

湘西北侵蚀小流域生态恢复适宜度与景观格局特征

漆良华¹, 张旭东², 周金星², 彭镇华²

(1. 国际竹藤网络中心, 北京 100102 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: 开展生态恢复区景观空间格局特征分析, 对于山丘土壤侵蚀区的治理具有重要意义。以湘西北女儿寨小流域为例, 运用景观生态学原理及空间格局分析方法, 对流域生态恢复适宜度与景观格局特征进行了研究。结果表明: 生态恢复对女儿寨流域土地利用结构有较大改善, 土壤侵蚀量有效减少; 林地面积最大, 斑块数最多, 流域以林地景观为基质; 斑块形状较简单, 斑块间相似性较强, 景观面积有效性较小; 流域景观多样性较高, 但均匀程度较低, 偏离度较大; 整体景观的破碎度不高, 但居民点的破碎化程度极大, 不利于流域景观系统的稳定性。研究结论可为流域治理与生态恢复、土地利用结构调整、景观优化利用提供科学依据和参考。

关键词: 生态恢复适宜度; 景观格局; 小流域; 土壤侵蚀

中图分类号: P901.X171.4

文献标识码: A

我国水土流失集中分布在占国土面积近 70% 的山丘区^[1,2], 土壤侵蚀一直是关系到山丘区经济发展、社会和谐稳定以及区域生态安全的重要问题。景观格局是不同大小和形状的景观斑块在空间上的排列状况, 是景观异质性的重要体现, 反映各种生态过程在不同尺度上的作用结果。在较大空间尺度上, 地貌和气候对景观过程常常起主导作用, 中小尺度上, 植被、土壤及人类活动等的分异作用更为明显^[3]。区域景观格局及其变化既是各种干扰因素相互作用的结果, 又影响着该区域的生态过程, 与干扰能力、恢复能力、系统稳定性和生物多样性密切相关^[4]。实施生态恢复治理山丘区土壤侵蚀, 必将导致土地利用类型与景观格局发生变化。众多学者对土地利用的景观格局及其变化进行了大量研究^[5-8], 但有关山丘侵蚀区因生态恢复形成的景观格局特征及其变化的研究鲜有报道。本研究以湘西北女儿寨小流域为例, 运用景观生态学原理及其空间格局分析方法, 对植被恢复适宜度与景观格局特

征进行了分析研究, 以期揭示各种生态过程及其生态景观内在的不协调性, 为生态环境改善、土地资源可持续发展、小流域景观优化利用和后续生态恢复工程的实施提供依据。

1 流域概况

女儿寨小流域位于湖南省张家界市慈利县城关镇两溪村(29°30'N, 110°10'E), 为湖南省长防林体系建设工程及退耕还林工程的重点试验示范区。母岩以页岩、砂岩为主, 土壤主要为山地黄壤。光热充足, 雨量充沛, 无霜期长, 严寒期短, 四季分明, 年平均日照 1 440 h, 年均气温 16℃, 年均降水量约 1 400 mm, 无霜期 216~269 d, 属中亚热带山原型季风性湿润气候。流域封闭相对良好, 面积 2.81 km², 沟口海拔为 210 m, 最高峰海拔为 917.4 m。小流域内地形复杂, 山峦起伏, 沟壑纵横, 沟壑密度约 2.6 km/km², 主沟纵比降约 28.4‰, 水土流失严重, 为典

收稿日期(Received date): 2008-06-18; 改回日期(Accepted): 2009-03-03.

基金项目(Foundation item): 国家“十一五”林业科技支撑项目“长江中下游低山丘陵生态退化区植被恢复技术试验示范”(2006BAD03A16).

[National “Eleventh Five-Year Plan” Program for Key Problems in Forestry Science and Technology “Vegetation Restoration Technologies of Hilly and Mountainous Degraded Areas in the Middle and Lower Basin of Yangtze River” (No. 2006BAD03A16).]

作者简介(Biography): 漆良华(1976-), 男, 湖北潜江人, 博士, 助理研究员, 主要从事生态恢复方面研究。[Qi Lianghua (1976-), male born in Qianjiang, Hubei. Associate professor, doctor. Researching fields: ecological restoration.] E-mail: qilianghua2008@yahoo.com.cn; Tel: 010-84789848, 13552937880.

