

济南市南部山区渗漏带汇水区景观恢复与优化

王立红, 秦艳红

(山东师范大学人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 通过分析龙洞和渴马渗漏带所在汇水区地表景观格局, 发现龙洞流域自然景观占优势, 植被覆盖良好、景观聚集度高、林地破碎度低, 景观空间布局合理; 渴马流域虽然景观类型丰富、多样性高, 但农田等半自然景观占优势, 植被覆盖率低, 景观聚集度低, 而林地破碎度高, 地表景观呈退化趋势。前者的景观格局明显优于后者。这两个流域都有地表水汇流、入渗的生态功能, 地表景观格局的优劣影响到地表水源涵养和渗漏带入渗功能的发挥, 因而龙洞渗漏带的渗漏功能好于渴马渗漏带。从熵值角度, 通过两个流域间的比较分析找出了致使渴马流域景观格局不合理的驱动因素, 继而提出了在该流域内的景观格局空间优化措施。

关键词: 景观格局; 渗漏带; 流域; 熵; 水土流失

中图分类号: P94, X144

文献标识码: A

济南市南部山区是泉域地下水补给区, 分为直接补给区和间接补给区, 区内寒武系凤山组和张夏组灰岩及奥陶系八陡组等灰岩分布广泛。地下水直接补给区内部分沟谷、河道和洼地灰岩裸露, 发育了溶隙、溶洞或落水洞等喀斯特地貌, 表面覆盖有第四系松散沉积物, 形成了入渗系数较高的渗漏带, 现已确认了 24 个重点渗漏区。其中龙洞和渴马渗漏带渗漏系数可达 0.45, 是渗漏系数最高的两个渗漏带。但这两个渗漏带周围目前的生态状况截然不同, 龙洞渗漏带汇水区内人为干扰较少, 自然植被保存完好; 渴马渗漏带汇水区内植被覆盖度低、人为破坏严重, 甚至影响到其渗漏功能的发挥, 渗漏带汇水区的生态保护与恢复工作迫在眉睫。

1 研究区概况

本次研究选取的龙洞流域和渴马流域的范围均取自龙洞渗漏带和渴马渗漏带的汇水区范围, 龙洞流域面积为 3 506.06 hm^2 , 渴马流域面积为 9 301.95 hm^2 。它们都处于济南市南部山区地下水

补给区内, 龙洞流域处于补给区东北部, 渴马流域处于补给区中部。该区域范围属于温带大陆性季风气候区, 年均温 14 $^{\circ}\text{C}$, 年平均降水量 662.7 mm, 主要集中于 6~ 9 月份, 占全年降水总量的 70% 以上。两个流域内地表均覆以深厚的寒武纪石灰岩, 喀斯特裂隙发育良好, 降水能直接渗漏补给地下水, 并各有一个强渗漏带, 渗漏系数高达 0.45, 龙洞渗漏带内还有一天然发育的溶洞。龙洞流域周围山体地形起伏较大, 坡度较陡, 一般在 20 $^{\circ}$ 以上, 山体海拔约 600 m, 流域内有一季节性河流大辛河。渴马流域处于玉符河上游, 地貌类型主要为山间平原, 两侧山体高度较低, 海拔大多在 300 m 以下, 卧虎山水库处于该流域内。两个流域均在石灰岩母质上发育褐土, 渴马流域以普通褐土、潮褐土为主, 褐土性土较少, 龙洞流域内褐土性土面积较大, 还存在普通褐土和石灰性褐土。两个流域内树种主要为侧柏, 龙洞流域内原生植被较多, 渴马流域分布着大量农田, 林草植被较少。就社会经济状况来看, 龙洞流域以旅游业、工矿业为主, 渴马流域以种植业、养殖业、林果等为主。

收稿日期(Received date): 2004- 02- 11; 改回日期(Accepted): 2004- 05- 06。

基金项目(Foundation item): 山东省济南市环保局生态规划项目——济南南部山区重要生态功能区规划(2001)。[The ecological planning project of important ecological foundation area in Jinan Southern Mountain Region which is presided by Jinan City Shandong Province Environmental Protection Institute(2001).]

