中国东部地区常绿阔叶林景观破碎化*

陈方敏[1] 徐明策[1] 李俊祥[1,2,3]**

([1]华东师范大学环境科学系, 上海 200062; [2]浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江宁波 315114; [3]上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

摘 要 常绿阔叶林是中国东部地区的地带性植被,常绿阔叶林景观破碎化的监测与评价是对其进行生态恢复、保护和经营管理的基础。本文应用 NOAA-AVHRR 计算出时间序列的 NDVI 合成影像所得的植被遥感分类数据,结合景观格局指数,对中国东部地区常绿阔叶林景观破碎化进行研究。结果表明:中国东部地区常绿阔叶林残存面积仅为 35427 km^2,占全区面积的 5.9%,平均斑块面积为 8.55 km^2,斑块密度为 0.69 个·100 km^{-2},≤5 km^2 的斑块数量占全部常绿阔叶林斑块数量的 61.2%,但面积比例则仅为 5.75%,而≥25 km^2 的斑块数量比例仅为 10%,面积比例却达 58%;对各省的常绿阔叶林破碎化状况分析表明,常绿阔叶林斑块总面积、斑块密度、斑块平均面积、边界密度、景观形状指数、最大斑块指数以及平均分维数均呈福建>浙江>江西>安徽,而斑块之间的隔离距离则正好相反。所有这些均表明,中国东部地区的常绿阔叶林已经处于严重的破碎化状态。加强常绿阔叶林的保护、生态恢复及管理成为一项迫切的任务。

关键词 常绿阔叶林; 景观破碎化; 景观格局指数

中图分类号 Q149 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)10-1919-06

Landscape fragmentation of evergreen broadleaved forest in East China. CHEN Fang-min[1], XU Ming-ce[1], LI Jun-xiang[1,2,3] ([1]*Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai* 200062, *China*; [2]*Tiantong National Forest Ecosystem Observation and Research Station, Ningbo* 315114, *Zhejiang, China*; [3]*Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, Shanghai* 200062, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(10):1919-1924.

Abstract: Evergreen broadleaved forest (EBLF) is the zonal vegetation in East China. To monitor and evaluate the landscape fragmentation of EBLF is essential for the conservation, ecological restoration, and ecological management of the vegetation. In this paper, the identified forest types from NOAA-AVHRR NDVI data, combined with several calculated landscape metrics, were used to analyze the EBLF landscape fragmentation in East China. The results showed that the area of remnant EBLF in East China was only 35427 km^2, accounting for 5.9% of the whole region, and the average patch area and patch density were 8.55 km^2 and 0.69 per 100 km^2, respectively. The number of the patches smaller than 5 km^2 accounted for 61.2%, but their total area only occupied 5.75%. The same indices for those patches larger than 25 km^2 were 10% and 58%, respectively. The comparison of the individual provinces having EBLF distribution demonstrated that the landscape metrics, including patch area, mean patch size, patch density, edge density, landscape shape index, largest landscape index, and mean fractal dimension, were ranked in the order of Fujian > Zhejiang > Jiangxi > Anhui, while the metric of mean Euclidian nearest neighbor distance was completely inversed. All these results indicated that the EBLF in East China was in serious landscape fragmentation, giving greater impacts on the regional biodiversity conservation and sustainable development. It would be urgent to perform the ecological restoration, conservation, and management of EBLF in East China.

Key words: evergreen broadleaved forest; landscape fragmentation; landscape metrics.

* 国家自然科学基金项目(30400050 和 30130060)和华东师范大学"211 工程"生态学重点学科资助项目。

** 通讯作者 E-mail: jxli@des.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2010-03-29 接受日期: 2010-07-12

生境片断化和生境丧失,对全球生物多样性具有重要影响(Fahrig,1998,2001,2003),并已成为生物多样性丧失的首要影响因子(Wilcove *et al.*,1998)。森林景观的破碎化也是评价林业可持续发展的重要指标(Riitters *et al.*,2004)。森林破碎化可能导致 CO_2 和其他温室气体的排放量要大于森林砍伐本身(Laurance *et al.*,1998)。因此,森林景观片断化的监测和评价,对森林的经营、可持续发展、生态功能的发挥以及生物多样性保护等具有重要意义。

