

基于景观格局定量分析的流域治理

——以文峪河流域为例

张芸香², 白晋华, 郭晋平

(山西农业大学林学院景观生态研究所, 山西 太谷 030801)

摘 要: 以航片、森林资源调查资料和林相图为基础资料, 在地理信息系统软件及数据库管理系统的支持下, 应用景观多样性指数、景观要素优势度指数、类斑形状指数、景观要素斑块分数维等景观格局分析指标, 对流域景观空间总体分布、景观组成结构、景观要素斑块形状特征进行分析, 揭示了山西文峪河流域植被景观的总体格局。基于分析成果, 针对目前文峪河流域植被景观格局存在的问题, 建议在今后的流域管理和建设中应开展的工作, 即上游及中高海拔带重点进行寒温性针叶林保护; 中下游山地积极增加阔叶林, 营造混交林; 河谷重点开展河岸植被和河岸林规划设计和建设。

关键词: 景观格局; 河岸带植被; 流域治理; 文峪河流域

中图分类号: Q 149, X 14

文献标识码: A

流域景观格局对流域生态过程具有直接的决定性的影响或控制作用, 流域河岸植被景观格局对流域各种生态过程的意义自 20 世纪 80 年代以来逐渐成为生态学家、林学家和资源管理研究人员的研究热点^[1-3]。流域上游的植被覆盖和土地利用格局, 特别是林业经营活动及其对森林景观格局的改变, 对整个流域的生物多样性、流域水文状况和水质都有直接的影响^[4,5], 并对整个流域的生态安全和社会经济可持续发展产生影响^[6]。加强流域生态保护和建设, 重视流域生态规划, 必然要求对流域景观格局与生态过程之间的相互关系有比较全面和深入的理解^[7]。北美林业发达, 环境条件优越的加拿大、美国等国家已把流域森林景观格局研究提到保障流域生物多样性、人类游憩、水源水质、渔业和狩猎资源的高度, 并以法规的形式将研究成果纳入景观管理实践中^[3,8,9]。对河岸森林在景观物质、能量和物种流动过程中的过滤功能、廊道功能和栖息地功能及其动态过程的研究, 揭示了河岸森林对河流

水质、生物多样性、泥沙沉积和河谷地貌的影响和控制机制^[10,11], 提高了人们对流域系统整体性的认识, 对流域可持续管理起到了巨大的推动作用^[12,13]。在此基础上进行河岸景观规划和景观重建设计、河岸景观植被缓冲带设计等被普遍认为是流域管理、保护和建设的科学途径^[1,14]。因而正成为国际景观生态学的一个前沿研究领域。

我国作为一个少林国家, 又有独特的黄土高原地貌, 对于植被水土保持效益的研究历来十分重视, 对森林和其他植被类型的水文效应和水土保持效应的研究很多, 特别是在小尺度上对森林群落组成、结构与局部小气候、土壤和局部水文之间的相互影响开展了大量研究工作, 并取得了举世瞩目的成果^[15-17]。但是, 在景观和流域尺度上, 对高地森林及河岸森林景观格局与流域生态过程之间相互关系的研究, 还刚刚开始, 尽管国内对应用景观生态学原理和方法, 研究流域景观格局与过程之间关系的迫切性和重要意义已经有了普遍的认同^[7,14,18-22], 但

收稿日期(Received date): 2004- 01- 11; 改回日期(Accepted): 2004- 04- 20。

基金项目(Foundation project): 国家自然科学基金(30070605)、教育部优秀青年教师资助计划(2002350)和山西省自然科学基金(20001090)资助。[Support: Supported by NSFC(30070605), EYTP(2002350) and NSF of Shanxi(20001090).]

作者简介(Biography): 张芸香, 女, 1965 年生, 硕士, 讲师。主要从事森林景观生态和森林培育的教学和科研工作。[Zhang Yunxiang(1965-), MaF., Lecturer, major in research and education of silviculture and forest landscape ecology.]

这方面的研究成果却很有限,尤其是对森林景观格局及其动态与流域水文效应之间的关系缺乏有力的量化研究成果,现有的小流域治理成果简单地外推,很难阐明高地景观格局对流域管理的重大意义,森林可持续性的主要控制因素和机制还有许多不确定性,还不能为森林景观整体综合经营管理提供指导^[14,23]。因此,实现流域可持续发展迫切需要对林区景观格局与流域生态效应之间相互关系进行研究,为解决森林可持续经营及持续什么和如何持续等基本问题提供依据。

关帝山林区在华北山地天然次生林中具有典型代表意义,历来受到许多研究人员的重视,在植被分布、群落类型、组成结构、种群和群落动态等方面取得了一些研究成果^[24-28]。近年来对该林区森林景观要素组成结构、空间格局和分布规律,以及森林景观动态的研究,取得了显著成果^[20],有利于对该地区的进一步深入研究。