作者简介(Biography): 王立红(1963-), 女, 山东济南人, 副教授。主要从事景观生态学研究, 发表论文 30 余篇, 主编、参编著作 10 余部。[Wang Lihong, female, born in 1963, associate professor, specialized in landscape ecology. E-mail: wlh_sd@163.com]

2 研究方法

2.1 技术路线

对一个区域进行景观生态学研究, 首先必须对景观类型进行分类, 景观生态分类是从生态学的角

度对景观进行划分, 它既要能体现景观的综合性, 也要能表明景观的生态学意义^[1]。根据土地利用的方式属性, 将景观类型分为旱地、水浇地、有林地、灌木林地、疏林地、园地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河流、水库、滩地、城镇用地、农村居民点、工矿建设用地、裸岩地等类型(图 1)。

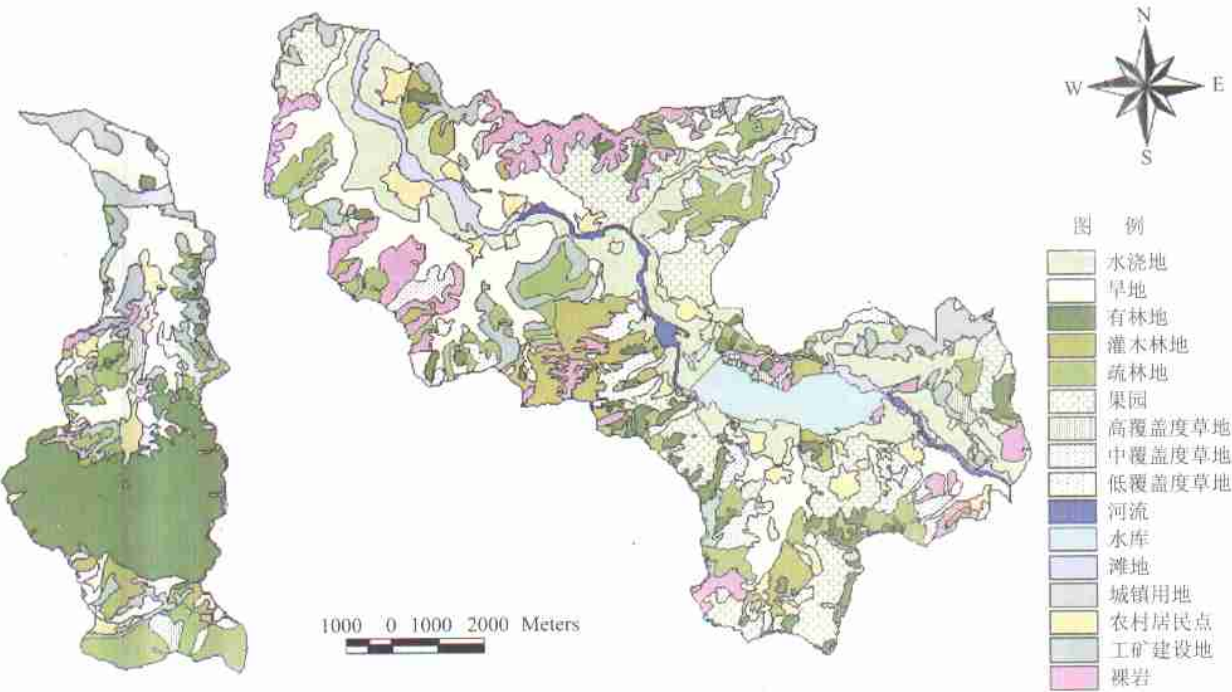


图 1 龙洞流域(左)、渴马流域(右)景观图

Fig. 1 The landscape map of Longdong watershed and Kema watershed

景观生态图的编制: 依据 2000 年遥感影像、地形图、土地利用图, 通过卫片解译和其他图件的综合分析以及野外调查, 编制了研究区的景观类型图。利用 ARC/INFO 软件对以上各图件进行计算和分析, 获得了相应的属性数据, 根据这些数据对研究区的景观格局进行分析。

