平而河),属于亚热带季风性气候,夏无酷暑,冬无严寒,雨水充沛。年均气温为 21.0~23.0 °C,年降水量为 1 062~1 772 mm,日最大降水量为 206.5 mm。年无霜期为 344 d,平均日照为 1 614 h。土壤主要为花岗岩发育成的红壤,间有部分石灰岩土、酸性紫色土和冲积土。植被属南亚热带季雨林。人工植被以马尾松 *Pinus massoniana* 和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 为主,其次是湿地松 *Pinus elliotii*,石梓 *Gmelina chinensis*,八角 *Illicium verum* 等。灌木树种主要是盐肤木 *Rhus chinensis*,余甘子 *Phyllanthus emblica*,桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa* 等,草本主要有野古草 *Arundinella anomala*,五节芒 *Miscanthus floridulus* 和蔓生莠竹 *Microstegium vagans* 等。

1.2 资料收集和数据处理

在本研究中主要收集了热林中心的地形图和 3 个不同时期(1998 年、2004 年和 2009 年)的林相图,以及 3 个时期对应的森林资源二类调查数据。同时收集了热林中心近年来社会、经济发展等相关资料。针对收集到的数据,在 GIS 软件 ArcGIS 的支持下,通过对热林中心 3 个时期小班调查数据进行分析,得到热林中心近 10 a 来景观格局变化情况。

2 方法

2.1 景观类型分类

根据《广西森林资源规划设计调查技术方法》并结合景观的尺度、景观嵌块体的特征、基质的形状、基质的大小和色调等景观外在特征为分类依据,把热林中心的斑块分为有林地、疏林地、灌木林地、未成林造林地、无立木林地、苗圃、宜林地、辅助生产和非林地。

2.2 景观格局分析方法

景观指数分析法是从景观分析的角度,借用景观生态学中的各种空间格局分析方法来分析和认识土地利用/覆被变化的基本格局特征和演变规律。景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标。常用的景观指数有斑块面积、斑块周长、斑块形状指数、斑块分形分维数、斑块平均面积、斑块面积标准差、破碎度指数、多样性指数、均匀度指数、优势度指

数、聚集度指数等。这些指数可以从斑块尺度和景观尺度的层次来反映土地利用/覆被变化的格局特征^[5]。根据热林中心人工林受人为干扰较大的特点,以及为了能反映其经营特征和方向,本研究主要从斑块尺度和景观尺度运用下列景观特征指数来分析其景观结构特征及其变化^[6-26]。

2.2.1 斑块层次 ①斑块面积(A)和斑块周长(L)。斑块面积和斑块周长是进行景观格局计算的基础,可直接利用 ArcGIS 的统计查询功能获得。②斑块形状指数(G)。 $G=L/2\sqrt{\pi A}$,用来计算斑块形状复杂程度, A 为斑块面积, L 为斑块周长。 G 值越大,斑块形状越复杂。③斑块比例与斑块优势度(D_0)。反映斑块在景观中的地位,优势度值越大,说明该类斑块在景观中的地位越重要,对景观的支配作用越大。计算公式如下: $D_0=(M+R)/2\times 100\%$,其中 M 为斑块比例(某类斑块类型的总斑块数目与景观要素类型总斑块数目的比值); R 为面积比例(某类斑块类型的总面积与景观要素类型总面积的比值)。

2.2.2 景观层次 ①景观多样性指数(H): $H=-\sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i$,表示景观中各类嵌块体的复杂性和变异性的指标。 P_i 表示 i 类景观类型的景观比例, m 为景观类型的数目。 H 值越大,表示景观多样性程度越高。

②景观优势度(L_0): $L_0=H_{\max}-H=H_{\max}+\sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i$, H_{\max} 表示最大均匀性条件下的多样性指数,一个景观中有 m 种嵌块体类型,那么在最大均匀性条件下的多样性指数: $H_{\max}=\log_2 m$ 。③景观均匀性(E):景观多样性指数与最大多样性指数之比值,即: $E=H/H_{\max}$ 。④景观破碎度(C): $C=\sum N_i / \sum A_i$, $\sum N_i$ 表示斑块总个数; $\sum A_i$ 表示景观总面积。 C 值越大,景观破碎程度越大。