1 研究地区概况

文峪河是汾河上游重要的一级支流,地处太原盆地西北,是下游与汾河交汇区大面积农田灌溉的水源地,整个流域属于关帝山山地天然次生林区,以国有林为主,是山西有限的天然次生林资源的重要分布区。流域山地主要由森林植被覆盖,尽管受到来自多方面的压力,森林植被在艰难的条件下,得到了保存和发展,不仅在涵养水源、保持水土、维护景观异质性和稳定性等方面起着不可替代的作用,同时也为社会提供了大量的林产品、生态服务、就业机会和当地居民收入等。文峪河流域的地理位置在 $111^{\circ}25' \sim 112^{\circ}5' \text{ E}$, $37^{\circ}28' \sim 37^{\circ}54' \text{ N}$ 。流域总面积 $1\,842.3 \text{ km}^2$,下游有库容量达 $10\,500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的文峪河水库;最高海拔 $2\,838.7 \text{ m}$,最低海拔 780.5 m ,平均坡度 17.8° 。山高坡陡,一旦植被破坏,土壤很容易被侵蚀流失。流域的气候属季风控制下的暖温带大陆性山地气候,年均温 4.2°C ;7月均温 17.5°C ,1月均温 -10.2°C ;多年平均年降水量 822.6 mm ,年蒸发量 $1\,100 \sim 1\,500 \text{ mm}$,相对湿度 70.9% ;由于次生植被深受人为活动的影响,斑块破碎,分布规律不十分明显,但基本表现为沿海拔高度呈带状分布格局^[29],由低海拔到高海拔,主要分布有温性针叶林、山地落叶阔叶林、寒温性针叶林、亚高山草甸、亚高山山地灌丛等,在局部受到人为破坏和干旱

陡峭的阳坡,分布着稀疏灌草丛,主要树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、云杉(青扦 *Picea meyeri*、白扦 *P. wilsonii*)、白桦(*Betula paltiphylla*)、红桦(*B. albo-sinensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、辽东栎(*Quercus laotungensis*)等,河谷地段分布有沙棘(*Hippophae umbellata*)、山柳(*Sarixsp.*)、皂柳(*S. walliciana*)、青杨(*P. cathayana* Rehd.)等^[31],还有毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)、新疆杨(*P. alba* L. var. *pyramidalis* Bge.)等栽培树种。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究的基础资料为文峪河流域1999年航片(由国家基础地理信息中心航摄,比例尺1:25 000),辅以森林资源调查(1996年)及补充调查(2001年)资料(由山西省关帝山森林经营局勘察设计院提供),包括小班调查簿和林相图(1:25 000)等;以研究地区1:50 000地形图为基础,进行航片判读、勾画、校正、转绘、清绘、扫描步骤后,用Geoway软件进行矢量化处理,生成数字景观图层,获得各斑块面积、周长、空间关系及空间分布等信息,最后只需进行数据库关联、属性数据库转出,即可获得景观空间格局分析的基础数据,利用Visual FoxPro数据库管理系统,对数据库进行管理和分析。

2.2 景观要素分类

根据研究地区的景观特点,结合本研究的目的和总体研究项目对关帝山林区景观要素的分类系统,确定了以土地利用类型及森林群落优势树种为主要依据的景观要素分类体系^[29],将其划分为有林地、疏林地、灌木林地、草甸、耕地、河流、村庄等共18种景观要素类型,见表1。

2.3 景观空间格局分析指标

2.3.1 斑块形状指数

斑块形状指数是斑块周长与相同面积圆形斑块周长之比。指数越接近1,说明斑块的形状越接近圆形,指数数值越大,说明斑块形状越复杂。某一类板块的形状指数计算公式为^[30]

$$SI_i = \frac{1}{2\pi A} \sum_{j=1}^{N_i} P_{ij} A_{ij} \quad (1)$$

式中 SI_i 第类景观要素斑块的形状指数; P_{ij} 是第 i 类的景观要素第 j 个斑块的周长; A_{ij} 是第 i 类的景观要素第 j 个斑块的面积。

表 1 文峪河流域景观要素分类系统

Table 1 Landscape element classification system in Wenyuhe watershed

一级分类	二级分类	三级分类	一级分类	二级分类	三级分类
林地 Closed forest (CF)	寒温性针叶林	落叶松林	疏林 ②	疏林	疏林
		云杉林	灌丛 ③	灌丛	灌丛
		落云混交林	草甸 ④	草甸	草甸
		落叶松阔叶混交林	迹地 ⑤	迹地	迹地
	山地落叶阔叶林	阔叶林	稀疏灌草丛 ⑥	稀疏灌草丛	稀疏灌草丛
		油松阔叶混交林	耕地 ⑦	耕地	耕地
		阔叶油松混交林	河流 ⑧	河流	河流
	温性针叶林	油松林	村庄 ⑨	村庄	村庄
人工幼林 ①	人工幼林	人工幼林	其他 ⑩	其他	其他

①Artificial plantation (AF), ②Open forest (OF), ③Brush (BS), ④Meadow (MD), ⑤Slash (SS), ⑥Thin brush (TB), ⑦Farmland (FM), ⑧River (RV), ⑨Residential area (RA), ⑩Others (OT)

2.3.2 斑块分维数

斑块边界分维数用来定量描述空间客体边界的复杂程度,类斑块边界分维数直接反映同类斑块边界构图的复杂性。当边界分维数接近 1 时,说明该类斑块的形状接近于正方形或圆形,边界分维数值越高,说明该类景观要素斑块形状越复杂。由曼德布罗特提出的小岛法简捷而适用^[30]。其公式为

$$Df_i = 2 \frac{\sum_{j=1}^{N_i} \ln A_{ij} \ln p_{ij} - \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \ln A_{ij} \sum_{j=1}^{N_i} \ln p_{ij}}{\sum_{j=1}^{N_i} (\ln A_{ij})^2 - \frac{1}{N_i} \left(\sum_{j=1}^{N_i} \ln A_{ij} \right)^2}$$

其中 $i = 1, 2, 3, \dots, m$ (2)

式中 Df_i 是第 i 类景观要素的边界分维数, A_{ij} 是第 i 类的景观要素第 j 个斑块的面积, P_{ij} 是第 i 类的景观要素第 j 个斑块的周长。