中国是全球常绿阔叶林分布的主体,而且基本分布于人口密集、经济发达的区域,由于长期和高强度的人为活动干扰,原生的常绿阔叶林所剩无几,大部分被人工林和次生灌丛所替代。随着人们生态环境意识日益增强,常绿阔叶林的生态恢复工作开始得到重视(宋永昌等,2005)。宋永昌等(2005)在回顾中国常绿阔叶林近80年的研究后,提出常绿阔叶林7个需要开展的研究内容。有关常绿阔叶林重要物种的种群生物学、常绿阔叶林的演替机制与生态恢复、常绿阔叶林的生态服务功能和区域可持续发展模式、常绿阔叶林对全球变化的作用与响应以及建立常绿阔叶林信息系统等内容,均涉及到常绿阔叶林的破碎化状况。但有关区域水平常绿阔叶林的破碎化状况及其评价,却很难有资料可寻。常绿阔叶林作为中国东部地区(华东5省1市)的地带性植被类型,由于人类活动的长期干扰,森林面积在逐步减少,有些地区可能因长期持续的干扰而处于不同的退化阶段。保持该地区常绿阔叶林的相对完整性,在维持华东地区景观结构和功能的稳定性、保护中国东部地区的生物多样性以及稳定生态系统功能的健康发挥等方面均有着重要意义。该地区的常绿阔叶林的现状如何?在景观水平上的片断化程度如何?片断化的状况对植被的恢复及其生态功能的发挥有多大的影响?是常绿阔叶林退化生态系统研究中非常引人关注的问题。

本文利用 NOAA-AVHRR 数据,对中国东部亚热带常绿阔叶林破碎化状况进行区域尺度的监测和评价,以期为常绿阔叶林的生态恢复、保护和管理等相关研究提供依据。

1 数据来源及处理

1.1 数据来源

本文的研究范围为华东5省(安徽、江西、江苏、浙江和福建)1市(上海市)的广大地区(图1a),本区为亚热带季风气候区,地带性植被为常绿阔叶林和常绿阔叶落叶阔叶混交林。研究数据是 NOAA-AVHRR 的第1、2通道推导的时间序列的 NDVI 合成影像数据,影像的获取时间为1995年2—8月,合成影像的时间间隔为10 d,其中缺3月上旬和8月上旬合成影像资料,共计有19景最大值 NDVI 合成影像。数据来源是 USGS(U. S. Geological Survey)的 EDC(EROS Data Center, EROS-Earth Resource Observation System)。

1.2 数据处理

大尺度景观破碎化监测采用遥感数据的非监督分类方法(在 ER Mapper 7.1 中完成),对中国东部地区的植被进行分类,得到28种土地覆盖类型,除了2种类型为水体和城市或裸地外,其余26种类型均为植被类型,并依照《中国植被》的分类系统(吴征镒,1980)把26类可以归并为:常绿阔叶林、

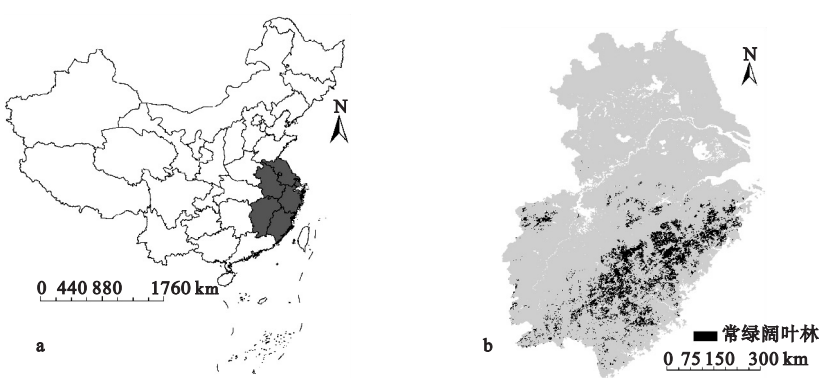


图1 研究区域位置(a)及常绿阔叶林分布示意图(b)

Fig. 1 Location of research area (a) and the distribution of evergreen broadleaved forest (b)

针叶林、竹林、灌草丛、水生植被和农业植被 6 大植被类型。针叶林、灌草丛、常绿阔叶林和农业植被的分类具有较高的位置精度和面积精度,位置精度分别为 79.2%、91.3%、68.2% 和 95.9%,面积精度分别达到 92.1%、95.9%、63.8% 和 90.5%(李俊祥等,2005)。本文对中国东部地区的常绿阔叶林景观破碎化分析即基于上述植被遥感分类数据。常绿阔叶林分布见图 1b。