型山丘侵蚀小流域^[9]。流域自 1993年开始实施人工造林和封山育林相结合的植被恢复与重建,形成的典型植被群落主要有马尾松 (*Pinus massoniana*) 天然林、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林、杜仲 (*Eucammia uhnoides*) 人工林、油桐 (*Vernicia fordii*) 人工林、润楠 (*Machilus Pingii*) 次生林、毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 杉木混交林及荒草灌丛等类型^[10]。主要灌木种类有檵木 (*Loropetalum chinensis*)、芒麻 (*Boehmeria nivea*)、悬钩子 (*Rubus palmatus*)、白背叶 (*Mallotus apelta*)、飞蛾槭 (*Acer oblongum*)、油茶 (*Camellia oleifera*) 等, 主要草本植物有

铁芒萁 (*Dicranopteris linearis*)、白茅 (*Imperata spp.*)、香石竹 (*Dianthus caryophyllus*)、荩草 (*Arthraxon hispidus*)、鱼腥草 (*Houttuynia cordata*)、沿阶草 (*Ophiopogon japonicus*)、千里光 (*Senecio scandens*)、莎草 (*Cyperus rotundus*)、边缘鳞盖蕨 (*Microlepia marginata*)、渐尖毛蕨 (*Cyclosorus acuminatus*)、凸轴蕨 (*Metathelypteris singalanensis*) 等, 以及藤黄檀 (*Dalbergia hancei*)、海金沙 (*Lygodium japonicum*)、赤廔 (*Thladiantha nudiflora*)、菝葜 (*Smilax china*)、木防己 (*Cocculus trilobus*)、三叶木通 (*Akebia trifoliata*) 等层外植物。