2.3.3 景观多样性指数

景观多样性可以定量地描述为景观中景观要素斑块的不确定性,可以反映景观异质性,Shannon-Weaner 指数是常用的定量指标^[30]

$$H = - \sum_{i=1}^N AP_i \log_2 AP_i$$

其中 $AP_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} A_{ij}}{A}$ (3)

式中 H 是景观多样性指数, AP_i 是第 i 类景观要素面积占景观总面积的比例, N 指景观要素类型个数。各类景观要素面积相等时的景观多样性指数最大,用 H_{\max} 表示

$$H_{\max} = - \log_2 (1/N) = \text{Log}_2 N$$

景观均匀度指数就是实际多样性和最大多样性之比,是景观多样性的相对值。其计算公式为

$$E = H / H_{\max}$$

2.3.4 景观要素优势度指数

景观要素优势度用于度量景观中一种或几种景观要素对整个景观格局的支配或控制程度^[30]。其计算公式为

$$D_i = \frac{1}{4} DP_i + \frac{1}{4} DF_i + \frac{1}{2} DC_i$$
 (4)

式中 DP_i 是第 i 类景观要素的相对频度,即第 i 类景观要素斑块数占所研究的景观总斑块数的百分比; DF_i 是第 i 类景观的相对频度,是景观网格样点中第 i 类景观要素斑块出现的样点数占总样点数的百分比; DC_i 为第 i 类景观要素的相对盖度,即景观中该类景观要素总积占景观总积的百分比,或景观网格取样时,某类景观要素的取样面积占总数取样面积的百分比。

2.3.5 生境破碎化指数

生境破碎化指数,也叫平均接近指数,用来描述景观中某一生境类型在给定时间里和给定性质上的破碎化程度。景观的破碎化程度,反映景观空间结构的复杂性,本研究采用单位面积上各种嵌块体的数目即景观要素斑块密度 PD_i 来表示^[30]

$$PD_i = \frac{\sum N_i}{A_i}$$
 (5)

式中 $\sum N_i$ 表示景观类型 i 的斑块总数。 A_i 来表示景观中某类景观要素斑块面积的总和。景观的破碎度反映的是单位面积上斑块个数的多少, PD_i 值越大,表明景观要素类型 i 破碎化程度越大。

2.3.6 分离度指数

景观分离度是指某一景观类型中不同斑块个体分布的分离程度。其计算公式为

$$F_i = \frac{D_i}{S_i} \quad \text{其中} \quad D_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum N_i}{A}}; S_i = \frac{A_i}{A} \quad (6)$$

式中 F_i 为景观类型 i 的分离度; D_i 为景观类型 i 的距离指数; S_i 为景观类型 i 的面积指数。 A 为研究地区景观总面积。 分离度值越大, 表明景观在地域分布上越分散, 景观分布越复杂。

3 流域植被景观空间格局分析

3.1 景观空间总体分布特征

利用 GIS 建立了流域植被景观图(图 1)。对图 1 的直观分析不难看出, 整个流域以林地为主体, 耕地、疏林和灌丛占相当比例, 其他类型镶嵌于其中, 河流贯穿整个景观。 经计算分析, 流域景观多样性指数为 3.15, 均匀度为 0.76, 纵观整体的斑块密度为 0.64 块/hm², 景观异质性较高, 但与流域上游地区(多样性 3.83, 均匀度 0.85, 斑块密度 3.1 块/hm²[29])相比, 均明显偏低, 从下游到上游, 由中心到边界, 景观中的斑块规模有逐渐减小的趋势, 斑块类型也逐渐增加, 异质性从下游到上游、从近河谷区到远离河谷边界区呈上升趋势。 这种格局

源于上游和高海拔带地形复杂, 环境异质性高, 人为干扰相对较轻, 自然植被比较完整, 保留了一些演替后期植被类型[31]。 流域中游地段的景观以油松阔叶混交林大型斑块为主, 且呈连续块状分布。 下游低海拔地段的人为活动频繁, 干扰强烈, 自然植被以灌丛为主体且退化严重, 农田和村庄等人工景观要素增加。

3.2 景观组成结构分析

3.2.1 景观总体一级组成结构分析

以流域景观图数据库为基础, 并应用公式(4)计算各类景观要素的优势度, 结果见表 2。

由表 2 可见, 文峪河流域植被景观由 11 类一级景观要素组成, 平均斑块面积 1.5 hm²。 其中, 林地面积 817.4 hm², 占总面积的 44.37%, 斑块总数 491, 其景观要素优势度达 0.630 5, 远远高于其他类型, 是流域植被景观的主体, 林地对流域景观组成结构和流域过程有较强控制作用, 但与上游局部地区(1992 年的林地覆被率 57.44%)相比差别较大, 作为重要的水源涵养林区, 森林覆被率不高。 流域中的耕地有 114 个斑块, 面积 249.7 hm², 占总面积的 13.55%, 优势度为 0.134 8, 空间上主要分布于主河道两侧河谷坡地和主要一支流河谷坡地, 是河流泥

