

县域人类活动与景观格局分析

吕 一河, 陈利顶, 傅伯杰

(中国科学院生态环境研究中心 系统生态重点实验室, 北京 100085)

摘要: 人类活动的长期持续作用会导致区域景观格局及景观生态功能的变化, 反过来又会对人类的生存质量和可持续发展能力构成影响。因此人类活动与景观格局的关系及其调控一直是景观生态学研究的重要内容。以植被图、土地利用图和林相图为基础, 应用 GIS 技术和景观格局分析方法研究了岷江流域汶川县人类活动与景观格局特征及其相互关系。结果表明: 通过重要植被类型的分析, 可以明确不同类型在各乡镇单元的优势程度及其生态完整性; 基于不同主题图件的景观格局指数之间相关特征的相似性显著; 3 种图件在反映景观破碎化程度上具有相似的能力, 而在反映景观异质性方面存在显著差异; 景观的边界密度确实能够由景观中的人类活动要素(道路密度、居民点及工矿面积比例和农田面积比例)之间一定的组合关系进行较好的表达与解释。这也充分说明, 通过人类活动要素可以在一定精度范围内预测景观的变化趋势; 同时, 对人类活动的合理调控与管理有助于生态恢复和景观安全格局的维持。因此, 对县域土地利用、生物多样性保护和区域发展的规划和管理具有重要的参考价值。

关键词: 人类活动; 景观格局; 土地利用; 区域发展; 汶川县

The analysis of human activities and landscape patterns at the county level

LU Yi-He, CHEN Li-Ding, FU Bo-Jie (Key Lab. of Systems Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China) · *Acta Ecologica Sinica*. 2004, 24(9): 1833 ~ 1838

Abstract: Human activities can result in the changes of the spatial patterns and ecological functions of landscapes. Moreover, these changes impair the capacity of sustainable development and the quality of life in human communities. Therefore, the relationship between human activities and landscape patterns and its regulation are important research topics of landscape ecology. Based on vegetation, land use, and forest form maps, the characteristics and relationships of human activities and landscape patterns in Wenchuan County (located in the upper reaches of the Minjiang river basin, southwestern China, N 30° 45' 37" ~ 31° 43' 10", E 102° 51' 46" ~ 103° 44' 37") were studied using GIS technology and landscape metrics analysis.

During the analysis, the discretization of the three digital maps was accomplished in a GIS environment, and the corresponding maps of township areas in Wenchuan County were thus available. Several landscape metrics were calculated township by township. At the same time, 5 important vegetation types that most township areas had in common were identified. Correlation analysis, one-way ANOVA analysis and multivariate linear regression analysis were employed to characterize the relationships between the landscape metrics.

The results indicated that the status of important vegetation types could be used as indicators of landscape ecological integrity. Generally, the vegetation types with high area ratio and low perimeter density formed high quality habitats for flora and fauna. The correlations between landscape metrics (including perimeter density, Shannon-Weinner diversity index, mean patch area and perimeter, and mean shape index) derived from different theme maps showed high similarity. The three maps had similar capability in representing landscape fragmentation, while they differed significantly in reflecting landscape heterogeneity. Perimeter density could be expressed as the linear combination of the spatial elements of human activities (including road density, area ratio of human settlements and industrial land, area ratio of farmland), which implied that the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30300052, 40311101); 国家基础研究发展规划资助项目(G200046807)

收稿日期: 2004-03-27; 修订日期: 2004-06-15

作者简介: 吕一河(1974~), 男, 河北涞水县人, 博士, 主要从事景观生态和保护生态学研究。

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (No. 30300052 & 40311101) and the National Key Project for Basic Research in China (No. G200046807)

Received date: 2004-03-27; **Accepted date:** 2004-06-15

Biography: LU Yi-He, Ph.D., mainly engaged in landscape ecology and conservation ecology.

trend of landscape change could be pre-estimated using the change of spatial elements of human activities. Therefore, the regulation of the spatial elements of human activities could be favorable to biodiversity conservation, ecological rehabilitation and the maintenance of landscape security patterns in the process of regional development. Consequently, such regulation is important in the decision making on the planning and management of land use, biodiversity conservation and regional development at the county level.