3 结果与分析

3.1 不同时期景观格局基本特征

不同时期景观斑块基本指标统计如表1。3期调查数据显示:在各景观要素中有林地占据了景观总面积的50%左右,并且各时期依次呈明显增加趋势。除了1998年,在2004年和2009年疏林地都已经改造完毕。同时,无立木林地和非林地的面积从1998年到2009年一直在减少。这说明热林中心在营林造林上做了大量工作,取得了一定的成绩。从景观的平均斑块面积来看,总体上是面积越来越小,这说

表1 景观斑块基本指标

Table 1 Basic indicators of landscape patch

景观要素	年份	斑块数/块	总面积/hm ²	面积比例/%	平均斑块面积/ hm ²	斑块平均周长/ km
有林地	1998	3 269	11 363.29	49.12	3.48	0.99
	2004	3 760	12 734.29	55.03	3.39	0.97
	2009	4 359	13 443.23	58.65	3.08	0.97
疏林地	1998	6	13.99	0.06	2.33	0.73
	2004	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0
灌木林地	1998	1 410	2 913.99	12.60	2.07	1.09
	2004	1 584	3 472.03	15.00	2.19	1.10
	2009	1 242	2 394.97	10.45	1.93	1.07
未成林造林地	1998	302	1 227.01	5.30	4.06	1.06
	2004	246	920.60	3.98	3.74	1.04
	2009	472	943.18	4.11	2.00	0.76

表 1(续)

景观要素	年份	斑块数/块	总面积/hm ²	面积比例/%	平均斑块面积/ hm ²	斑块平均周长/ km
苗圃	1998	23	39.15	0.17	1.70	0.55
	2004	21	35.13	0.15	1.67	0.55
	2009	20	24.92	0.11	1.25	0.48
无立木林地	1998	401	1 786.42	7.72	4.45	1.05
	2004	83	339.55	1.47	4.09	1.01
	2009	78	279.31	1.22	3.58	1.04
宜林地	1998	2	8.78	0.04	4.39	2.41
	2004	42	170.84	0.74	4.07	0.87
	2009	34	197.10	0.86	5.80	1.22
辅助生产	1998	474	1 423.05	6.15	3.00	0.92
	2004	688	1 203.12	5.20	1.75	0.77
	2009	929	1 818.66	7.93	1.96	0.73
非林地	1998	990	4 359.24	18.84	4.40	1.12
	2004	856	4 264.75	18.43	4.98	1.14
	2009	714	3 820.40	16.67	5.35	1.16

明景观破碎化程度加剧，人类对景观的干扰越来越大，也说明热林中心对实验区经营越来越细致。

3.2 景观格局变化分析

3.2.1 斑块特征变化 ①形状指数。形状指数对斑块周长敏感，反映斑块边界的复杂程度。如表 2 所示：宜林地和非林地的形状指数较大，这主要是因为这些地方都是相对比较难利用的土地(主要是宜林的石漠化土地和荒地)，人为干预较少，自然地貌复杂。其次，有林地、灌木林地、未成林造林地以及无立木林地的形状指数也较大。造成此结果的原因是热林中心地形地貌复杂，一般山体坡度较大，所以，这些景观的边缘亦较复杂。苗圃地和辅助生产地的形状指数相比而言较小，因为此类斑块大多是人为景观，形状相对较为规则。从 1998 年到 2009 年，有林地、灌木林地、苗圃和无立木林地的形状指数变动较小，这主要是人工干预的方式没有太大变化。由于人为的对宜林地、非林地的改造和开垦，使这些斑块有了明显变化，引起了形状指数的大幅度变动。②斑块优势度。由表 2 可见：3 期调查数据一致表明，在斑块类型之间存在着明显的优势度差异。有林地的密度占有绝对优势，3 期数据显示都在 50% 左右浮动，而且随着时间的推移，有林地的斑块优势度还在不断增长。其次是灌木林地和非林地的斑块优势度相对较高，都超过了 10%。无立木林地的优势度有大幅度下降，从 1998 年的 6.78% 降到 2004 年的 1.31% 和 2009 年的 1.11%。而其余景观类型则变化较小。这主要是热林中心良种壮苗技术得到进一步完善，造林整地采用了挖大坑、施基肥等营林措施，造林成活率显著提高。从这些数据可看出，近年来，热林中心在植树造林、荒山绿化方面做了大量工作。热林中心已经完成一定面积的植树造林。