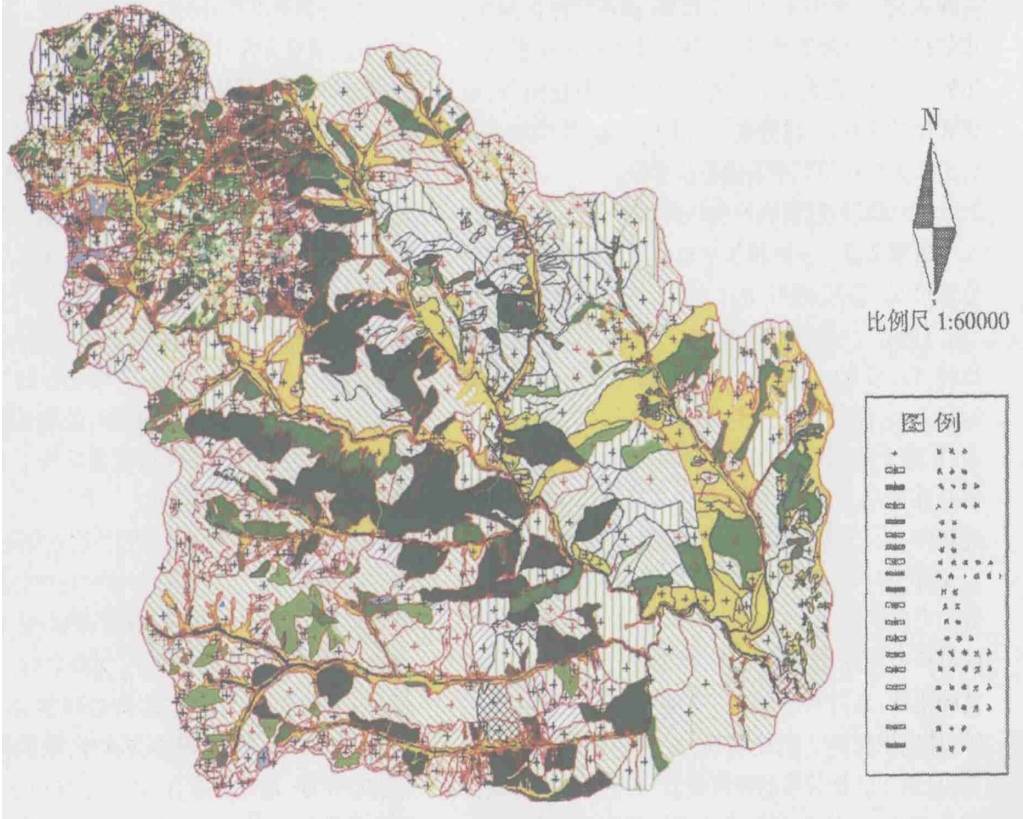


图 1 文峪河流域数字化植被景观图

表 2 文峪河流域一级景观要素类型的面积、斑块数量及其优势度

Table 2 Areas, patch numbers and dominance index of first level landscape element and different forest types in Wenyuhe watershed

景观要素	面积(hm ²)	面积(%)	斑块数	优势度	森林类型	面积(hm ²)	面积(%)	斑块数	优势度
林地	817.4	44.37	491	0.6305	阔油混交	25.9	3.17	13	30.56
人工幼林	3.0	0.16	3	0.0279	油松林	94.4	11.55	56	26.52
疏林	229.3	12.44	182	0.1956	阔叶林	14.5	1.77	55	16.85
灌丛	314.5	17.07	193	0.2016	落阔混交	32.7	4.00	66	10.26
草甸	37.9	2.06	20	0.0039	油阔混交	566.7	69.33	172	32.19
迹地	30.2	1.64	57	0.0439	阔落混交	7.1	0.87	13	1.84
稀疏灌草丛	59.2	3.21	19	0.0578	落云混交	43.3	5.30	20	2.63
耕地	249.7	13.55	114	0.1348	云杉林	18.4	2.25	11	0.69
河流	89.4	4.85	1	0.0231	落叶松林	14.4	1.76	50	3.04
村庄	6.3	0.34	132	0.0201					
其他	5.4	0.29	11	0.0102					
合计	1842.3	100.00	1223	1.0000					

沙沉积物的主要来源。灌丛和疏林地 在流域景观中也占有重要的地位,其面积 314.5 hm²,优势度 0.2016,密灌丛植被和疏林地 在流域水土保持和植被恢复中有重要的作用。整个流域中的采伐迹地有 57 块,占林地面积的 1.64%,这个采伐比率对于山高坡陡的水源涵养林区来说偏高^[10]。河流和村庄的优势度均在 0.02 左右,但河流 1 个斑块,面积却占到 4.85%,村庄有 132 个斑块,面积仅占 0.34%。草甸是另一类较为特殊的斑块,其面积占总流域面积的 2.06%,但由于它一般局限于分布在山顶、山脊和极少数沟谷,优势度仅为 0.0039。其他地类和人工幼林地在景观中的地位很有限。

3.2.2 流域植被景观的森林类型构成分析

由表 2 进一步对植被景观的森林类型构成进行分析可见,油松阔叶混交林有 172 个斑块,面积 566.7 hm²,占流域总面积的 30.80%,占林地总面积的 69.32%,优势度 32.19,加上油松林,面积 94.4 hm²,优势度 26.52,两者呈相对集中连片分布,在整个流域的森林植被景观中居于主体地位。阔叶林有 55 个斑块,面积仅占林地面积的 1.77%,优势度 16.85,加上以阔叶树种为优势树种的各类混交林,占林地面积的 24%,也是流域森林植被景观的重要组成部分,在森林景观恢复和景观多样性的维持中发挥着重要作用。寒温性针叶林(云杉林、落叶松林、落叶松云杉林)的分布局限于较高海拔带,其抗干扰能力也比较弱,对立地条件的要求较高,且属于演替后期的群落类型,面积不超过林地面积的 10%,在景观中的优势度低于其他森林类型,其中落叶松的空间扩展能力和抗干扰能力比云杉略