Key words: human activities; landscape pattern; land use; regional development; Wenchuan County

文章编号: 1000-0933(2004)09-1833-06 中图分类号: Q149 文献标识码: A

人类活动和区域发展对生态系统和景观都会带来深刻影响^[1],主要包括食物网的简化、养分和能量的高输入、景观的同质化^[2]。所有这些都会直接或间接地导致生物多样性的退化和丧失,反过来也将危害人类的生存质量和可持续发展能力。景观破碎化以及景观整体质量的退化常常是干扰对景观要素及其空间配置持续作用的结果^[3],已经被认为是生物多样性丧失的基本诱因^[4]。人类活动对于景观的干预将会不断强化,有意无意地改变着景观格局和生态过程。理解景观水平格局与过程及其相互关系对于以生产力提高和生物多样性保育为基本目标的土地利用规划和管理来说至关重要^[5]。

人类活动在空间上有着多样化的表现形式,包括居民点、道路、工矿等,它们在一定区域和景观中的分布和配置具有规律性。这些景观要素在客观上构成了人类活动对生物多样性干扰的策源地^[6,7]。它们在空间上的布局 and 扩展受到区域自然资源和环境条件的制约。同时,一定区域的社会经济发展也会对其产生重要影响。本文将在县域空间水平上探讨人类活动与景观格局的相互关系及其对生物多样性保育的意义,从而为土地利用规划和管理、自然资源的保护与可持续利用提供必要的决策参考。

1 研究区域

汶川县位于四川盆地北部边缘(北纬 30°45'37"~31°43'10",东经 102°51'46"~103°44'37"),总面积约 4 085 km²(图 1)。地势由西北向东南倾斜,西部多分布海拔在 3 000 m 以上的高山。汶川县地处四川盆地向川西北高原的过渡区,景观的垂直带性显著。境内高山连绵,河谷深切,谷坡陡峻,相对高差平均在 1 500~2 000 m。地貌以中山峡谷为主,高山峡谷次之。有着复杂多样的生境类型和丰富的生物多样性资源。在县域的西南部,有著名的卧龙大熊猫自然保护区,约占整个县域面积的 50%。

汶川县下辖 14 个乡镇,其中卧龙镇和耿达乡隶属卧龙自然保护区范围,因此在研究中把二者作为一个单元与其它乡镇并列。2001 年全县总人口约 11.1 万人,其中农业人口约 7.2 万人。藏族、羌族人口占总人口的 45.2%。

2 研究方法

收集汶川县植被图、土地利用图和林相图并进行数字化,完成空间匹配。在 GIS 环境下进行离散化,获得不同乡镇的植被图、土地利用图和林相图。进行相关图件的空间查询、叠加等处理,获得不同乡镇不同主题图件图形单元的属性信息。按照乡镇提取土地利用图中关于人类活动的空间要素,包括道路、居民点、独立工矿和农田的属性信息。采用以上 3 种不同数据源(表 1)主要出于这些考虑:(1)扩充信息量,便于人类活动与景观格局的综合分析;(2)进行不同数据源之间的比较与对照,有助于辨识它们在景观格局表达中的特点。

在空间分析的基础上,对生态系统类型或土地覆被类型进行统计分析。分析中考虑了生态系统类型或景观的斑块数、斑块的平均面积和周长、边界密度、形状指数、相似性指数以及 Shannon 多样性指数^[8]。

人类活动对景观格局会产生重要而深刻的影响。作为人类活动空间表现形式的景观要素与整个景观格局的特征就应该具有某些相关性。在分别依据植被、土地利用和林相对各乡镇单元完成景观格局分析和人类活动的空间要素分析后,进一步对人类活动要素和景观格局特征进行单因素方差分析和多元回归分析,探讨它们的相关性。