3.2.2 景观特征变化 ①破碎化。景观的破碎化是指由于自然和人为因素的干扰，导致景观由简单趋向复杂的过程。所研究的区域受人为因素的干扰较大。从表 3 可以看到：1998 年斑块面积大、数量少，斑块密度小，破碎化指数仅为 0.297。由于人工干预，到 2004 年斑块数有了较大的增加，斑块密度增加，破碎化指数也增加到了 0.315。2009 年，斑块数有更进一步的增加，破碎化指数有显著上升，达到了 0.342。产生的这些变化与热林中心近些年来经营理念的转变，逐步实现由传统生产经营型管理向现代科研型管理的转变，有针对性的制定经营方案，加快林种树种结构的调整，近年来加大了精细化经营的力度是息息相关的。在该研究时段内，热林中心大力营造降香黄檀 *Dalbergia odorifera*，柚木 *Tectona*

grandis, 格木 *Erythrophleum fordii*, 铁力木 *Mesua ferrea* 等珍贵树种。我们看到, 在人为因素的干扰下, 景观越来越复杂, 越来越破碎。破碎化指数的变化反映出热林中心正朝着精细化经营珍优树种的目标发展, 说明现阶段热林中心的经营方向符合整体经营方案的要求。②多样性和优势度。景观的多样性取决于斑块类型数量以及各斑块类型所占比例的均衡性。多样性的大小影响着系统的物种多样性和遗传多样性, 影响着系统的生产力和系统的稳定性, 在景观的规划利用上应特别加以重视。表 3 反映的 1998 年的景观多样性指数最高, 在研究时段内有所下降, 但并不是很显著。这是因为人为因素减少了疏林地这种森林景观, 以及各景观类型的比例也在发生着变化。但是优势度在 2009 年却有大幅度增长, 这说明景观的多样性偏离程度在增加。结合表 1, 我们可以看到这是因为从 1998 年到 2009 年热林中心的有林地有大面积增多。再从景观均匀性来看, 由于景观类型数目和多样性指数在研究期间有所下降, 均匀性指数有小幅降低, 但是 2004 年和 2009 年由于景观类型数目一样, 指数基本持平。

4 结论

1998 - 2009 年, 热林中心有林地在景观总面积中的比例一直接近 50%, 而且呈现逐年增加的趋势; 疏林地到 2004 年调查时就已经全部转化成其他类型的景观; 无立木林地和非林地面积一直处于减少状态。说明这些年热林中心在营林造林上取得了一定的成绩, 进一步提高了森林的覆盖面积和蓄积量。

就斑块层次来看, 由于热林中心地形地貌复杂, 除了苗圃、辅助生产等人造景观的形状指数较小, 其他的均较大。在斑块优势度方面, 有林地一直保有绝对优势, 而这种优势还在不断增长, 这是因为非林地、无立木林地以及灌木林地不断向有林地转化。从宜林地的变化趋势来看, 今后有林地的面积还会进一步增长。从景观层次看, 景观的多样性指数在降低, 均匀性变动不大, 平均斑块规模普遍有下降趋势, 因此, 景观的破碎化指数在不断上升。这些变化与热林中心近年来采取的精细化经营作业方案密切相关, 并在人为因素的干扰下逐步实现。

表 2 不同时期斑块特征

Table 2 Patch characteristics in different periods

斑块类型	年份	形状指数	斑块比例 /%	斑块优势 度/%
有林地	1998	1.64	47.54	48.33
	2004	1.58	51.65	53.34
	2009	1.51	55.54	57.10
疏林地	1998	0.99	0.09	0.08
	2004	0	0	0
	2009	0	0	0
灌木林地	1998	1.39	20.50	16.55
	2004	1.44	21.76	18.38
	2009	1.32	15.83	13.14
未成林造林地	1998	1.89	4.39	4.85
	2004	1.78	3.38	3.68
	2009	0.95	6.01	5.06
苗圃	1998	0.64	0.33	0.25
	2004	0.63	0.29	0.22
	2009	0.48	0.25	0.18
无立木林地	1998	1.96	5.83	6.78
	2004	1.81	1.14	1.31
	2009	1.74	0.99	1.11
宜林地	1998	4.48	0.03	0.04
	2004	1.56	0.58	0.66
	2009	2.60	0.43	0.65
辅助生产	1998	1.41	6.89	6.52
	2004	0.90	9.45	7.33
	2009	0.91	11.84	9.89
非林地	1998	2.08	14.40	16.62
	2004	2.25	11.76	15.10
	2009	2.38	9.10	12.89