2.2 景观格局指数

对景观空间格局与异质性的定量描述是分析景观结构、功能及过程的基础^[2]。本文选取景观比例、斑块密度、多样性指数、均匀度、聚集度、破碎度^[3,4]等指标进行分析。

2.2.1 景观比例(P_k)

$$P_k = (A_k / A) * 100\%$$

2.2.2 斑块密度(PD)

$$PD = n_i / A$$

2.2.3 多样性指数(H)

$$H = - \sum_{k=1}^m (P_k) \log_2(P_k)$$

2.2.4 均匀度(E)

$$E = (H / H_{\max}) \times 100\%$$

2.2.5 聚集度(C)

$$C = \left[1 + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \frac{P_{ij} \ln P_{ij}}{2 \ln(m)} \right] \times 100$$
$$P_{ij} = EE_{ij} / N_b$$

2.2.6 破碎度指数(FN)

$$FN = MPS(N_f - 1) / N_c$$

式中 P_k 为景观比例, A_k 为第 k 种景观类型的面积, A 为景观总面积, PD 为斑块密度, n_i 为第 i 种景观类型的斑块数, H 为景观多样性指数, E 为景观均匀度指数, C 为聚集度指数, P_{ij} 是生态系统 i 与生态系统 j 相邻的概率, m 是景观里生态系统类

型总数, EE_{ij} 是相邻生态系统 i 与 j 之间的共同边界长度, N_b 是景观里不同生态系统间边界的总长度。 FN 代表景观类型的斑块破碎化指数, MPS 是景观中各类斑块的平均斑块面积的方格网数, Nf 是景观中某一景观类型的总数, Nc 是景观数据矩阵的方格网中格子总数。

3 景观分析与评价

3.1 景观指数结果分析

龙洞与渴马流域景观类型基本相同, 但渴马流域更为丰富一些(图 2), 该流域内水域的面积更大并且更丰富一些, 除了水库外, 还存在河流、滩地等水域类型。由各景观类型的景观比例来看, 龙洞流域内有林地所占比例高达 35.71%, 明显高于其他景观类型, 占绝对优势, 而渴马流域旱地和水浇地所占比重最高, 二者总计达到 30.51%, 而该流域内有林地所占的比例不足 4%, 即使加上灌木林地和疏林地, 林地总的覆盖率也仅有 18.81%, 相当于龙洞流域有林地覆盖率的一半。龙洞流域林草景观总体

景观比例 59.24%, 渴马流域仅有 42.18%, 后者低于前者。就各景观类型的搭配来看, 龙洞流域除了有林地和旱地占优势外, 其他景观类型比例均较低, 总体来说自然景观占绝对优势, 虽然近邻济南市区, 但城镇用地、农村居民点、工矿用地三者之和不足 20%, 基于其所处的近郊位置, 该值属较低水平。渴马流域周围地势起伏不大, 旱地、水浇地、果园等种植景观分布较多, 但各景观类型间的比例差异不大, 总体来说以半自然景观为主。该流域内的自然景观中, 从有林地到灌木林地, 再到疏林地, 景观比例依次降低, 草地从高覆盖度草地到中覆盖度草地, 再到低覆盖度草地, 景观比例也依次升高, 由此可见, 该流域内的自然景观呈退化趋势, 这与龙洞流域形成极大的反差。虽然渴马流域水体景观较多, 但由于连年的降水偏少, 加之流域内生态环境的破坏, 除卧虎山水库水面较大外, 玉符河河道成为季节性河流, 河床经常裸露。渴马流域内的裸岩地比例高达 8.55%, 主要是采矿废弃地长期以来无任何恢复措施造成的。