把景观格局指数包括边界密度、多样性指数、平均斑块面积、平均斑块周长和平均形状指数分别作为因变量,把道路密度、

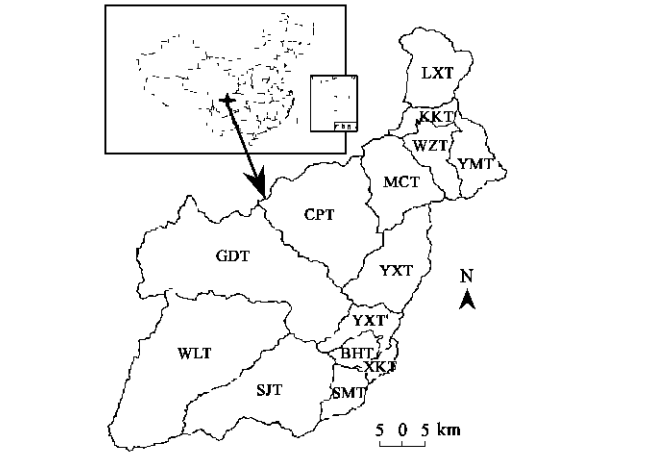


图 1 汶川县的位置与乡镇分布

Fig. 1 The location and township areas of Wenchuan County
WZT 威州镇 Wei-Zhou Township; XKT 漩口镇 Xuan-Kou Township; MCT 绵池镇 Mian-Chi Township; LXT 龙溪乡 Long-Xi Township; KKT 克枯乡 Ke-Ku Township; YMT 雁门乡 Yan-Men Township; YXT 银杏乡 Yin-Xing Township; YXT' 映秀镇 Ying-Xiu Township; SMT 水磨镇 Shui-Mo Township; BHT 白花乡 Bai-Hua Township; CPT 草坡乡 Cao-Po Township; SJT 三江乡 San-Jiang Township

居民点和工矿面积百分比、农田面积百分比作为自变量进行多元线性回归分析。回归方程可以表述为:

$$y = Xb + a, \text{ 其中 } X = [x_1 \ x_2 \ x_3]$$

式中, x_1 、 x_2 、 x_3 分别代表道路密度(km/km²)、居民点和工矿面积百分比(%)、农田面积百分比(%)。通过最小二乘拟合求解回归系数向量 b 和常数项 a 。

表 1 3 种数据源的基本特征

专题图件	比例尺	斑块数	平均斑块面积(km ²)	平均斑块周长(km)
M aps	Scale	Patch number	Mean patch area	Mean patch perimeter
土地利用 Land use	1 10 ⁵	4091	0. 997	4. 50
植被 Vegetation	1 10 ⁵	3752	1. 079	5. 19
林相 Forest form	1 10 ⁵	3752	1. 079	5. 19

3 结果

3.1 重要植被类型及其破碎化

通过对植被格局的分析, 得出了 5 种重要植被类型在乡镇级单元所占的面积比例及其组合结构(图 2)。汶川县地貌以中、高山占绝对优势。因而自然环境的垂直带性分异非常显著, 这在植被的空间格局上表现的尤为突出。汶川县植被垂直带谱的基带为常绿阔叶林, 只在县域东南海拔较低的几个乡镇有分布, 而且所占面积都在 4% 以下。同样地, 高山草甸和高山流石滩稀疏植被位于汶川县植被垂直带谱的顶端, 也只出现在有高山分布的几个乡镇, 其面积比例因高山面积的不同而差异显著。在各乡镇单元几乎都出现的 5 种重要植被类型位于整个垂直带谱的中部, 包括常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林和灌丛-灌草丛。这五种植被类型从总体上看灌丛-灌草丛所占的面积比例最高, 针叶林略低, 常绿落叶阔叶混交林次之, 落叶阔叶林和针阔混交林所占的面积比例最低。

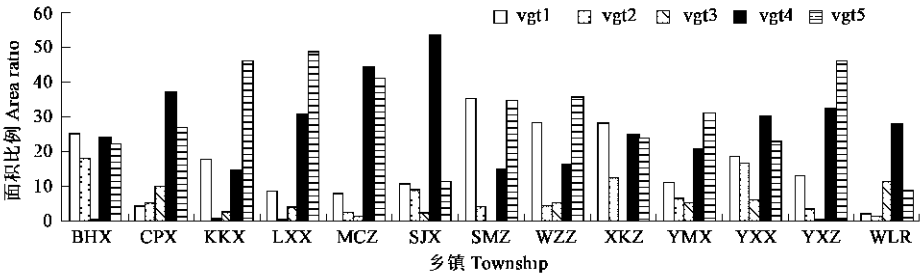


图 2 汶川县重要植被类型的面积比例分布

Fig. 2 Area ratio distribution of the important vegetation types in Wenchuan County