强,其斑块数和优势度均较其他两类高,但由于落叶松纯林在受到局部偷砍乱伐等干扰后,空地中容易出现阔叶树更新,形成混交林,总面积不大。而在上游保护区范围内由于干扰相对较轻,云杉林的分布增加,面积占 2.25%,优势度 0.69。

3.3 景观要素斑块形状特征分析

3.3.1 一级景观要素斑块形状特征分析

为分析景观要素的斑块形状特征,用公式(1)和(2)分别景观要素计算各类斑块的形状指数和类斑边界分维数,结果见表 3。分析可知,整个流域各类斑块平均形状指数为 1.54,其中稀疏灌草丛的形状指数最高,其余依次是河流、耕地、林地和灌丛,都超过了平均值。整个流域中自然景观的平均分数维为 1.39,形状指数较小的则为村庄和疏林,均为 1.24。流域各个景观要素中分数维最大的是耕地,为 1.69,边界分数维较高的类型还有疏林、草甸、灌丛等。耕地这一特殊的类型,其形状指数与分维数都高于林地,分别为 1.72 和 1.69,说明其斑块边界和斑块整体形状都复杂,也从侧面反映了人为干扰对整个流域景观格局的影响。

3.3.2 植被景观各森林类型斑块形状特征分析

由表 3 进一步对林地各森林类型的类斑形状指数和类斑边界分维数进行分析可知,整个流域植被景观中各森林类型斑块的形状指数和分维数均较低,都没有超过 1.5,尤其是油阔混交林,分别为 1.28 和 1.237。除落阔混交林外,寒温性针叶无论是斑块密度,还是分维数,均低于其他林分类型,尤其是分维数,都在 1.12 以下,结合其优势度指数分析可知,寒温性针叶林在整个流域中仅限在海拔

表 3 文峪河流域一级景观要素和各森林类型
斑块形状特征分析表

Table 3 Patch features of landscape elements of first classification level and different forest types in Wenyuhe watershed

景观要素	形状指数	分维数	景观要素	形状指数	分维数
林地	1. 68	1. 27	阔油混交林	1. 43	1. 390
耕地	1. 72	1. 69	油 松 林	1. 46	1. 352
疏林	1. 24	1. 65	阔 叶 林	1. 35	1. 470
草甸	1. 26	1. 64	落阔混交林	1. 25	1. 324
灌丛	1. 58	1. 58	油阔混交林	1. 28	1. 237
稀疏灌草丛	1. 83	1. 43	阔落混交林	1. 32	1. 250
人工幼林	1. 13	1. 02	落云混交林	1. 22	1. 116
迹地	1. 33	1. 01	云 杉 林	1. 38	1. 115
河流	1. 81	——	落 叶 松 林	1. 45	1. 102
村庄	1. 24	1. 11			
其他	1. 49	1. 34			

地带分布,且大多在流域的上游保护区地带,在流域下游的高海拔处,仅有残存的星点分布。与寒温性针林比较,山地落叶阔叶林与温性针叶林的分维数与形状指数均处于较高水平,斑块边界和整体形状都比较复杂。

3.4 景观异质性分析

异质性作为景观的基本属性或景观一种结构特征,对景观的功能和过程有重要影响。它可以影响资源、物质或干扰在景观中的传播。运用公式(5)、(6)对二指标进行计算,结果如表4。分析可见,流域中的11个一级景观要素类型斑块间的分离度指数差异明显高于其斑块破碎化差异。分离度变动范围在2.18~7 545.34间。其中,人工幼林的分离度最大为7 545.34,其生境破碎化指数也达到0.99;

其他类型的分离度也仅次于人工幼林和草甸,为2 203.73,破碎化指数2.03;河流(道路)在整个流域中分布也很特殊,生境破碎化指数仅为0.01,生境分离度指数却达442.05。表明其虽为一个连通性整体,但由于受到沟谷、山脊、村庄等的分割,各部分间彼此处于分离状态。村庄的破碎化指标最高,达到了27.92,分离度也较高,为485.15。作为流域景观中主要的干扰源,其破碎化斑块的分散分布,对流域景观的异质性和破碎化有着重要的作用。迹地是又一类值得引起注意的类型,破碎化指数也高达1.89,分离度指数173.64,它是人为干扰最直接的体现,且干扰的后果直接体现在林地斑块的破碎化和林分质量的下降,而森林生境的破碎化又直接威胁生物多样性的维持和濒危物种的保护。因此迹地类型斑块的破碎化、分离度指标乃至其斑块数量和面积,在流域景观生态管理和建设中,均应引起关注和重视。疏林、稀疏灌草丛、灌草丛在流域景观中的分离度也很低,破碎化也处于相当低的水平,但其相当比重的斑块数量与面积,对整个流域中植被景观的恢复,也有着十分重要的作用。耕地,在流域的整个生态系统中起着十分重要的类型,斑块破碎化指数也仅为0.46,分离度指数不高,为14.83,表明其分布相对集中。林地中的8个森林类型,云杉林和阔叶林的破碎化指数与分离度指数遥遥领先于其他类型,分别为2.00、32.41和2.06、10.55,处于不同演替序列上的两类均处于分散程度。落叶松的斑块破碎化与分散度均优于落云混交林,油松林的聚集度要差于油阔混交林。由油松与阔叶林组成的混交林在流域中的集中程度相当,但以油松为主形成的混交林其破碎化远低于阔油混交林。

表 4 文峪河流域一级景观要素和各森林类型斑块异质性分析表
Table 4 Heterogeneity of first classification level and different forest types in Wenyuhe watershed