为便于景观破碎化分析,用分省边界切割分类图,把图像转换成 Geotif 格式图,然后把分省和整个中国东部地区分类结果输出到地理信息系统软件(Arcgis 9.0),并转换成 ASC 码,用 Fragstasis 3.3 计算各景观格局指数。

1.3 景观破碎化评价指标

衡量和评价森林景观破碎化的指标有多种,因研究目的而异。例如,Armenteras 等(2003)采用斑块大小、斑块形状、斑块数量、平均最邻近距离和景观形状指数对哥伦比亚安第斯山脉东部的森林破碎化及自然保护区的代表性进行评价;而 Riitter 等(2004)则采用斑块大小、边界数量、斑块间距离和斑块对比度作为美国本土的森林破碎化进行评价的指标。本研究主要是从面积、形状、隔离、破碎化等方面,选择斑块总面积(total area, TA)、斑块数量(number of patch, NP)、斑块密度(patch density, PD)、平均斑块大小(mean patch size, MPS)、最大斑块指数(largest patch index, LPI)、边界密度(edge density, ED)、斑块形状指数(landscape shape index, LSI)、斑块分维数(fractal dimension, FD)、以及平均最邻近距离(mean Euclidian nearest neighbor distance, MENND)等指数作为衡量森林景观破碎化的指标,格局指数的计算采用 Fragstats (Raster version 3.3),各指标的计算公式详见 Fragstats 手册(McGarigal *et al.*, 2002)。

2 结果与分析

2.1 中国东部地区常绿阔叶林整体分布状况

把中国东部地区植被遥感分类的 28 类景观归并为 8 大景观类型后,对其斑块面积、数量、斑块密度等指标进行统计,结果见表 1 和表 2。从表 1 可知,中国东部地区常绿阔叶林的面积仅占全区总面积的 5.90%,远远小于该地区的农业景观类型(47.67%),还不到针叶林景观类型所占面积比率的 1/4;其斑块数量占全区 7.24%,也远小于农业植被和针叶林所占的 26.24% 和 36.83%;同时平均斑块面积仅 8.55 km^2,也小于中国东部地区景观的平均斑块面积 10.65 km^2。

对常绿阔叶林斑块按照面积等级进行划分和数量统计表明,残存的常绿阔叶林斑块数量和比例存在两极分化,面积≤5 km^2 的斑块数量占据多数,比例为 61.2%,但面积比例很小,仅为 5.75%;面积≥25 km^2 的斑块在数量仅占 10%,但面积比例却达到 58% 以上,占据绝对优势(表 2)。分析遥感分类结果的空间位置发现,常绿阔叶林大斑块主要分布在浙江省西南部山区和福建北部武夷山区等人类活动干扰相对少的地区,2 省的其他地区以及安徽、江西 2 省的低山丘陵区,常绿阔叶林的分布则呈明显的破碎化状况。

总体而言,目前常绿阔叶林在中国东部地区分布面积很少,仅在安徽、福建、江西、浙江四省有所分布,且集中于浙江、福建 2 省。而江苏、上海可能因为遥感影像分辨率较粗,而无法检测到常绿阔叶林的分布。

2.2 常绿阔叶林破碎化状况的分省特征

中国东部常绿阔叶林遥感分类的结果中有两类:一类是混生有落叶成分的次生的常绿阔叶林;另一类是常绿阔叶林(李俊祥等,2005)。从表 3 可见,在有常绿阔叶林分布的 4 个省份中,常绿阔叶林面积分布和面积比例是福建>浙江>江西>安徽,其中浙江、福建 2 省常绿阔叶林面积为 12797 和 17871 km^2,分别占全省总面积的 13.58% 和 15.91%,江西省常绿阔叶林面积 4535 km^2,占全省总面积的 2.94%,而安徽省的常绿阔叶林面积为 224 km^2,仅占全省总面积的 0.17%,各省常绿阔叶林的分布极不均匀(表 1)。各省常绿阔叶林斑块密度:福建>浙江>江西>安徽,安徽省常绿阔叶林斑块密度最低,平均每 10^4 km^2 约 6 个常绿阔叶林斑块,而江西、浙江和福建则分别达 59、118 和 181 个常绿阔叶林斑块。总体而言,斑块的平均分维数反映景观斑块的形状复杂程度,景观形状指数反映类型水平的斑块积聚程度,最大景观斑块指数反映了斑块的优势度,而边界密度则反映单位面积上斑块的边界总长度(McGarigal *et al.*, 2002),在 4 个省份中,斑块的平均分维数、景观形状指数、最大景观斑块指数、边界密度等景观指数均呈现出福建>浙江>江西>安徽的情况,常绿阔叶林斑块之间的隔离距离情况也是呈