vgt1 常绿落叶阔叶混交林 Evergreen deciduous broad-leaved mixed forest; vgt2 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest; vgt3 针阔混交林 Coniferous deciduous broad-leaf mixed forest; vgt4 针叶林 Coniferous forest; vgt5 灌丛-灌草丛 Shrub; BHX 白花乡 Baihua Township; CPX 草坡乡 Caopo Township; KKK 克枯乡 Keku Township; LXX 龙溪乡 Longxi Township; MCZ 绵池镇 Mianchi Township; SJX 三江乡 Sanjiang Township; SMZ 水磨镇 Shuimo Township; WZZ 威州镇 Weizhou Township; XKZ 漩口镇 Xuankou Township; YMX 雁门乡 Yanmen Township; YXX 银杏乡 Yinxing Township; YXZ 映秀镇 Yingxiu Township; WLR 卧龙自然保护区 Wolong Nature Reserve

边界密度揭示了景观或要素类型被边界的分割程度, 是景观破碎化程度的直接反映^[8]。通过各乡镇单元 5 种植被类型的边界密度(图 3) 可以看出不同植被类型破碎化程度的空间分布特征。各植被类型破碎化程度的空间变异性是不同的, 常绿落叶阔叶混交林的变异性最小, 灌丛-灌草丛、针叶林、落叶阔叶林的变异性依次增大, 而针阔混交林的变异性最大。就植被类型的总体情况来看, 破碎化程度从大到小的顺序为落叶阔叶林、针阔混交林、常绿落叶阔叶混交林、灌丛-灌草丛、针叶林。

3.2 基于不同主题图件景观格局指数的相关性与差异性

基于不同主题图件的景观格局指数之间的相关性特征虽然存在一定差异, 但是其相似性更为显著(表 2)。边界密度与平均斑块面积、平均斑块周长和平均形状指数之间存在着较大的负相关; 平均斑块面积与平均斑块周长和平均形状指数之间以及平均斑块周长与平均形状指数之间存在较大的正相关, 面积与周长之间的相关程度最大。

对基于不同主题图件的同一景观格局指数间的整体差异性进行单因素方差分析(表 3), 结果表明: 由不同主题图件得到的边界密度和平均斑块周长在总体上不存在明显差异, 平均斑块面积间的差异也比较小, 而基于不同主题图件的景观多样性指数

和景观的平均形状指数各自在整体上的差异非常显著。

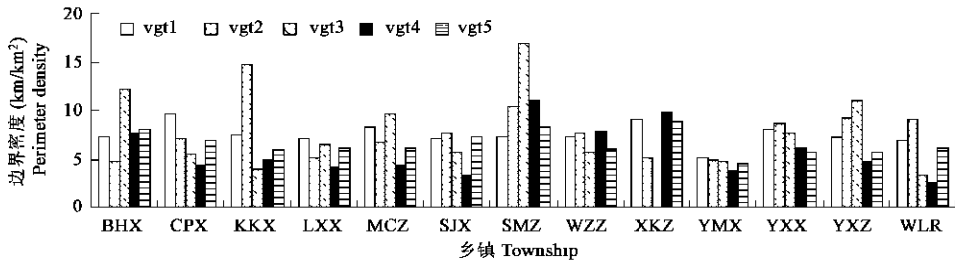


图 3 汶川县重要植被类型的破碎化程度

Fig. 3 Fragmentation of the important vegetation types in Wenchuan County

vgt1 常绿落叶阔叶混交林 Evergreen deciduous broad-leaved mixed forest; vgt2 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest; vgt3 针阔混交林 Coniferous deciduous broad-leaf mixed forest; vgt4 针叶林 Coniferous forest; vgt5 灌丛-灌草丛 Shrub; BHX 白花乡 Baihua Township; CPX 草坡乡 Caopo Township; KKK 克枯乡 Keku Township; LXX 龙溪乡 Longxi Township; MCZ 绵池镇 Mianchi Township; SJX 三江乡 Sanjiang Township; SMZ 水磨镇 Shuimo Township; WZZ 威州镇 Weizhou Township; XKZ 漩口镇 Xuankou Township; YMX 雁门乡 Yanmen Township; YXX 银杏乡 Yinxing Township; YXZ 映秀镇 Yingxiu Township; WLR 卧龙自然保护区 Wolong Nature Reserve