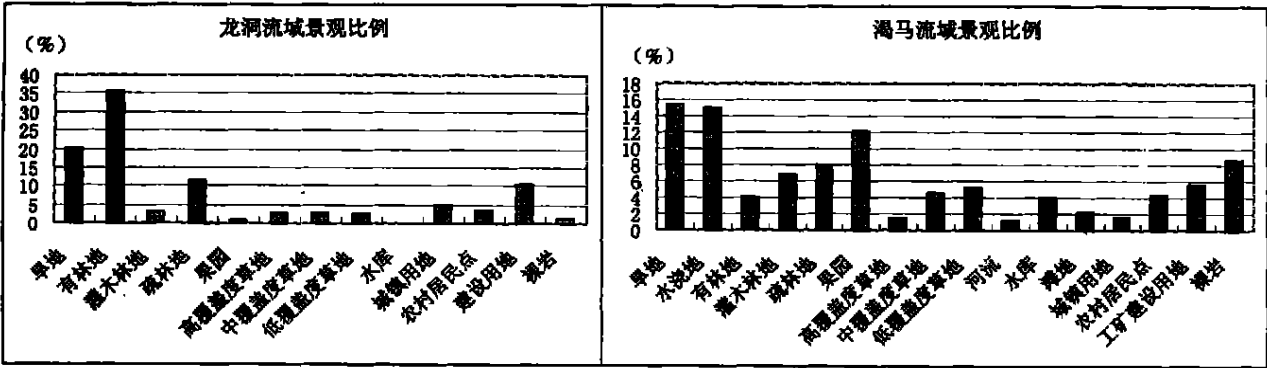


图 2 流域景观比例对比图
Fig. 2 Comparison of landscape propotion between two watersheds

两个流域的斑块密度差异不大(表 1), 但从斑块的空间分布来看, 渴马流域的景观多样性高于龙洞景观, 这与渴马流域内水体景观比龙洞景观丰富有关, 并且与渴马流域各景观类型之间比例差异不大也有很大关系。渴马流域的景观均匀度也高于龙洞流域, 一般来说, 对于自然景观而言, 多样性越高, 均匀度越高, 景观空间格局越合理, 但在渴马流域内半自然景观占支配地位, 景观多样性的丰富说明了该区的人为干扰较重, 这对景观总体格局是不利的。多样性和均匀度指数也反映出虽然龙洞流域内植被

覆盖良好, 但景观的多样性不足, 并且空间分布不够均匀。

表 1 流域景观格局指数对比					
Table 1 Comparison of landscape Indexes between two watersheds					
流域	斑块密度 (个/km ²)	多样性	均匀度	聚集度	林地破碎度
龙洞流域	3.508 2	1.946 5	0.758 9	58.928 7	0.260 2
渴马流域	3.504 6	2.532 5	0.913 4	50.444 7	0.331 3

聚集度的取值越大,代表景观由少数团聚的大斑块组成,聚集度取值小,则代表景观有许多小斑块组成。龙洞流域景观聚集度为 58.928 7,渴马流域景观聚集度为 50.444 7,前者高于后者,说明龙洞流域大的景观斑块起支配作用的程度较强。从景观图上可以看出,龙洞流域存在几个很大的植被斑块,这种斑块利于涵养水源、保持水土,能够对周围生态环境起到良好的支撑作用;而渴马流域少数较大的斑块基本上为农田、果园、水面,林地呈小块分布。林地破碎度龙洞流域比渴马流域高更说明了这一点。渴马流域内林地被其他景观类型分割成小的斑块,而龙洞流域内林地斑块规模较大,有利于相互之间连通性的发挥。

3.2 景观评价

龙洞流域林地覆盖率很高,自然景观占支配地位,该流域虽然存在多样性不足,景观空间分布不均等问题,但总体的景观格局还是较为合理的。该流域呈长条形分布,由南向北地势降低,山体坡度减缓,林地植被大多分布在上游山高坡陡处,林地呈大的斑块集中连片分布,形成良好的持水保土、涵养水源的作用,向下随着山体地势趋于和缓,林地、草地、耕地等相间分布,至最下游才基本上为农田、城镇用地等景观类型。因此这种上游为自然景观,并以林地为主,中间逐渐过渡为自然、半自然景观交错分布,下游为人工景观占优势,形成了一套良好的生态保护体系,有效地维护了该区的渗漏功能。