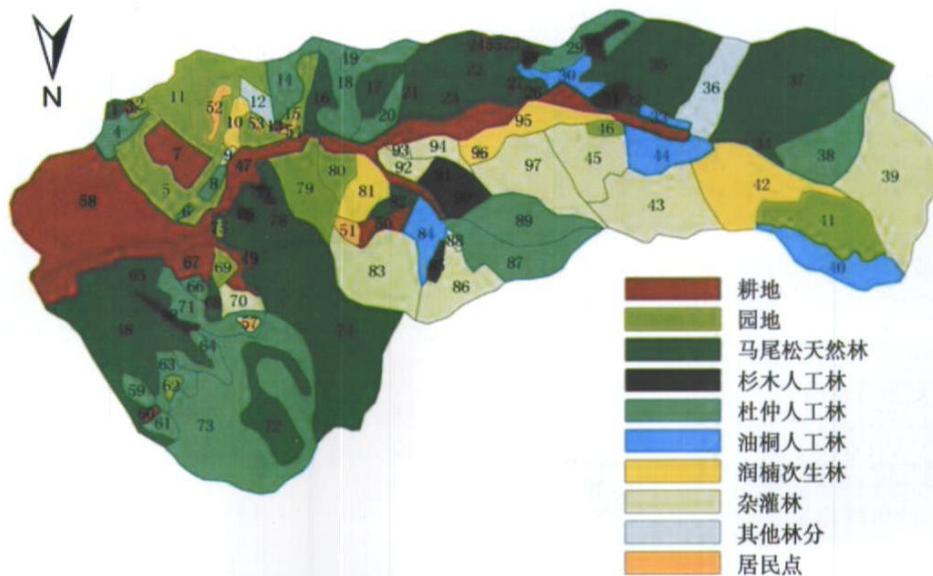


图 1 女儿寨小流域土地利用景观类型图

Fig. 1 Land use landscape types of Nuerzhai watershed

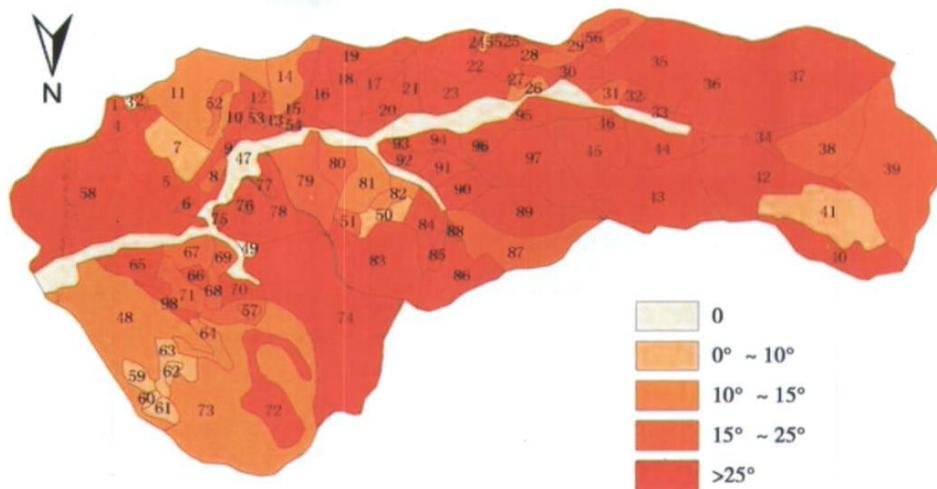


图 2 女儿寨小流域斑块坡度分布图

Fig. 2 Patch distribution in slope degrees of Nuerzhai watershed

2 研究方法

2.1 数据获取与景观类型划分

以 1:1 万地形图为依据,野外实地勾绘小斑,对每一小斑详细调查和记录海拔、坡向、坡位、坡度等地形地貌因子,植被特征以及土地利用状况等。清绘后进行土地利用现状图的矢量化,在 Arc/info 中建立拓扑关系,导入 Arcview 中进行显示、分析,统计斑块类型、数目、周长及面积等属性,建立景观数据库。在此基础上,根据女儿寨流域土地利用的性质及功能,并结合国家土地分类标准,将研究区划分为 4 类 10 种景观类型(图 1): ①耕地,包括灌溉水田和旱地,旱地主要为坡耕地; ②园地,主要种植板栗、柑橘等果树的土地; ③林地,根据林分起源和树种组成,进一步分为马尾松天然林、杉木人工林、杜仲人工林、油桐人工林、润楠次生林、杂灌林以及其他林分(枫杨、石栎、香樟等) 7 种景观类型; ④居民点,主要指流域内农村居民点。此外,对于面积小而分散的荒坡、草地、裸岩、溪沟、道路等景观单元纳入其空间分布的其他主要景观类型中。

2.2 生态恢复适宜度分析

生态恢复适宜度主要反映一定区域内植被恢复与重建的合理程度,本研究主要从低山丘陵水土流失区的水土保持角度出发,考虑女儿寨小流域植被

恢复与重建后坡度对各种土地利用方式的影响。女儿寨小流域斑块坡度分级分布见图 2 生态恢复适宜度计算方法为^[11]:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n L_i \times K_i}{n}$$

式中 R 为生态恢复适宜度指数, 值阈范围为 0~1, R 值大表示土地利用比较合理, 土壤侵蚀量较低, 植被恢复的水土保持效果较好; L_i 为某一坡度段第 i 种土地利用类型所占百分比; K_i 为该坡度段对第 i 种土地利用的适宜程度, 变化范围为 0~1, 1 表示最适宜, 0 表示不适宜; m 为土地利用类型的总目; n 为坡度的分级数。

2.3 景观格局分析

景观中斑块形状、大小、数量和空间组合对生物物种分布、动物迁移、流体径流和土壤侵蚀等生物学和生态学过程有极大的影响。景观格局分析中, 景观要素最一般的数量特征是面积和周长, 而由面积、周长等表面信息高度浓缩形成的景观格局信息即景观指数, 它反映了不同景观结构的组成和空间配置等^[10]。本研究分别从斑块类型水平指数和景观水平指数两个景观格局指数层次上对女儿寨小流域植被恢复与重建后的景观格局特征进行研究。各选取指标、计算公式及生态学意义^[12,13]见表 1。