表1 中国东部地区景观类型的数量特征

Tab. 1 Area distribution and the number of patch for landscape types in East China

省份	项目	常绿阔叶林	农业植被	针叶林	水生植被	竹林	灌草丛	水体	城区	合计
安徽	斑块总面积(km^2)	224	86810	8700	1448	2986	4412	557	29767	134904
	平均斑块面积(km^2)	2.91	24.02	5.85	1.77	5.78	13.21	3.69	16.78	
	斑块面积百分比(%)	0.17	64.35	6.45	1.07	2.21	3.27	0.41	22.07	100
	斑块个数(个)	77	3614	1486	818	517	334	151	1774	8771
	斑块数量比例(%)	0.88	41.20	16.94	9.33	5.89	3.81	1.72	20.23	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	0.0571	2.6789	1.1015	0.6064	0.3832	0.2476	0.1119	1.3150	
福建	斑块总面积(km^2)	17871	9720	57138	1111	6402	620	485	18970	112317
	平均斑块面积(km^2)	8.77	5.93	6.84	1.75	7.46	5.69	3.62	5.41	
	斑块面积百分比(%)	15.91	8.65	50.87	0.99	5.70	0.55	0.43	16.89	100
	斑块个数(个)	2037	1639	8353	636	858	109	134	3505	17271
	斑块数量比例(%)	11.79	9.49	48.36	3.68	4.97	0.63	0.78	20.29	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	1.8136	1.4593	7.4370	0.5663	0.7639	0.0970	0.1193	3.1206	
江苏	斑块总面积(km^2)	0	86523	34	1239	955	7453	1609	845	98658
	平均斑块面积(km^2)	0	29.77	3.09	1.89	4.24	31.85	9.87	4.06	
	斑块面积百分比(%)	0	87.70	0.03	1.26	0.97	7.55	1.63	0.86	100
	斑块个数(个)	0	2906	11	655	225	234	163	208	4402
	斑块数量比例(%)	0	66.02	0.25	14.88	5.11	5.32	3.70	4.73	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	0	2.9455	0.0111	0.6639	0.2281	0.2372	0.1652	0.2108	
江西	斑块总面积(km^2)	4535	80701	39482	974	704	3343	1044	23695	154478
	平均斑块面积(km^2)	4.95	14.49	5.53	1.74	2.96	14.41	4.14	8.15	
	斑块面积百分比(%)	2.94	52.24	25.56	0.63	0.46	2.16	0.68	15.34	100
	斑块个数(个)	917	5571	7139	561	238	232	252	2907	17817
	斑块数量比例(%)	5.15	31.27	40.07	3.15	1.34	1.30	1.41	16.32	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	0.5936	3.6063	4.6214	0.3632	0.1541	0.1502	0.1631	1.8818	
上海	斑块总面积(km^2)	0	5281	1	89	3	161	410	14	5959
	平均斑块面积(km^2)	0	29.18	1.00	1.51	1.50	5.55	37.27	2.80	
	斑块面积百分比(%)	0	88.62	0.02	1.49	0.05	2.70	6.88	0.23	100
	斑块个数(个)	0	181	1	59	2	29	11	5	288
	斑块数量比例(%)	0	62.85	0.35	20.49	0.69	10.07	3.82	1.74	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	0	3.0374	0.0168	0.9901	0.0336	0.4867	0.1846	0.0839	
浙江	斑块总面积(km^2)	12797	17292	44936	695	5193	1000	183	12170	94266
	平均斑块面积(km^2)	11.50	15.63	11.00	1.61	14.63	6.67	2.29	9.01	
	斑块面积百分比(%)	13.58	18.34	47.67	0.74	5.51	1.06	0.19	12.91	100
	斑块个数(个)	1113	1106	4085	431	355	150	80	1350	8670
	斑块数量比例(%)	12.84	12.76	47.12	4.97	4.09	1.73	0.92	15.57	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	1.1807	1.1733	4.3335	0.4572	0.3766	0.1591	0.0849	1.4321	
全区	斑块总面积(km^2)	35427	286327	150291	5556	16243	16989	4288	85461	600582
	平均斑块面积(km^2)	8.55	19.07	7.13	1.76	7.40	15.61	5.42	8.77	
	斑块面积百分比(%)	5.90	47.67	25.02	0.93	2.70	2.83	0.71	14.23	100
	斑块个数(个)	4144	15017	21075	3160	2195	1088	791	9749	57219
	斑块数量比例(%)	7.24	26.24	36.83	5.52	3.84	1.90	1.38	17.04	100
	斑块密度(个·100 km^{-2})	0.6900	2.5004	3.5091	0.5262	0.3655	0.1812	0.1317	1.6233	