渴马流域林地覆盖率低,并且植被总体覆盖率也不高,虽然景观多样性较为丰富,但农田景观占优势,自然景观呈退化趋势,自然景观、半自然景观、人工景观均匀交错分布,增加了自然植被的破碎度,缺少大的林地植被斑块涵养水源、保持水土,河道破坏严重,部分渗漏带由于其上部建房、采砂等活动被严重破坏,渗漏带的渗漏功能逐渐减弱。

4 景观格局与水土流失的关系

流域作为完整的地理单元,可以看成是一个开放系统,流域中的截流、入渗、产汇流、侵蚀等状态可以用熵来描述^[5]。“熵”一词用以表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度^[6]。常用熵表示一个系统的混乱程度或无序程度。熵越大,系统越混乱;反之,熵越小,系统的有序性越高。要使一个系统保持稳定状态,必须不断地输入负熵流。一般来说,流

域中,一方面,存在着自然地质过程的地形夷平,由复杂、非均匀到简单均一的熵增过程,加之人们不合理的经营,破坏生态环境,加速了这种熵增过程;另一方面,是流域系统接受外部环境能量和物质输入产生自组织自调节行为^[7],流域的生物繁衍,水源涵养、地表覆盖、土体固结,这些都减缓甚至控制水土流失,加之人们合理的行为与大自然的协同,使流域在地表景观格局变化的同时,出现由简单到复杂,由低级到高级的熵减过程。上述两种力量消涨变化,决定了侵蚀流域熵变化的取向。

济南市南部山区是泉域地下水直接补给区,沟谷、河道和洼地等地段,灰岩裸露,发育了溶隙、溶洞或落水洞等喀斯特地貌,表面覆盖有第四纪松散沉积物,地下隐伏喀斯特发育,这样的地质结构形成了地下水入渗系数很高的渗漏区。要保持渗漏区的入渗功能,必须维护好其周围汇水范围内的生态环境,即不断输入负熵流。

流域内熵值的消涨变化主要是由自然因素和人为因素的双重作用形成的,但在较短的时间尺度上,自然地质过程变化并不明显,起主要作用的是人为因素。龙洞渗漏区和渴马渗漏区处于广泛发育的深厚的石灰岩地区,经历了同样的地质历史过程,龙洞渗漏区山体坡度较陡,地表起伏较大;渴马渗漏区位于玉符河上游河道上,地势低平,周围基本上为河滩地、农田,有小部分山体存在,两处土壤类型均为石灰岩母质上发育的褐土。因此,就水文地质状况而言,两者基本相同,就地形条件而言,龙洞汇水区较为复杂,在短时间的地质历史过程中,龙洞渗漏区由于地形条件的原因更易于发生水土流失,但二者分别所处的流域内生态条件差异很大,从而造成龙洞渗漏带的水源涵养状况明显优于渴马渗漏带。龙洞渗漏区周围植被覆盖良好,林木总覆盖率近 60%,自然景观保存完整,较少受人类干扰,是济南市南部山区少数几个植被覆盖良好的区域之一,是直接补给区内植被覆盖最好的区域,并且景观空间格局搭配合理,流域内负熵流得以源源不断地输入。而渴马渗漏区周围基本上为农田,林木覆盖率低,人为干扰强烈,开山采石较为普遍,采矿废弃地成为裸岩地,基本未采取恢复措施,景观聚集度低而破碎度高,渗漏区周围河道挖沙和河道内垃圾堆放现象严重,并且近年来这一地区房地产开发热及一时,这一系列的作用促成了熵增过程的发展,使区域生态环境趋于恶化,主要表现为水源涵养量减少、水土流失