表 1 主要景观指数及其生态学意义

Table 1 The main landscape indexes and their ecological meanings

景观指数 Landscape indexes	计算公式 Formulas	意义 Meanings
斑块数 (NP)	$NP = N$	各类景观中斑块的总数。
斑块密度 (PD)	$PD = N / A_i$	表示每平方公里某 i 类景观的斑块数 (N), 可以反映景观破碎化程度。
平均斑块大小 (MPS)	$MPS = A_i / N$	某 i 类景观所有斑块面积 (A_i) 除以斑块总数 (N)。MPS > 0 无上限。
斑块分维数 (DI)	$D_i = \frac{2 \log_2 (L_i / 4)}{\log_2 (A_i)}$	定量描述其核心面积的大小及边界线的曲折线。 D_i 理论范围为 1~2 斑块几何形状越简单, 斑块形状越有规律, 相似性越强, 分维数越趋近于 1; 分维数越大, 景观格局越复杂。 L_i, A_i 分别为第 i 类景观的平均斑块周长和平均斑块面积, 下同。
斑块伸长指数 (G)	$G_i = L_i / \sqrt{A_i}$	反映斑块体伸长程度。正方形斑块 G 值等于 4, G 越大, 斑块体形状越狭长。
景观多样性指数 (H)	$H = - \sum_{i=1}^m P_i \log_2 (P_i)$	反映景观要素的多少和各景观类型要素所占比例的变化, H 值越大, 景观多样性越高。 P_i 为某一景观类型中斑块 i 所占面积的比例, m 为斑块数目, 下同。
景观优势度指数 (D)	$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^m P_i \log_2 (P_i)$ $H_{\max} = \log_2 m$	用于测度景观类型组成中某一类型或一些景观类型占优势的程度, 表示景观多样性的偏离程度。 H_{\max} 为最大多样性指数。
景观均匀度指数 (E)	$E = H / H_{\max}$	描述景观里不同景观类型分配的均匀程度, E 值越大, 表明景观各组成成分分配越均匀。
景观破碎度指数 (F)	$F = N / A$	反映景观的破碎化程度及人类活动对景观的干扰强度。

3 结果与分析

3.1 生态恢复适宜度分析

女儿寨小流域不同土地利用方式在各坡度段上的分布比例如表 2 所示。由表 2 可知, 坡度为 0° 时, 仅分布有耕地类型; 坡度为 0° ~ 10° 时, 分布有耕地和园地类型; 林分均分布在 10° 以上区域。91.07% 耕地分布在坡度 25° 以下地带, 这主要是由于 25° 以上的耕地均先后实施了退耕还林工程; 除平地外, 园地在其余各个坡度段分布比较均匀; 马尾

松天然林、杉木人工林和润楠人工林面积的 80% 以上主要集中分布在 25° 以上, 油桐人工林与枫杨、石栎、香樟等其他林分类型由全部分布在 25° 以上区域, 杂灌木主要分布在 15° 以上范围, 杜仲由于是慈利特有树种, 符合群众栽培习惯, 故分布坡度范围最广。

经专家综合评分得到各坡度段对不同土地利用方式的 K 值 (表 2), 由生态恢复适宜度计算公式, 求得适宜度指数为 0.923 9, 表明经过退耕还林工程、长江防护林体系建设工程的实施, 小流域土地利用结构有较大改善, 土壤侵蚀量有效减少, 植被恢复与重建对该区水土流失的治理起到了十分重要的作用。

表 2 不同土地利用类型对坡度的适宜性评价 (K) 与分布比例 (%)

Table 2 Suitability evaluation and area percentage of different land use types according to slope sections

坡度分级 Slope ranks	耕地		园地		马尾松		杉木		杜仲		油桐		润楠		杂灌木		其他林分	
	Cultivated land		Garden plot		<i>P. massoniana</i>		<i>C. lanceolata</i>		<i>E. ulmoides</i>		<i>V. fordii</i>		<i>M. Pingii</i>		Mixed shrub forests		Other forests	
	K	%	K	%	K	%	K	%	K	%	K	%	K	%	K	%	K	%
0°	1.00	39.63	1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0	0.60	0	1.00	0
0° ~ 10°	0.75	10.88	1.00	20.43	1.00	0	1.00	0	1.00	5.2	1.00	0	1.00	0	0.50	0	1.00	0
10° ~ 15°	0.50	0	0.75	24.59	0.70	13.61	0.70	0	0.70	37.7	0.70	0	0.70	14.26	0.40	0	0.70	0
15° ~ 25°	0.25	40.56	0.50	23.35	0.60	1.14	0.60	16.35	0.60	30.26	0.60	0	0.60	0	0.30	22.29	0.60	0
>25°	0	8.93	0.25	31.63	0.50	85.25	0.50	83.65	0.50	26.84	0.50	100	0.50	85.74	0.30	77.71	0.50	100