表 3 各时期景观评价指标

Table 3 Landscape evaluation indexes in different periods

年份	优势度	多样性指数	均匀性指数	破碎化指数
1998	1.046	2.124	0.670	0.297
2004	1.038	1.962	0.654	0.315
2009	1.064	1.936	0.654	0.342

参考文献:

- [1] 姜艳, 尹光天, 孙冰, 等. 我国森林景观生态研究进展[J]. 生态科学, 2008, **27** (4): 283 - 288.
JIANG Yan, YIN Guangtian, SUN Bing, *et al.* On research progress of forest landscape ecology [J]. *Ecol Sci*, 2008, **27** (4): 283 - 288.
- [2] 张蕾, 李凤日, 王志波. 凉水自然保护区森林景观结构动态[J]. 东北林业大学学报, 2007, **35** (5): 74 - 76.
ZHANG Lei, LI Fengri, WANG Zhibo. Dynamic analysis of landscape structure of Liangshui Nature Reserve[J]. *J North-east For Univ*, 2007, **35** (5): 74 - 76.
- [3] 王磊, 贾炜玮, 李凤日. 孟家岗林场森林景观结构动态分析[J]. 植物研究, 2008, **28** (4): 497 - 502.
WANG Lei, JIA Weiwei, LI Fengri. The analysis of the dynamics of the landscape structure of Mengjiagang Forest Farm [J]. *Bul Bot Res*, 2008, **28** (4): 497 - 502.
- [4] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [5] 方晰, 唐代生, 杨乐, 等. 湖南省林科院试验林场森林植被景观格局及破碎化分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, **28** (4): 107 - 112.
FANG Xi, TANG Daisheng, YANG Le, *et al.* Landscape pattern of the experimental forest farm run by Hunan forestry academy and its fragmentation analysis [J]. *J Cent South Univ For & Technol*, 2008, **28** (4): 107 - 112.
- [6] 葛方龙, 李伟峰, 陈求稳. 景观格局演变及其生态效应研究进展[J]. 生态环境, 2008, **17** (6): 2511 - 2519.
GE Fanglong, LI Weifeng, CHEN Qiuwen. Review of landscape change and its ecological impacts [J]. *Ecol Environ*, 2008, **17** (6): 2511 - 2519.
- [7] 刘常富, 李京泽, 李小马, 等. 基于模拟景观的城市森林景观格局指数选取[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (5): 1125 - 1131.
LIU Changfu, LI Jingze, LI Xiaoma, *et al.* Selection of landscape metrics for urban forest based on simulated landscape [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (5): 1125 - 1131.
- [8] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报, 2001, **21** (1): 20 - 27.
XIAO Han, OUYANG Zhiyuan, ZHAO Jingzhu, *et al.* Analysis of landscape spatial structure in Hainan Island [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, **21** (1): 20 - 27.
- [9] 冯益明, 吴波, 卢琦, 等. 青藏高原高寒沙区景观格局变化分析——以青海贵南县为例[J]. 林业科学研究, 2008, **21** (2): 182 - 187.
FENG Yiming, WU Bo, LU Qi, *et al.* Dynamics analysis on landscape pattern of alpine-cold desertified area in the Qinhai-Tibetan Plateau: a case study in Guinan County, Qinghai Province [J]. *For Res*, 2008, **21** (2): 182 - 187
- [10] 于德永, 郝占庆, 姜萍, 等. 长白山典型林区森林资源景观格局变化分析[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (10): 1809 - 1814.
YU Deyong, HAO Zhanqing, JIANG Ping, *et al.* Landscape pattern variation of forest resources in typical forest zone of Changbai Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (10): 1809 - 1814.
- [11] 郭晋平, 阳含熙, 张芸香, 等. 关帝山林区景观要素空间分布及其动态研究[J]. 生态学报, 1999, **19**(4): 468 - 473.
GUO Jinping, YANG Hanxi, ZHANG Yunxiang, *et al.* Studies on spatial pattern and dynamics for landscape elements in Guandishan forest region, Shaanxi, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, **19** (4): 468 - 473.
- [12] 夏伟伟, 韩海荣, 伊力塔, 等. 庞泉沟国家级自然保护区森林景观格局动态[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (6): 723 - 727.
XIA Weiwei, HAN Hairong, YI Lita, *et al.* Dynamics of forest landscape pattern in Pangquangou National Nature Reserve [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (6): 723 - 727.
- [13] 蒋文伟, 姜志林, 刘安兴, 等. 浙江安吉山区森林景观空间格局动态分析[J]. 福建林学院学报, 2002, **22** (2): 150 - 153.
JIANG Wenwei, JIANG Zhilin, LIU Anxing, *et al.* Analysis on the spatial pattern dynamic of forest landscape in Anji Mountainous District, Zhejiang Province [J]. *J Fujian Coll For*, 2002, **22** (2): 150 - 153.
- [14] 张笑楠, 王克林, 陈洪松, 等. 桂西北喀斯特区域景观结构特征与石漠化的关系[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (11): 2467 - 2472.
ZHANG Xiaonan, WANG Kelin, CHEN Hongsong, *et al.* Relationships between landscape structure and rocky de-