严重、渗漏带地表水入渗量减少等。

5 景观恢复与优化措施

通过以上研究分析可以看出,同为渗漏系数极高的渗漏带,但由于流域内地表景观的不合理,造成了渴马渗漏带的渗漏功能低于龙洞渗漏带。因此,可以从调整土地利用方式、优化景观格局入手,以龙洞流域的景观格局为参照,进行景观生态建设与恢复,不断输入负熵流^[8],来提高渴马渗漏带的渗漏功能。

渴马流域的绿化必须遵循山地植被演替规律^[9]。不论乔、灌、草、藤本,只要能长出来,活下去,都是选择的对象,因此,要适山适草,适地适树,见缝插针,先草后木,草木结合,由上到下的进行。山体一般可分为:山顶、陡崖、立坡、缓坡、山脚等几部分,逐步进行绿化,山顶突起为圪,常年干旱,可在春季或雨季播放草种;陡崖段,山势险峻,可用藤木植物的种子粘成湿土球或用扦插苗带土球,见缝插针埋入石缝间;立坡地,可选择先锋树种进行栽种;缓坡地段,采用修筑梯田,田面外高内低,种植花椒、山楂等;堰坡可用金银花、酸枣、枸杞、无味子、连翘等护堰;山脚一般要退耕还林,修筑更加宽阔的梯田,适当发展经济林、果园等,也可林粮间作,以达到层层绿化,各具特色的绿化新模式,与此同时,有计划地修筑山路和各种类型的蓄水池、拦水坝或小水井。此外,流域中心地带沿玉符河两侧、田间、村落周围也必须实施相应的绿化措施。

石灰岩山区由于地表土壤条件的限制,绿化措施较难进行,应以生物措施与工程措施并举。该区域的土壤类型为褐土,普遍存在的问题是土层薄、土壤结构疏松、有机质和养分含量低。针对这种土壤条件,树种筛选应遵循以下原则:①生长快、根系发达、适应性强、抗逆性好,落叶丰富、易于分解、易形成松软的枯枝落叶层,利于提高土壤的保水保肥能力;②优先选择固氮树种;③尽量选择当地优良的乡土树种和先锋树种,也可引进外来速生树种;④选择树种时不仅要考虑经济价值高,更主要是树种的多功能效益,主要包括抗旱、抗风沙、耐瘠薄、抗病虫害以及具有较高的经济价值。

研究资料表明,石灰岩山地的适生树种全山东省仅有 44 种(包括 3 变种,1 栽培种)分属 19 科、30 属,其中乔木 18 种,灌木 20 种,藤本 6 种^[10]。虽然

种类不多,但都表现出强大的生命力,在同样立地条件下,较之其他种类根系发达,生长旺盛,树体高大,甚至在土层极瘠薄的条件下亦可生长,所以被称为石灰岩山地的适生树种。济南本地石灰岩山区较适宜的乔灌木树种有:侧柏、麻栎、槲栎、朴树、小叶朴、绣线菊、刺槐、本氏木兰、小叶锦鸡儿、胡枝子、臭椿、火炬树、酸枣、荆条、枸杞等。草本植物在山区绿化中起着极其重要的不可替代的作用,白羊草、黄背草、长芒草、小花山桃草等,都是石灰岩山地生长的先锋植物。

该流域内渗漏带处于玉符河河道上,必须停止在河道周围的采砂、建房等破坏活动,沿河道两侧建立防护林带,一方面可减少由两侧流向河道的泥沙对河道的淤积、增强渗漏带表面对水分的调蓄功能,增加入渗;其次,防护林带能够拦截两侧农田中的农药、化肥随雨水的冲刷进入河流,污染水体;最后,河道两侧绿色廊道的构建可以起到联系周围生境、增强斑块间的连通性,构建完整的区域生态环境的功能。

在村落周围、田间等处采取以用材林、经济林木与护沟、护路林带相结合的农田林网式配置,以及以村庄为中心的林农间作模式与居民点四周的庭院经济树种结合的网点式配置。用材林树种可选择毛白杨,该树种速生丰产,在美化居民点环境的同时,苗木培育和成材后还可以为当地居民带来经济效益;经济林树种可以选择苹果、核桃、花椒、山楂、板栗等。