表 2 基于不同主题图件景观格局指数的相关性特征

Table 2 The correlation matrix of landscape pattern indices from maps with different themes												
	土地利用 Landuse				林相 Forest				植被 Vegetation			
	<i>p d</i>	<i>d v</i>	<i>p a</i>	<i>p p</i>	<i>p d</i>	<i>d v</i>	<i>p a</i>	<i>p p</i>	<i>p d</i>	<i>d v</i>	<i>p a</i>	<i>p p</i>
<i>d v</i>	- 0.174				0.012				- 0.049			
<i>p a</i>	- 0.832	- 0.157			- 0.789	- 0.393			- 0.727	0.367		
<i>p p</i>	- 0.743	- 0.043	0.914		- 0.794	- 0.409	0.992		- 0.818	0.281	0.976	
<i>p s</i>	- 0.657	- 0.158	0.541	0.510	- 0.570	- 0.503	0.816	0.826	- 0.682	0.058	0.804	0.846

p d 边界密度 Perimeter density; *d v* 多样性指数 Shanon-Weinner diversity index; *p a* 平均斑块面积 Mean patch area; *p p* 平均斑块周长 Mean patch perimeter; *p s* 平均形状指数 Mean shape index

表 3 基于不同主题图件景观格局指数间的整体差异性

Table 3 One-Way ANOVA analysis of the landscape pattern indices from different theme maps					
统计量 Statistics	边界密度 Perimeter density	多样性 Diversity index	平均斑块面积 Mean patch area	平均斑块周长 Mean patch perimeter	平均形状指数 Mean shape index
<i>SS</i>	0.19068	2.8428	0.12979	0.14757	3.6383
<i>df</i>	2	2	2	2	2
<i>F</i>	0.027261	27.923	0.11728	0.020231	98.4734
<i>P</i>	0.97313	4.77×10^{-8}	0.88968	0.97998	2.55×10^{-15}

3.3 人类活动对景观格局特征的解释能力

经过基于不同主题图件的 5 个景观格局指数分别与 3 个人类活动要素指标之间的多元线性回归分析可以看出, 只有边界密度与道路密度、居民点和工矿面积百分比、农田面积百分比之间能够建立比较好的线性相关关系(表 4)。另外, 源于土地利用图的平均斑块面积、平均斑块周长和平均形状指数与 3 个人类活动要素指标之间也存在一定的线性关系, 但都不如边界密度与 3 个人类活动要素指标之间的线性关系那样显著。其余的景观格局指数与人类活动要素的 3 个指标之间都不存在显著的线性关系。

4 讨论

目前已经提出了众多的指数对景观格局进行定量描述与解析, 但是对这些指数技术上和生态意义上的理解仍然有些欠缺^[9]。那么在具体研究中如何选择适当的景观指数, 采用什么样的方法来监测和预测景观的变化就显得非常重要。考察人类活动与景观格局的相互关系, 经常采用的方法是缓冲区分析^[7, 10]。这种方法认为, 人类活动对景观格局的影响与空间距离关系密切, 因此通过比较不同距离分区范围内景观组分及格局特征的相似性和差异性来揭示影响的性质和强度。景观格局指数之间的相互关系一般不是这种方法考虑的范围。本文在依据植被图进行景观组分分析的同时, 还依据土地利用图、植被图和林相图探

讨了景观指数之间的相互关系和人类活动对景观格局指数的表达能力。所选择的几个景观格局指数计算简便而又生态意义明确。值得说明的是,文中用到的边界密度是景观(或类型)中斑块的总周长与总面积之比,斑块面积和周长的统计在 ArcView 中以矢量图为基础完成。

表 4 边界密度与人类活动要素的线性关系				
Table 4 The linear relationship between perimeter density and variables of human activities				
	回归方程 Regression equation	R^2	F	P
土地利用 Landuse	$y_{Lan} = 1.3833x_1 + 1.5498x_2 + 0.0775x_3 + 3.5356$	0.8863	23.3789	0.0001
林相 Forest	$y_{For} = -0.068x_1 + 0.3949x_2 + 0.1455x_3 + 4.7465$	0.7572	9.3557	0.0040
植被 Vegetation	$y_{Veg} = -0.0919x_1 + 0.4029x_2 + 0.1481x_3 + 4.7293$	0.7530	9.1438	0.0043