表 3 景观格局指数特征值

Table 3 The characteristic values of landscape pattern indexes

指标 Indexes	耕地 Cultivated land	园地 Garden plot	林地 Forests									居民点 Residential area	流域景观 Watershed landscape				
			马尾松		杉木		杜仲		油桐		润楠			杂灌木 Mixed shrub forests	其他 林分 Other forests	林地 整体 Forest landscape	
			<i>P. massoniana</i>	<i>C. lanceolata</i>	<i>E. ulmoides</i>	<i>V. fordii</i>	<i>M. Pingii</i>										
斑块数(个)	10	11	21	9	18	5	4	12	3	72	5	98					
斑块密度(个/km ²)	23.00	33.35	19.89	105.26	28.62	30.32	20.19	18.60	44.84	25.31	217.39	26.98					
斑块数比例(%)	10.20	11.24	21.43	9.18	18.37	5.10	4.08	12.24	3.06	73.46	5.10	100					
斑块面积(hm ²)	43.48	32.98	105.57	8.55	62.89	16.49	19.81	64.50	6.69	284.50	2.30	363.26					
平均斑块大小(hm ²)	4.35	3.00	5.03	0.95	3.49	3.30	4.95	5.38	2.23	3.95	0.46	3.71					
斑块面积比(%)	11.97	9.08	29.06	2.35	17.31	4.54	5.45	17.76	1.84	78.32	0.63	100					
斑块周长(km)	11.94	10.08	19.96	3.71	17.71	4.38	4.12	9.90	1.68	61.46	1.57	85.05					
斑块平均周长(km)	1.19	0.92	0.95	0.41	0.98	0.88	1.03	0.83	0.56	0.85	0.31	0.87					
斑块分维数(DI)	1.232 6	1.232 8	1.227 9	1.203 3	1.257 6	1.165 1	1.137 6	1.168 3	1.087 3	1.178 2	1.189 4	1.190 2					
斑块伸长指数(G)	5.705 6	5.311 6	4.235 8	4.206 5	5.245 8	4.844 2	4.629 5	4.078 4	4.150 0	4.484 3	4.570 7	4.697 8					
景观多样性指数(H)	1.848 0	2.781 2	3.471 1	2.931 6	3.397 2	2.109 9	1.632 8	2.927 2	0.958 7	2.489 8	2.106 4	2.416 4					
景观优势度指数(D)	2.765 6	2.655 5	3.602 1	2.245 1	3.355 2	1.413 2	1.183 6	2.768 4	0.980 1	2.221 1	1.414 8	2.238 4					
景观均匀度指数(E)	0.556 3	0.803 9	0.790 3	0.924 8	0.814 7	0.908 7	0.816 4	0.816 5	0.604 9	0.810 9	0.907 2	0.794 4					
景观破碎度指数(F)	0.230 0	0.333 5	0.198 9	1.052 6	0.286 2	0.303 2	0.201 9	0.186 0	0.448 4	0.382 5	2.173 9	0.541 5					

3.2 景观斑块特征分析

3.2.1 斑块数量特征

从表 3 可以看出, 各类景观类型斑块数表现为林地 > 园地 > 耕地 > 居民点, 且以林地占绝大多数, 园地与耕地相近, 居民点最少, 分别为 72 个、11 个、10 个及 5 个, 斑块数比例分别为 73.49%、11.24%、10.20% 和 5.10%。这主要是由于女儿寨流域因水土流失严重, 先后实施了退耕还林工程、长江防护林体系工程, 生态恢复与重建导致林地斑块数目增多, 比例增大, 耕地与园地零星分布在丘陵间的平坦之处, 流域内居住人口少, 无城镇建设及工矿点分布, 所以居民点斑块数目少。

从斑块密度指数看, 居民点 > 园地 > 林地 > 耕地, 分别为 217.39 个 / km²、33.35 个 / km²、25.31 个 / m² 和 23 个 / m², 表明居民点的景观破碎化程度最大, 受外界干扰最大, 反映了流域内农村居民点斑块分散, 规划性较差, 而园地、林地及耕地景观类型的斑块密度较为接近, 受人为干扰的影响程度相当。