参考文献(References):

- [1] Yan Chuanhai, Song Yongchang. A study on the landscape ecological Strategies in the southern shandong Province[J]. *Ecologic Science*, 1997, 16(1): 88~ 92. [阎传海, 宋永昌. 山东南部景观生态对策研究[J]. 生态科学, 1997, 16(1): 88~ 92.]
- [2] Wang Xianli, Xiao Duning, Bu Rencang, et al. Analysis on landscape patterns of Liaohe Delta Waterland [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 317~ 323. [王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 317~ 323.]
- [3] Fu Bojie, Chen Liding. Landscape diversity types and their ecological significance[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(5): 454~ 462. [傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 454~ 462.]
- [4] Wu jianguo. Landscape Ecology: pattern, process, scale and hierarchy [M]. Beijing: Higher Education Press, 106~ 109. [郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 12.]
- [5] Shi Guangxin, Yin Chengxin. Benefit evaluation model and its application[J].

- plication on small watershed control on the basis of information Entropy[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1999, **19**(5): 38~ 40. [时光新, 尹成信. 基于熵的小流域治理效益评价模型及其应用[J]. 水土保持通报, 1999, **19**(5): 38~ 40.]
- [6] Zhou Renlong, Xu Qiaoli. General Physical Geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 28~ 35. [周人龙, 徐樵利. 综合自然地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989. 9.]
- [7] Xu Jianhua, Gao Yujing. The self organization way, influencing factors and entropy change of geographical system evolution[J]. *Journal of Systemic Dialectics*, 2001, **9**(3): 53~ 57. [徐建华, 高玉景. 地理系统演化的自组织途径、影响因素及熵标志[J]. 系统辩证学学报. 2001, **9**(3): 53~ 57.]
- [8] Li Xinjuan. The discussion on entropy and soil and water loss[J]. *Water Conservancy and Electricity Technique of GanSu Province*, 2002, **38**(2): 139~ 143. [李欣娟. 试论熵与水土保持[J]. 甘肃水利水电技术. 2002, **38**(2): 139~ 143.]
- [9] Shi Minhua, Li Yongsheng, Zhang Jinying, et al. Study on vegetation recoverage in calcareous mountain prohibited Area[J]. *Shanxi forest technique*, 1995, **9**(3): 9~ 12. [史敏华, 李永生, 张晋英, 等. 石灰岩山地封禁区植被恢复的研究[J]. 山西林业科技. 1995, **9**(3): 9~ 12.]
- [10] Li Jian, Xi Jinbiao. Tree species resource of suited survival in limestone mountain of Shandong Province[J]. *Environment and Development*, 2000, **15**(2): 11~ 13. [李健, 郗金标. 山东省石灰岩山地的适生树种资源[J]. 环境与开发, 2000, **15**(2): 11~ 13.]

Landscape Restoration and Optimizaton in Water Infiltrating Area of Southern Jinan Mountain Region

WANG Lihong, QIN Yanhong

(College of Population, Resourse and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014)

Abstract: By analyzing landscape patterns of Longdong watershed and Kema watershed, the study found that has special natural landscape the Longdong watershed involving good vegetation coverage, high congregation, low forest fragmentation, and rational landscape spatial distrabution. In contrast, although there is more landscape type and high diversity in Kema watershed, it is dominated by semi-natural landscape such as cropland, and it has low vegetation coverage, low congregation, high forest fragmentation. So Longdong watershed's landscape pattern is obviously better than Kema watershed. The two watersheds take on the ecological founction of collecting surface water and infiltrating. The condition of landscape pattern can greatly influence water resource conversation and the founction of infiltration, so the function of infiltration is stronger in Longdong watershed than in Kema watershed. From the theory of entropy, the article finds out driving forces which lead to irrational landscape patterns in Kema watershed by comparison between the two watersheds, and then it put out countermeasures aiming at optimizing the landscape pattern

Key words: landscape pattern; infiltration area; watershes; entropy; water and soil loss