人口增长和人类活动的干扰是景观破碎化及生态退化的重要原因^[11,12]。因而,根据不同景观或植被类型的具体情况与特点就应该采取针对性的措施适当限制和引导人类活动强度与方向,以达到持续利用自然资源和生态环境质量不断改善的双重目标。重要植被类型的空间分异格局是自然环境因素和人为干扰因素综合作用的结果。通过重要植被类型的分析,可以明确不同类型在不同乡镇单元的优势程度及其生态完整性。同时,也能够从一定程度上反映自然环境特征和人为干扰强度。例如,针叶林在三江乡的优势度最大(图 1),而其破碎化程度很小,仅略高于卧龙自然保护区(图 2)。因此,针叶林作为一种生境类型,人为干扰和破坏较少,质量状况良好,从而保护针叶林植被对于三江乡和卧龙自然保护区的生物多样性保育具有重要意义。灌丛-灌草丛实际上是高山灌丛和低海拔的灌丛和灌草丛的集合。灌丛—灌草丛的破碎化程度与人口有一定的相关关系($R = 0.51$, $P = 0.07$)。位于河谷低海拔谷坡区的灌草丛大部分是森林砍伐、取薪等人类强烈干扰后的恢复类型,从一定程度上能够反映历史上人类活动干扰的空间分异。所以,这部分灌草丛的管理重点在于因地制宜地进行生态恢复,以自然恢复和演替为主。其余的植被类型,特别是各种森林植被是各种野生动植物的主要生境,同时也能从一定程度上表达相应地区生态的良好状况。因此,这些植被类型的保护和管理对于生物多样性的保育和区域生态安全的维系具有重要的现实意义。在各种森林植被中,针叶林的面积比例高而破碎化程度最低,说明其生境质量最好,应该给予严格的保护。落叶阔叶林虽然面积比重不大,但是遭受的人为干扰和破坏最为严重,生境破碎化程度最高,对这种类型应该积极采取措施进行封育。

通过土地利用图、林相图和植被图分别计算得到的 5 个景观格局指数表现出了相似的相关性特征,说明它们之间的相互关系受地图主题的影响都较小。但是,景观指数取值大小会不同程度地受到地图主题的影响。边界密度和平均斑块周长对地图主题的影响不敏感,而景观多样性指数和平均形状指数则很敏感。这从一定程度上表明 3 种图件在反映景观破碎化程度上具有相似的能力,而在反映景观异质性方面存在显著差异。同时也说明,景观要素的面积、边界特征或其相互关系可以通过另外的某种途径加以解释,而景观多样性指数和平均形状指数却比较困难。通过景观指数与人类活动的 3 个空间要素数量特征(道路密度、居民点及工矿面积比例和农田面积比例)之间的多元线性回归分析进一步证实了这一点。景观的边界密度确实能够由景观中的人类活动要素之间一定的线性组合关系进行较好的表达与解释。这也充分说明,通过人类活动要素至少可以在一定精度范围内预测景观(尤其是破碎化程度)的变化趋势,可以为区域土地利用和生态保育规划提供重要的决策依据,从而实现对人类活动的合理调控与管理,促进生态恢复和景观安全格局的维持。

在广大发展中国家的农村地区,薪柴是主要的能源形式^[13]。薪柴的长期大量消耗造成了本土生物多样性的减少、重要生态系统和生境的破坏^[14]。在中国的农村地区特别是山区情况也是如此。国家退耕还林和天然林保护工程的实施为景观水平上的生态恢复与重建提供了良好的保障条件和激励机制。同时,农村能源结构的调整对植被恢复、生物多样性保育和生态环境质量的改善也很有帮助。汶川县地处岷江上游,经济欠发达。薪柴仍然是农业人口的主要能源形式。薪柴的长期大量消耗成为这一地区景观破碎化和生态退化的重要驱动因素^[11]。汶川县水能资源丰富,具备了以电代柴,进行农村能源结构调整的良好条件。尽管如此,以电代柴战略的实施仍然会面临着众多现实困难^[15],包括水电能源的开发、利用、管理及其社会可接受性等。理解薪柴消耗背后的隐含机制,特别是农村家庭能源选择的决定因素,对于解决由薪柴消耗所带来的生态问题来说非常重要^[16,17]。因此,研究具体的社会经济条件和背景,可以为以电代柴战略的实施,配合国家的退耕还林和天然林保护工程的顺利开展,扭转森林和景观破碎化以及生态退化的趋势提供必要的决策依据。