- sertification in karst region of northwestern Guangxi [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (11): 2467 – 2472.
- [15] ERIC J G, GEORGE R P. Relationship between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern [J]. *Landscape Ecol*, 1992, **2**: 101 – 110.
- [16] ÖHMAN K, LÄMAS T. Reducing forest fragmentation in long-term forest planning by using the shape index [J]. *Ecol Manage*, 2005, **212**: 346 – 357.
- [17] JOCHEN J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation [J]. *Landscape Ecol*, 2000, **2**: 115 – 130.
- [18] DAVID J B B, KEVIN W, FRANK S, *et al.* Sensitivity of landscape pattern indices to input data characteristics on real landscapes: implications for their use in natural disturbance emulation [J]. *Landscape Ecol*, 2004, **3**: 255 – 271.
- [19] 刘军会, 高吉喜. 北方农牧交错带界线变迁区的土地利用与景观格局变化[J]. 农业工程学报, 2008, **24** (11): 76 – 81.
- LIU Junhui, GAO Jixi. Changes of land use and landscape pattern in the boundary change areas in farming-pastoral ecotone of Northern China [J]. *Trans CSAE*, 2008, **24** (11): 76 – 82.
- [20] 邱荣祖, 胡喜生, 朱世勇, 等. 天宝岩自然保护区森林景观格局演变[J]. 福建林学院学报, 2009, **29**(3): 193 – 198.
- QIU Rongzu, HU Xisheng, ZHU Shiyong, *et al.* Analysis of changes of forest landscape pattern in Tianbaoyan National Nature Reserve [J]. *J Fujian Coll For*, 2009, **29** (3): 193 – 198.
- [21] 盖新敏, 彭彪, 陈东立, 等. 福建省古田翠屏湖森林景观格局研究[J]. 福建林学院学报, 2008, **28** (2): 140 – 145.
- GAI Xinmin, PENG Biao, CHEN Dongli, *et al.* Study on forest landscape pattern around Cuiping Lake of Gutian in Fujian Province [J]. *J Fujian Coll For*, 2008, **28** (2): 140 – 145.
- [22] 郭微, 江洪, 陈健, 等. 基于遥感的杭州余杭森林景观格局变化[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (1): 36 – 43.
- GUO Zheng, JIANG Hong, CHEN Jian, *et al.* Forest landscape analysis with remote sensing data for Yuhang, Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (2): 36 – 43.
- [23] 王斌, 刘华, 张硕新, 等. 秦岭火地塘林区景观格局破碎度分析[J]. 中国农学通报, 2005, **21** (10): 111 – 113.
- WANG Bin, LIU Hua, ZHANG Shuoxin, *et al.* Study on landscape fragmentation of Qinlinghuoditang forest region [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2005, **21** (10): 111 – 113.
- [24] 杨国靖, 肖笃宁. 中祁连山浅山区山地森林景观空间格局分析[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (2): 269 – 272.
- YANG Guojing, XIAO Duning. Spatial pattern analysis of forest landscape in low cotean of Middle Qilian Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (2): 269 – 272.
- [25] 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[J]. 生态学报, 2004, **24** (1): 123 – 134.
- LI Xiuzhen, BU Rencang, CHANG Yu, *et al.* The response of landscape metrics against pattern scenarios [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (1): 123 – 134.
- [26] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J]. 植物生态学报, 2000, **24** (3): 320 – 326.
- MA Keming, FU Bojie. Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan Mountain region [J]. *Acta Phytocol Sin*, 2000, **24** (3): 320 – 326.