在林地景观的 7 种林分类型中, 斑块数较多的林分类型为马尾松天然林 (21 个) 和杜仲人工林 (18 个), 这主要是由于马尾松耐干旱瘠薄, 能飞籽成林, 加之慈利为“中国杜仲之乡”, 故马尾松、杜仲是女儿寨流域进行植被恢复与重建的首选树种; 由于杉木生长发育需要较好的立地条件, 故杉木林分分布较分散, 多在土层较厚、养分较充足的山坡中下部, 斑块密度最大的是杉木人工林 (105.26 个 / m²), 其余 6 种林分景观类型则相差不大。

3.2.2 斑块面积特征

一个景观类型占整个景观面积的比例, 在相对意义上给出了每个景观类型对整个景观的贡献率^[10]。景观类型面积大小表现为: 林地 > 耕地 > 园地 > 居民点, 林地面积最大, 为 284.50 m², 居民点最小, 为 2.30 m², 耕地与园地相当, 分别为 43.48 hm²、32.98 hm²; 4 类景观面积所占比例分别为 78.32%、11.97%、9.08% 和 0.63%。

平均斑块大小不仅反映各景观类型分布特点, 也反映大地貌特征。由表 3 可知, 耕地与林地的平均斑块面积相当, 分别为 4.35 hm²、3.95 hm², 园地 (3 hm²) 次之, 居民点 (0.46 hm²) 最小。反映了女儿寨流域地貌较为单一, 以农林景观类型为主, 耕地与林分交错分布, 园地和居民点斑块类型则在整个流域景观中起着增加景观异质性、丰富景观多样性的重要作用。

7 种林分类型斑块面积与平均斑块大小表现出与斑块数目相似的规律, 均以马尾松天然林和杜仲人工林较大。

3.2.3 斑块形状特征

斑块形状在一定程度上影响其景观功能, 通常一个不规则的斑块可能比规则的斑块具有更异质的生态过程^[9]。由表 3 可知, 斑块伸长指数表现为耕地 (5.705), 园地 (5.311) 较大, 居民点 (4.570) 与林地 (4.484) 相当, 主要是由于受流域低山丘陵的地形影响, 耕地和园地主要分布在地形起伏小的缓丘、坡谷及山顶等狭长地带, 林分则不受此种制约, 而居民点的景观位置受人为影响较大, 所在地形都相对平坦。

斑块分维数与生态过程密切相关, 其值域范围为 (1, 2); 当取值为 2 时, 斑块为圆形, 具有最大的核心面积和最小的边界曲折性; 当取值为 1 时, 边界曲折性最大^[5]。由表 3 可知, 4 类景观的斑块分维数均较接近, 变动幅度小, 变动范围为 1.178 ~ 1.232, 表明女儿寨流域内的景观均具有较小的核心面积和较大的边界曲折性。

7 种林分类型的斑块伸长指数都较大, 斑块分维数都较小, 说明林分斑块大都较狭长, 有效面积小, 边界较曲折, 不利于较大生物的栖息和生存。

3.3 景观多样性、均匀性和破碎性特征

多样性指数是基于信息论基础之上, 用来度量系统结构组成复杂程度的一些指数^[2]。园地因受人为干扰影响更大, 导致其系统结构组成更为复杂, 景观多样性指数也最大, 为 2.781 2 表明园地还有待进一步合理开发和科学利用, 进行集约化经营管理, 提高园地生产力; 林地景观多样性指数次之, 为 2.489 8 表明流域内林分类型多样, 植物物种及树种组成丰富, 有利于林分结构的稳定和生态功能的发挥; 居民点景观多样性指数为 2.106 4 其建设还需合理规划, 统一布局; 耕地由于土地利用与生产方式在相当长的时间尺度上较稳定, 因而景观多样性指数最小, 为 1.848 0。

均匀度与优势度呈相对应或反比的关系, 即均匀度越大, 优势度就越小; 反之亦然。由表 3 可知, 景观均匀度指数表现为居民点 (0.907 2) > 林地 (0.810 9) > 园地 (0.803 9) > 耕地 (0.556 3), 景观优势度指数相应地表现为耕地 (2.765 6) > 园地 (2.655 5) > 林地 (2.221 1) > 居民点 (1.417 8), 说明组成居民点的各斑块之间所占比例大致相当, 即

它们之间的偏离程度最小, 而耕地、园地、林地的均匀度与优势度都较为接近。此外, 从优势度与均匀度的差值来看, 景观格局的稳定性大小依次为居民点 > 林地 > 园地 > 耕地, 景观异质性大小为耕地 > 园地 > 林地 > 居民点。