References:

[1] Nagashima K, Sands R, Whyte A G D, et al. Regional landscape change as a consequence of plantation forestry expansion: an example in the Nelson region, New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 2002, **163**: 245 ~ 261.

[2] Western D. Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of national academy of sciences, USA*, 2001, **98**: 5458 ~ 5465.

[3] Zhou H, Fu B. Ecological structure of landscape and biodiversity protection. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, **18**(5): 472 ~ 478.

- [4] Roy P S, Tomar S. Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modeling technique. *Biological Conservation*, 2000, **95**: 95 ~ 109.
- [5] Hobbs R. Future landscapes and the future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning*, 1997, **37**: 1 ~ 9.
- [6] Guo J, Zhang Y. Spatial Correlation indices among forest landscape structural components and landscape pattern analysis in Guandishan forest region. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, **35**(5): 28 ~ 33.
- [7] Zeng H, Kong N N, Li S J. Human impacts on landscape structure in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 1994 ~ 2001.
- [8] Fu B, Chen L, Ma K, *et al.* *Principles and applications of landscape ecology*. Beijing: Science Press, 2002. 202 ~ 203.
- [9] Wu J, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 2002, **17**: 355 ~ 365.
- [10] Zhou H, Ma K, Fu B. Analysis of the impacts of human activities on landscape patterns in Dongling mountain area of Beijing. *Journal of Natural Resources*, **14**(2): 117 ~ 122.
- [11] Liu J, Linderman M, Ouyang Z, *et al.* Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong Nature Reserve for giant pandas. *Science*, 2001, **292**: 98 ~ 101.
- [12] An L, Liu J, Ouyang Z, *et al.* Simulating demographic and socioeconomic processes on household level and implications for giant panda habitats. *Ecological Modelling*, 2001, **140**: 31 ~ 49.
- [13] Dewees P A. The woodfuel crisis reconsidered: observations on the dynamics of abundance and scarcity. *World Development*, 1989, **17**(8): 1159 ~ 1172.
- [14] Kirubi C, Wamicha N W, Laichen A K J. The effects of woodfuel consumption in the ASAL areas of Kenya: the case of marsabit forest. *African Journal of Ecology*, 2000, **38**(1): 47 ~ 52.
- [15] Fang Y. Superiorities and strategies of hydroelectric resources development in western Sichuan. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, **11**(2): 123 ~ 127.
- [16] Helberg H, Arndt T C, Sekhar N U. Fuelwood consumption and forest degradation: a household model for domestic energy substitution in rural India. *Land Economics*, 2000, **76**: 213 ~ 232.
- [17] An L, Lupi F, Liu J, *et al.* Modeling the choice to switch from fuelwood to electricity: Implications for giant panda habitat conservation. *Ecological Economics*, 2002, **42**(3): 445 ~ 457.

参考文献:

- [3] 周华锋, 傅伯杰. 景观生态结构与生物多样性保护. *地理科学*, 1998, **18**(5): 472 ~ 478.
- [6] 郭晋平, 张云香. 关帝山林区景观要素空间关联度与景观格局分析. *林业科学*, 1999, **35**(5): 28 ~ 33.
- [7] 曾辉, 孔宁宁, 李书娟. 卧龙自然保护区人为活动对景观格局的影响. *生态学报*, 2001, **21**(12): 1994 ~ 2001.
- [8] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. *景观生态学原理及应用*. 北京: 科学出版社, 2002. 202 ~ 203.
- [10] 周华锋, 马克明, 傅伯杰. 人类活动对北京东灵山地区景观格局影响分析. *自然资源学报*, 1999, **14**(2): 117 ~ 122.
- [15] 方一平. 川西地区水能资源优势、开发障碍及战略. *长江流域资源与环境*, 2002, **11**(2): 123 ~ 127.