现:福建>浙江>江西>安徽。这表明福建省的常绿阔叶林斑块的边界形状复杂,聚集度较高,优势度高,斑块之间的隔离距离相对较小,斑块密度高,斑块平均面积较大,而浙江、江西和安徽的常绿阔叶林则依次递减,最差的是安徽省。总体上,各省的常绿阔叶林均处于严重的破碎化状态,表现为斑块密度低、面积比例小、平均斑块面积小,斑块隔离程度高的特征。

表2 中国东部常绿阔叶林斑块数量及面积统计

Tab. 2 Patch numbers and areas of evergreen broadleaf forest fragments in East China

斑块大小等级(km^2)	斑块数量(个)	斑块数量比例(%)	斑块面积(km^2)	斑块面积比例(%)
≤5	1254	61.2	2037.97	5.75
5~10	311	15.2	2077.99	5.87
10~15	148	7.2	1740.83	4.91
15~25	130	6.3	2479.18	7.00
25~50	97	4.7	3364.60	9.50
≥50	108	5.3	17319.24	48.89

表 3 中国东部常绿阔叶林斑块水平的景观特征

Tab. 3 Landscape characteristics of evergreen broadleaved forest in patch level for East China

省份	类型	总面积(km^2)	面积比例(%)	斑块数量	斑块密度(个·100 km^{-2})	最大斑块指数	边界密度	景观形状指数	平均斑块面积(km^2)	平均分维数	平均隔离距离(km)
安徽	常绿阔叶林	48	0.04	22	0.016	0.0005	0.0015	5.8571	2.18	1.0241	7.099
	次生常绿阔叶林	176	0.13	55	0.041	0.0017	0.0046	9.4074	3.20	1.0265	4.275
福建	常绿阔叶林	8520	7.59	692	0.616	0.1922	0.1168	35.0757	12.31	1.0303	3.470
	次生常绿阔叶林	9351	8.33	1345	1.198	0.0193	0.1863	53.3557	6.95	1.0305	2.971
江西	常绿阔叶林	2665	1.73	428	0.277	0.0272	0.0468	25.0096	6.23	1.0238	4.127
	次生常绿阔叶林	1870	1.21	489	0.317	0.0083	0.0445	28.4138	3.82	1.0259	4.034
浙江	常绿阔叶林	6877	7.3	483	0.512	0.0982	0.0897	30.0361	14.24	1.0311	3.078
	次生常绿阔叶林	5920	6.28	630	0.668	0.0537	0.1023	36.9091	9.40	1.0316	2.967

3 讨 论

常绿阔叶林是中国东部地区的地带性植被类型。但由于长期的人类活动干扰,常绿阔叶林遭到严重破坏,原生的常绿阔叶林所剩无几,大部分为人工林或次生灌丛替代(宋永昌等,2005),或逐步退化为次生林或次生灌丛(王希华等,2005)。本研究表明,中国东部地区的常绿阔叶林,除浙江省西南部山区和福建武夷山区等个别地区外,已经处于严重的破碎化状态,而且斑块之间的隔离距离较远,常绿阔叶林的覆盖率很低,远小于该地区的针叶林等植被类型。因此,常绿阔叶林的生态恢复已经势在必行。中国东部地区的常绿阔叶林虽然破碎化严重,但是根据潜在植被理论和演替理论(王仁卿等,2002),以及林业封山育林的管理措施,在减少或没有人为干扰情况下,次生的常绿阔叶林,或退化的常绿阔叶林,无论从种群的恢复、群落结构的改变、生产力的提高等方面(包维楷等,2001),还是采用适当的人工措施(王希华和宋永昌,1999),对次生灌丛或次生林恢复到常绿阔叶林是可行的。