景观要素类型 (一级分类)	生境破碎化 指数 C_i	分离度指数 F_i	林地景观类型 (二三级分类)	生境破碎化 指数 C_i	分离度指数 F_i
林地	0. 60	2. 18	落云混交林	0. 46	204. 11
人工幼林	0. 99	7 545. 34	落 叶 松 林	3. 47	387. 97
疏林	0. 79	12. 78	云 杉 林	0. 60	647. 01
灌丛	0. 61	9. 05	落阔混交林	2. 02	148. 76
草甸	1. 38	2 405. 67	阔 叶 林	3. 79	366. 99
迹地	1. 89	173. 64	阔油混交林	1. 85	153. 42
稀疏灌草丛	0. 34	77. 74	油阔混交林	0. 59	56. 04
耕地	0. 46	14. 83	油 松 林	0. 30	5. 32
河流	0. 01	442. 05	阔落混交林	1. 83	5. 18
村庄	27. 92	485. 15			
其他	2. 03	2 203. 73			

4 结论和讨论

纵观景观总体, 整个流域呈复杂破碎地形与沿河道沟谷延伸为主的人为干扰共同控制下的干扰格局。植被及其类型在整个流域中的分布极不均匀。在流域下游低海拔河段, 河岸带两侧植被除了行道树和少量人工林外, 以灌丛、耕地和村庄为主, 类型单一且稳定性低, 缺乏起码的河岸带植被, 到了中游地区, 斑块类型有所增加, 灌丛植被的盖度增加, 阔叶林和油阔混交林相继出现, 而到了中上游地带, 景观格局明显发生变化, 植被盖度明显增大, 呈现大面积林地景观, 且斑块类型趋于多样化与复杂化。景观组成流域的 11 类景观要素类型, 其中自然植被类型占绝对优势, 人工类景观(村庄、耕地、迹地和人工林)及其他类型占次要地位。林地在流域植被景观中占主体地位, 尤其温性针叶林最为突出; 疏林地、灌丛和稀疏灌草是流域中重要的植被覆盖类型; 耕地在流域中占有相当面积, 村庄与廊道在流域中较为特殊, 迹地、人工林和其他地类十分有限。在整个流域中, 森林植被在景观中仍居主体地位, 但作为重要的水源涵养林区, 对景观的控制作用还不够突出, 还有大面积的陡坡耕地需要退耕还林, 以进一步改善景观整体结构。人为的干扰远大于管理与建设, 整体处于粗放管理下的自然演替中。

基于流域植被分布格局现状, 运用景观生态规划原理^[32], 建议在今后的流域治理中, 应从以下几方面入手:

1. 进一步保护和恢复流域上游和中高海拔地带的山地寒温性针叶林。寒温性针叶林的分布局限于较高海拔带, 其抗干扰能力也比较弱, 对立地条件的要求较高, 且属于演替后期的群落类型, 面积不超过林地面积的 10%, 在景观中的优势度低于其他森林类型且属于演替后期的群落类型, 但对整个流域景观异质性的维持和生物多样性的保护却有其他景观元素不可替代的功能。

2. 加强管理和保护流域中海拔地带的山地落叶阔叶林与温性针叶林, 封育结合, 并积极经营混交林, 保护和扩大阔叶林, 重视灌丛和疏林地的作用, 通过保护森林植被类型的多样性, 保持景观的异质性。从文峪河流域森林景观的数量指标可知, 整个流域的优势景观为油松阔叶混交林, 加上油松林与阔油混交林, 三者呈相对集中连片分布, 在整个流域

的森林植被景观中居于主体地位。在流域森林景观恢复和景观多样性的维持中发挥着重要作用。

3. 加强河岸森林规划建设和经营管理, 特别要在下游地段建立河岸植被带。在整个流域中, 道路沿河岸带延伸, 对植被景观人为分隔。虽然森林植被在景观中仍有一定程度的优势度, 但森林的斑块破碎化严重, 对流域景观可持续性和生物多样性保护构成了威胁, 尤其是在流域中下游地带, 近河岸植被退化和破坏, 植被条件很差, 景观异质性低且多由不稳定景观要素组成, 以耕地和稀疏灌草丛为主, 而且越到下游越明显, 几乎没有一处完整的河岸植被带, 缺乏起码的对河岸带植被景观的重视, 更谈不到河岸带植被或河岸林规划设计。所以在整个流域中加强河岸森林规划建设和经营管理, 特别要在下游地段, 建立河岸植被带建设岸带植被或河岸林, 强化荒山造林与退耕还林工程, 在增加一定林地的情况下有效地提高森林斑块的生态连接度, 拦截和过滤坡地到河流的景观流, 提高水土保持和水源涵养效果, 保持景观的可持续性、稳定性, 对流域的生物多样性, 森林病虫害、火灾的防治, 流域的水文、水质, 流域的生态保护和建设等都有重要的意义, 并对整个流域的生态安全和社会经济可持续发展产生深远影响。

参考文献(References):

- [1] Malanson, G. P. Riparian landscapes. Cambridge University Press [J]. New York. 1995.
- [2] Tinker, D. B. Resor, C. A. C. et al.. Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in a Wyoming forest[J]. *Landscape Ecology*. 1998, 13(3): 149~ 165.
- [3] Blinn, C. R., and Kilgore, M. A. Riparian management practices: a summary of state guidelines. [J]. *For*. 2001, 99(8): 11~ 17.
- [4] Bunnell P., Rautio S., Fletcher C., et al.. Problem analysis of integrated resource management of riparian areas in british columbia [R]. B. C. Min. For. and Min. Environ, Lands and Parks, Victoria B. C. Work. Pap. 11/ 1995.
- [5] Young, K. A. Riparian zone management in the Pacific Northwest: who's cutting what? [J]. *Environ. Manage.* 2000, 26: 131~ 141.
- [6] Cai Qinhua, Wu Gang. Watershed ecology: New thoughts of sustained development research about resources surrounding and social economy in changjiang watershed[M]. Beijing: China Surrounding Science Press. 1998. 11~ 18. [蔡庆华, 吴刚. 流域生态学: 长江流域资源、环境与社会经济可持续发展研究的新思考[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998, 11~ 18.]
- [7] Guo Jingpin, Zhang Yunxiang. Advances and perspective of forest landscape ecology in China[J]. *World Forest Research*. 2003, 46~