景观破碎度指数表现为居民点 (2.173 9) > 林地 (0.382 5) > 园地 (0.333 5) > 耕地 (0.230 0), 表明居民点受人为干扰最大, 斑块破碎化程度极高, 不利于流域景观系统的稳定性, 而其他 3 类景观的破碎化程度相对较低。

7 种林分类型中, 景观多样性指数最高的为马尾松 (3.471 1) 和杜仲 (3.397 2), 最低的为润楠 (1.632 8) 和其他林分 (0.958 7); 均匀度与优势度指数变化不大, 说明组成不同林分的各斑块之间所占比例大致相当, 偏离程度较小, 除杉木人工林 (1.052 6) 破碎化程度较高外, 其他 6 种类型林分的破碎化程度均较低。

3.4 女儿寨小流域整体景观

全流域有 4 大景观类型, 98 个斑块, 斑块密度为 26.98 个 / km², 平均斑块大小为 3.71 hm²。斑块平均伸长指数较大为 4.697 8 说明其景观斑块形状有一定的不规则性, 呈现一定狭长形的特征; 分维数较小, 为 1.190 2 说明流域整体景观的斑块形状较为简单, 斑块间相似性较强, 景观面积有效性较小, 边缘地带较大, 反映了景观形成过程受到的限制也较大。从多样性指数看, 整体景观特征值 (2.416 4) 较高, 表明流域景观要素较多, 土地利用结构较为合理, 但分布较不均匀, 需要进一步科学规划和开发利用; 景观均匀度指数为 0.794 4 优势度指数为 2.238 4 其景观分配均匀程度较低, 且相互之间偏离程度较大; 此外, 流域整个景观的破碎度为 0.541 5 表明其破碎化程度并不高, 景观的复杂性也不高。

4 结论与建议

对女儿寨小流域生态恢复适宜度与景观格局特征的分析结果表明: ①生态恢复与重建对女儿寨流域土地利用结构有较大改善, 土壤侵蚀量有效减少, 生态恢复适宜度指数为 0.923 9。②该流域是一个以林地景观为基质的区域, 林地面积最大 (284.50 km²), 斑块数最多 (73.49%); 景观格局的稳定性以居民点最高, 景观异质性以耕地最大; 斑块形状较为简单, 斑块间相似性较强, 景观面积有效性较小, 边

缘地带较大。③流域景观多样性 (2.416 4) 较高, 土地利用结构较为合理, 但景观分配均匀程度较低, 且相互之间偏离程度较大。尽管整体景观的破碎度不高 (0.541 5), 但居民点的景观破碎化程度极高 (2.173 9), 受外界干扰最大, 不利于流域景观系统的稳定性。因此, 在女儿寨流域今后的土地利用结构调整与生态恢复过程中应注意以下几个方面的问题:

1. 耕地景观异质性最大, 25°以上坡地还有 8.93% 的耕地分布, 土地有效使用面积低, 垦殖指数高; 园地空间分布零散, 经营品种单一。可采用复合种植模式, 进一步合理开发和科学利用, 充分利用耕地、园地多层次空间, 集约化经营管理, 提高土地生产力, 同时提高系统多样性和生态稳定性。对于分布于侵蚀严重地段的耕地、园地, 可考虑继续实施植被恢复重建, 降低土壤侵蚀。

2. 林地主要分布在坡度大于 25°区域, 且林分类型以马尾松天然林面积最大, 低质低效林占很大比重。今后应对林地合理规划, 生态恢复与社会经济效益兼顾, 同时也要注意增加林地的物种多样性, 以充分发挥森林的生态服务功能和生态环境的自我修复能力。

3. 流域内农村居民点的建设还需合理规划, 统一布局, 以减缓居民点的破碎化程度, 提高景观系统的稳定性和抗干扰能力。

参考文献 (References)