森林片断化和生境丧失对生物多样性保护具有重要影响(Fahrig,2003)。Andrén(1994)指出生境的比例低于10%~30%的临界区间时,鸟类和哺乳动物的丰富度就会显著下降,而且物种在残存生境中的存在格局也显著改变。同时,森林面积的减小、斑块的形状和隔离程度对森林生态系统本身也有较大的影响(Hill & Curran, 2003; Piessens *et al.*, 2005)。森林的面积、形状和隔离导致了加纳热带雨林树种多样性变化比率的急剧下降,以及物种组成的改变(Hill & Curran,2003)。Aguilar 等(2006)研究表明,生境破碎化对有花植物的传粉和有性繁殖具有巨大的负面影响。Piessens 等(2005)认为隔离是破碎化对比利时石楠物种生存最重要的影响因素。中国东部地区常绿阔叶林残存面积只有5.9%,斑块密度低,隔离距离较大。因此,常绿阔叶林面积的减少(即生境的丧失)及其景观的破碎化,势必给该地区的生物多样性保育产生严重影响,影响常绿阔叶林生态系统功能的发挥。

因受数据分辨率的影响,本文的研究结果反映的是区域尺度上常绿阔叶林的破碎化状况。更深入的研究,需要更高精度的遥感数据(如 Landsat-TM/ETM$^+$),在多个空间尺度上对常绿阔叶林的分布、破碎化程度等方面进行动态研究,并选择代表性地段进行长期定位研究,针对不同的干扰情况,开展常绿阔叶林的恢复生态学理论和实践研究。

4 结 论

综上所述,中国东部地区残存的常绿阔叶林面积仅占全区面积的5.9%,平均斑块面积小,斑块之间的隔离距离大,斑块密度低,平均每 10^4 km^2 范围内约有69个斑块,面积≤5 km^2 的斑块和≥25 km^2 的斑块在数量和面积比例上呈两极分化。各省份中,安徽的常绿阔叶林破碎化状况最严重,隔离程度最大,福建最好,隔离程度最小。总体上,中国东部地区的常绿阔叶林已经处于严重的破碎化状态,已经影响到区域的生物多样性保护和可持续发展。因此,开展中国东部地区常绿阔叶林的保护、生态恢复及管理将是未来很长一段时间内一项迫切而艰巨的任务。

参考文献

包维楷, 刘照光, 刘朝禄, 等. 2001. 亚热带次生常绿阔叶林主要乔木种群自然恢复 15 年来的变化. 林业科学, **37**(1): 7-14.

李俊祥, 达良俊, 王玉洁, 等. 2005. 基于NOAA-AVHRR数据的中国东部地区植被遥感分类研究. 植物生态学报, **29**(3): 436-443.

宋永昌, 陈小勇, 王希华. 2005. 中国常绿阔叶林研究的回顾与展望. 华东师范大学学报(自然科学版), (1): 1-8.

王仁卿, 藤原一绘, 尤海梅. 2002. 森林植被恢复的理论和实践:用乡土树种重建当地森林——宫胁森林重建法介绍. 植物生态学报, **26**(增刊): 133-139.

王希华, 宋永昌. 1999. 天童国家森林公园废弃采石场植被自然恢复早期阶段的种群动态及生物量的研究. 应用生态学报, **10**(5): 545-548.

王希华, 阎恩荣, 严 晓, 等. 2005. 中国东部常绿阔叶林退化群落分析及恢复重建研究的一些问题. 生态学报, **25**(7): 1796-1803.

吴征镒. 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社.

Aguilar R, Ashworth L, Galetto L, *et al*. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: Review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters*, **9**: 968-980.

Andrén H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos*, **71**: 355-366.

Armenteras D, Gast F, Villareal H. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, **113**: 245-256.

Fahrig L. 1998. When does fragmentation of breeding habitat affect population survival? *Ecological Modelling*, **105**: 273-92.

Fahrig L. 2001. How much habitat is enough? *Biological Conservation*, **100**: 65-74.

Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, **34**: 487-515.

Hill JL, Curran PJ. 2003. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: Effects on tree species diversity and implications for conservation. *Journal of Biogeography*, **30**: 1391-1403.

Laurance WF, Laurance SG, Delamonica P. 1998. Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions. *Forest Ecology and Management*, **110**: 173-180.

McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, *et al*. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst [EB/OL]. [2010-3-31]: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.

Piessens K, Honnay O, Hermy M. 2005. The role of fragment area and isolation in the conservation of heathland species. *Biological Conservation*, **122**: 61-69.

Riitters KH, Wickham JD, Coulston JW. 2004. A preliminary assessment of Montréal process indicators of forest fragmentation for the United States. *Environmental Monitoring and Assessment*, **91**: 257-276.

Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, *et al*. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *Bioscience*, **48**: 607-615.

作者简介 陈方敏,女,1986年生,硕士研究生。主要从事景观生态学研究。E-mail: cfmf134@hotmail.com

责任编辑 刘丽娟