49. [郭晋平, 张云香. 中国森林景观生态研究进展与展望[J]. 世界林业研究, 2003, (5): 46~ 49.]
- [8] Moore R. Dan, Richardson J. S. Progress towards understanding the structure, function, and ecological significance of small stream channels and their riparian zones. *Can. J. For. Res.* 2003, **33**: 1349~ 1351.
- [9] Toews, D. A. A., S. Chatwin (eds.) Watershed assessment in the southern interior of British Columbia[R]. Res. Br., B. C. Min. For., Victoria, B. C. Work Pap. 57/2001.
- [10] Brenner A. J. Richard P. L. Allen J. D. Evaluating the impact of future land use patterns on river flow and water quality[A]. In: US- IALE 1998 Conference. Applications of Landscape Ecology in Natural Resource Management[C]. Michigan State University, Michigan.
- [11] Haynes, R. W. Graham, R. T., Thomas M. Q. A framework for ecosystem management in the interior Columbia basin[J]. *Journal of Forestry*. 1998, **96**(6): 4~ 9.
- [12] Belt G. H. and J. O' Laughlin. Buffer strip design for protecting water quality and fish habitat[J]. *West. J. Appl. For.* 1994, **9**(2): 41~ 45.
- [13] O' Laughlin J., Belt G. H. Functional approaches to riparian buffer strip design[J]. *Journal of Forestry*, 1995, **93**(2): 29~ 32.
- [14] Guo Jinping. Unification of landscape ecology discipline and developing of landscape ecology in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, **23**(3): 277~ 281. [郭晋平. 景观生态学的学科整合与中国景观生态学展望[J]. 地理科学, 2003, **23**(3): 277~ 281.]
- [15] Yan Yubo. Preserve Forest research of Changjiang[M]. Beijing: Science Press, 1993, 15~ 18. [杨玉坡. 长江上游防护林研究[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 15~ 18.]
- [16] Wang Lixian, Zhang ZhiQian. Advances in the Study of ecophysiological effects from vegetation changes[J]. *World Forest Research*. 1998. 14~ 23. [王礼先, 张志强. 森林植被变化的水文生态效应研究进展[J]. 世界林业研究, 1998. (6): 14~ 23.]
- [17] Zhong Xianhao, He Yuchen. Sounding character and forest defend system of Changjiang watershed[M]. Beijing: Science Press. 1992, 23~ 25. [钟祥浩, 何毓成. 长江上游环境特征与防护林体系建设[M]. 北京: 科学出版社, 1992, 23~ 25.]
- [18] Cai Qinhua, Wu Gang, Liu Jiankang. Watershed ecology: a new channel about diversity research and protecting of water ecosystem[J]. *Sciences and Technology Review*. 1997, (5): 24~ 26. [蔡庆华, 吴刚, 刘建康. 1997. 流域生态学: 水生态系统多样性研究和保护的一个新途径[J]. 科技导报, 1997, (5): 24~ 26.]
- [19] Li Xiuzhen. Advances and perspective of present landscape ecology[J]. *Journal of Mountain science*. 1997, **17**(4): 356~ 364. [李秀珍. 当代景观生态学进展和展望[J]. 地理科学, 1997, **17**(4): 356~ 364.]
- [20] Guo Jinping. Research of forest landscape ecology[M]. Beijing: Beijing University Press. 2001, 40~ 42. [郭晋平. 森林景观生态研究[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001, 40~ 42.]
- [21] Cheng Guodong, Xiao Duning, Wang Genxu. On the characteristics and building of landscape ecology in arid area[J]. *Advance in Earth Sciences*. 1999, **14**(1): 11~ 15. [程国栋, 肖笃宁, 王根绪. 论干旱区景观生态特征与景观生态建设[J]. 地球科学进展, 1999, **14**(1): 11~ 15.]
- [22] Wang Genxu, Qian ju, Cheng Guodong. Review and prosoect on the eco-hyazological scientific research[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2001, **16**(3): 314~ 323. [王根绪, 钱鞠, 程国栋. 生态水文科学研究的现状与展望[J]. 地球科学进展, 2001, **16**(3): 314~ 323.]
- [23] Wang Genxu, Cheng Guodong. The spatial pattern analysis of landscape in arid inland River basin[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)* 1999, **35**(1): 211~ 217. [王根绪, 程国栋. 干旱内陆河流域景观生态的空间格局分析[J]. 兰州大学学报, 1999, **35**(1): 211~ 217.]
- [24] Shangguan Tielian, Zhang Feng. Inveatigation on vegetation and vertical distribution in the yunding mountain in shanxi province[J]. *Mountain Research*, 1991, **9**(1): 19~ 26. [上官铁梁, 张峰. 云顶山植被及其垂直分布研究[J]. 山地研究(现《山地学报》). 1991, **9**(1): 19~ 26.]
- [25] Tang Jilin, Liu Yulin, Li Xinlin, et al.. Analysis on the relationship between environmental gradient and plant communities in guandishan moution, shangxi[J]. *Journal of Beijing Forestry*. 1995, **17**(4): 37~ 42. [唐季林, 刘宇林, 李新彬, 等. 关帝山植物群落与环境梯度分析[J]. 北京林业大学学报, 1995, **17**(4): 37~ 42.]
- [26] Guo Jinping, Xue Junjie, Li Shiguang, et al.. Stusy on Soil Seed-bank of Larix Principis-ruppechtii Under Canopy in Panquanguou National Natural Reserve, Shanxi, China[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*. 1998, **16**(2): 131~ 136. [郭晋平, 薛俊杰, 李世广, 等. 庞泉沟自然保护区华北落叶松土壤种子库的研究[J]. 武汉植物学研究, 1998, **16**(2): 131~ 136.]
- [27] Xiao Yang, Guo Jinping, Tian Suanbao, et al.. A study on the relationship between the local climate-geographic gradient and the bio-climatic indices in Guandi Mountions[J]. *Journal of Shanxi agricultural university*. 1998, **18**(1): 5~ 9. [肖扬, 郭晋平, 田双宝, 等. 关帝山地方气候梯度及其与植被空间分布关系的研究[J]. 山西农业大学学报, 1998, **18**(1): 5~ 9.]
- [28] Qiu Yan, Zhang Jintun. Quantitative analysis to the gradients of space and time of natural plant communities in Bashuigou of the Guandishan Moution[J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* 1999, **5**(2): 113~ 120. [邱扬, 张金屯. 关帝山八水沟天然植物群落时空梯度的数量分析[J]. 应用与环境生物学报, 1999, **5**(2): 113~ 120.]
- [29] Guo Jingpin, Yan Hangxi, Zhang Yunxiang. Studies on spatial pattern and dynamics for landscape elements in guandishan forest region, shanxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, [J]. 1999, **19**(4): 468~ 473. [郭晋平, 阳含熙, 张云香. 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.]
- [30] Guo Jingpin, Yan Hangxi, Xue Junje, et al.. Forest landscape heterogenlty and lts dynamics of Guandishan Moution. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 1999, **10**(2): 167~ 171. [郭晋平, 阳含熙, 薛俊杰, 等. 关帝山森林景观异质性及其动态研究