- [1] Peng Zhen-hua. Forestry Ecological Network System Construction in China [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 2003 [彭镇华. 中国森林生态网络体系建设 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003]
- [2] Qi Liang-hua, Peng Zhen-hua, Zhang Xu-dong et al. Species diversity and biomass allocation of vegetation restoration communities on degraded lands [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26 (11): 1697~1702 [漆良华, 彭镇华, 张旭东, 等. 退化土地植被恢复群落物种多样性与生物量分配格局 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1697~1702]
- [3] Fu Bo-jie, Chen Li-ding, Ma Ke-ming et al. Principles and Applications in Landscape Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2000 [傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理与应用 [M]. 北京: 科技出版社, 2000]
- [4] Peterson DL, Parker VT. Ecological Scale: Theory and Application [M]. New York: Columbia University Press, 1998: 429~457
- [5] Li Yue-chen, Gong Peng, Chen Jin et al. Landscape pattern and its dynamical change in north China during 1989~1999 [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5): 143~146 [李月臣, 宫鹏, 陈晋, 等. 中国北方 13 省土地利用景观格局变化分析 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 143~146]

- [6] He Bing-hui, Xu Xia, Gu Shi-xian. Analysis on the characteristics of the landscape pattern of land use in Tongnan county [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(5): 130~133 [何丙辉, 徐霞, 辜世贤. 潼南县土地利用景观格局特征分析 [J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 130~133]
- [7] Wan Rong-rong, Yang Gui-shan. Changes of land use and landscape pattern in Taihu Lake Basin [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 475~480 [万荣荣, 杨桂山. 太湖流域土地利用与景观格局演变研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 475~480]
- [8] Jiao Feng, Wen Zhong-ming, Wang Fei, et al. Analysis of landscape structure at county scale in Loess Hilly region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 167~170 [焦峰, 温仲明, 王飞, 等. 黄土丘陵县域尺度整体景观格局分析 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 167~170]
- [9] Qi Liang-hua, Zhang Xu-dong, Zhou Jin-xing, et al. Soil water holding capacities and infiltration characteristics of typical vegetation restoration communities in watershed northwest Hunan [J]. *Scientia Sinica*, 2007, 43(3): 1~8 [漆良华, 张旭东, 周金星, 等. 湘西北小流域典型植被恢复群落土壤持水量与入渗特性 [J]. 林业科学, 2007, 43(4): 1~8]
- [10] Zhou Jin-xing, Qi Liang-hua, Zhang Xu-dong, et al. Structure characteristics and health evaluation of soil in different vegetation restoration communities [J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2006, 26(6): 32~37 [周金星, 漆良华, 张旭东, 等. 不同植被恢复模式土壤结构特征与健康评价 [J]. 中南林学院学报, 2006, 26(6): 32~37]
- [11] Chen Li-ding, Fu Bo-jie, Wang Jun. Study on land use change in a small typical catchment in Loess Hilly area—a case study in Danangou catchment Yan'an, Shaanxi Province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(1): 46~51 [陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究——以陕西延安地区大南沟为例 [J]. 地理科学, 2001, 21(1): 46~51]
- [12] Turner MG. Spatial and temporal analysis of landscape pattern [J]. *Landscape Ecology*, 1990, 4(1): 21~31
- [13] Wu Jian-guo. Landscape Ecology—Pattern, Process, Scale and Rank [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002 [邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002]

Ecological Restoration Suitability and Landscape Pattern Characteristics in a Watershed, Northwest Hunan

QI Lianghua¹, ZHANG Xudong², ZHOU Jinxiang², PENG Zhenhua²

(1. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 2. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract It was of very importance for bringing soil erosion under control to analyze landscape spatial pattern characteristics in the hilly and mountainous areas after ecological restoration. Based on applying the principles and spatial pattern analysis methods of landscape ecology, ecological restoration suitability and landscape pattern characteristics of Nüerzhai watershed which was situated in the northwest of Hunan province had been studied in this paper. It was found that firstly, its land use structure had been improved well and soil erosion quantity had also been decreased through ecological restoring. Secondly, forestry was the watershed matrix for that forestry had the biggest area and the most patch number. Patches had relatively simple shape, a bigger similarity among them, and a lower effective landscape area. Contrary to the lower evenness and bigger deviation, the diversity was higher relatively. Finally, the fragmentation of Nüerzhai watershed's whole landscape was not very high, however, the landscape type of residential area had the most highest fragmentation which was harmful for landscape eco-system steadiness. These results could offer some scientific basis and references for basin governing and ecological restoring, land use structure adjusting and landscape utilizing excellently.

Key words ecological restoration suitability, landscape pattern, watershed, soil erosion