- [J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 167~ 171.]
- [31] Guo Jinping, Xiao Duning, Xiao Yang, *et al.*. Trend surface analysis of forest landscape pattern in Guandishan forest region of Shanxi, China[J]. *Journal of Environmental Science*, 1999, 11(2): 200~ 206.
- [32] Xu Tianshu, Peng Shikui, Yue Cairong. Landscape ecological planning of mountainous watershed management[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*. 2002, 22(2): 52~ 54. [徐天蜀, 彭世掇, 岳彩荣. 山地流域治理的景观生态规划[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 52~ 54.]

Watershed Management Based on the Quantitative Analyses of Spatial Pattern of Landscape in Wenyuhe Watershed

ZHANG Yunxiang, BAI Jinhua, GUO Jinping

(Laboratory of Landscape Ecology, College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Based on wide investigation of the background information in Wenyuhe watershed in Guandishan Forest Region, using the aerial photographs, the topographic map in proportion 1: 50 000, historical forest map, and diagram and forest management, land employment, the vegetation landscape patch mosaic maps of study area are drawn and edited as basic data source for the project. Supported Geographical Information Systems (GIS) – “Geoway” and database management systems such as ARCVIEW and Visual FoxPro and Microsoft Excel, the landscape spatial distribution, landscape constitute structure, landscape patch element shape feature and heterogeneity in the Wenyuhe watershed have been analyzed by applying landscape diversity index, landscape dominance index, patch shape index, landscape fractal dimension, habitat fragmentation index and detach index. The results showed that: among the 11 types of the vegetation landscape, forest predominates among the whole watershed vegetation landscape pattern, especially the temperate coniferous forest; open forest, brush and thin brush also play a major role in the vegetation landscape; farmland covers to a large extent; villages and corridor (river and road) are two special types in the watershed; slash and artificial plantation and others are extremely limited all the time and the riparian vegetation and riparian forest are extremely scare. The succession capacity and restoration potentiality of the whole vegetation in the watershed are formidable, brush and open forest are two important vegetation type in the course of vegetation restoration. As a pioneer species, the broad-leaved forest plays an important role in forest restoration and expansion. Human’s activities mainly focus on both sides of the corridor and bank along the river seriously hinder the natural succession process of the secondary forest in Wenyuhe watershed. The villages and farmland which increasingly scatter on the corridor take the driver’s seat in controlling the fragmentation of landscape and the transmission of anthracic interference in the whole watershed. The whole watershed, under extensive management, succession naturally with seriously interference and presents the dynamic pattern that the human’s interference to the vegetation of the watershed is strengthening. Based on the analysis, according to the problems existing in the vegetation landscape of this watershed, the whole designs of watershed protection and construction are proposed. That is to say, in the zone of upriver and high elevation, we should protect emphatically the boreal coniferous forest, in the middle-down river and down-river region, we should establish the broadleaved forest and mixed forest, meanwhile pay attention to the brush and open forest, restrict the movement of the villages rigorously, emphasis the restoration of vegetation on the abandoned, especially in the both sides of the riverside, design and build the riparian vegetation and riparian forest, strengthen forestation and return cultivation to forest, on the condition of necessary farmland proportion, improve the ecological transition of forest patch effectively.

Key words: landscape pattern; riparian vegetation; watershed management; Wenyuhe watershed