

森林景观恢复过程中景观要素斑块规模的动态分析

郭晋平¹, 薛俊杰¹, 李志强², 田荣善³

(1. 山西农业大学, 林学院 030801; 2. 山西省管涔山森林经营局; 3. 山西省临汾地区林业局)

摘要:以 1959 年以来的 4 期航片为基础资料, 通过对研究地区各类景观要素的斑块平均规模和粒级结构及其动态变化过程进行分析, 揭示了研究地区森林景观恢复演替过程中景观要素斑块规模的动态特点, 阐明了植被演替和干扰格局控制下森林景观要素斑块恢复演替的过程和规律。研究地区森林景观自 50 年代以来在整体上始终属于细粒结构景观, 但景观要素斑块规模和粒级结构发生了显著变化, 在三个不同时期表现出不同的变化特点, 而且不同景观要素的斑块规模和粒级结构变化过程也很不相同。这些差异反映了不同森林类型斑块在景观尺度生态恢复演替过程中的动态特点。

关键词:森林景观; 森林恢复; 斑块规模; 粒级结构; 关帝山

Studies on the dynamics of patch size and grain structure of landscape elements in the forest restoration process

GUO Jin-Ping¹, XUE Jun-Jie¹, LI Zhi-Qiang², TIAN Rong-Shan³ (1. Department of Forestry Schanxi Agricultural University, 030801; 2. Guancenshan Forest Mangement Bureau of Shanxi; 3. Bureau of Forestry in Linfen Dstrict)

Abstract:Supported by ARC/INFO, using four stages of Ariel image since 1959 as basic data source, this paper analyzed and revealed the dynamic rules of landscape elements in forest landscape restoration of Guandishan Mountains Forest District in the Central-West of Shanxi, China. Patch Mean Size and Grain Size Structure of landscape element were used as basic indices to reveal the dynamic characteristic features of forest patches in forest restoration in study area. Some basic rules and process of patch restoration and succession were demonstracted in the complex landscape changes co-controlled by vegetation succession and disturbance regime. The forest landscape in the study area is still being of final grain landscape since 1959. But the mean sizes and grain structures of different landscape elements were changed obviously with different change patten in the three stages of forest restoration process. These differences reflected the ecological dynamic features of these different types of forest patch in landscape scale succession process.

Key words:forest landscape; forest restoration; patch mean size; grain structure; Guandishan Mountains

文章编号: 1000-0933(2000)02-0218-06 中图分类号: Q149 文献标识码: A

森林景观的结构特征除了表现为景观组成结构和年龄结构外, 也直观地表现为景观要素的拓扑特征和空间拓扑关系^[1~3]。这些特征和关系不仅对森林斑块动态、斑块稳定性和生境质量有重要影响^[4], 更值得注意的是这对于维持景观整体稳定性、生产力和景观再生产能力, 维持景观生态过程的完整性和森林生态系统的健康, 保护生物多样性等都具有十分重要的意义^[1, 5~7]。因此, 对于景观结构和景观空间格局的研究, 从一开始就受到资源管理学家、生态学家、生物保护学家、环境生态学家和林学家等多学科领域的一致重视。森林生态学始终是森林经营管理的生物学基础^[8], 森林经营管理和林业生产活动, 既受森林景观格局及斑块特征的制约, 又对这些特征有显著影响。不同的森林经营方式和技术会造成显然不同的森林景

国家自然科学基金(4967115)资助。

收稿日期: 1999-08-20; 修订日期: 1999-11-15

观^[9],只有遵循景观动态变化的基本规律,才能取得预期的森林经营效果。Franklin 通过对天然林和施业林(managed forest)斑块规模、数量和分布的研究,曾先后提出了棋盘格式模型和集中与分散集合模型,更进一步说明在景观尺度上对森林景观格局及斑块特征进行深入研究,对于提高森林经营水平,实现森林可持续经营具有重要的理论与实践意义^[9,10]。

景观要素的斑块特征主要表现为斑块的大小、数量和形状^[4]。为便于描述和分析,本文将景观要素斑块大小称作斑块规模。景观要素的斑块特征既决定于斑块所处立地的地形地貌特征和斑块群落特征,又取决于斑块演替阶段和干扰状况^[11,12]。因此,森林景观变化过程必然要表现为森林景观要素斑块规模、数量和形状的变化,进而产生新的景观整体结构和功能,这种循环反馈控制过程是景观再生产过程的基础^[5]。森林景观的斑块特征和景观空间格局对生物多样性保护和森林生境质量的影响已有不少研究成果,国外对森林经营活动,特别是森林采伐与森林景观斑块特征和景观格局之间的相互关系也有较多研究。对森林景观恢复过程中森林斑块特征的变化过程和规律也已经引起人们的注意。本文试从景观要素斑块平均规模和粒级结构两方面,对华北山地天然次生林恢复演替过程中景观要素斑块特征的变化规律进行研究,期望能为类似地区森林景观恢复、建设、管理和天然林保护提供科学决策的依据和思路。

2 研究地区概况

研究地区是山西西部吕梁山脉中段的关帝山林区,包括庞泉沟国家级自然保护区及周围 6 个林场各一部分,面积 57200hm²,地理位置东经 111°21′~111°37′,北纬 37°45′~37°59′,最高海拔 2838.7m,最低海拔 1360m,平均坡度 20.8°,属于季风控制的暖温带大陆性山地气候,年均温 4.2℃,7 月均温 17.5℃,1 月均温 -10.2℃;相对湿度 70.9%;年降水量 822.6mm,蒸发量 1000~1500mm,无霜期 100~130d;日照时数 1900~2200h,≥0℃积温 2100℃。主要分布有亚高山山地灌丛、亚高山草甸、寒温性针叶林、山地落叶阔叶林、温性针叶林、山地灌丛及山地草甸等植被类型。山地寒温性针叶林主要由华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、麦氏云杉(白扦 *Picea meyeri*)和细叶云杉(青扦 *Picea wilsonii*)组成;山地落叶阔叶林主要由白桦(*Betula paltyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、红桦(*B. Albo-sinensis*)及少量青杨(*P. Cathayana*)和辽东栎(*Quercus liaodungensis*)组成;温性针叶林主要是由油松(*Pinus tabulaeformis*)组成,在华北山地天然次生林区具有典型意义。由于地形复杂、人为活动频繁,森林景观表现为复杂的斑块镶嵌格局,森林景观格局变化过程极其复杂,但以庞泉沟国家级自然保护区为中心的核心地带,自建国以来整体上处于森林景观恢复过程中。对该地区的景观格局、异质性和植被分布等方面的问题已开展了不少研究工作,为本项研究奠定了基础^[13~17]。

2 研究方法

本研究以四期航空像片为主要研究资料,以林区林相图、森林分布图和森林经理小班调查材料为辅助资料。共收集了四期航片,包括:①1959 年 1:5 万的全色片,放大为 1:2.5 万。②1972 年 1:3 万的全色片。③1981 年 1:2 万的彩红外片。④1992 年 1:5 万的彩红外片,放大为 1:2.5 万。根据研究目的、研究对象、特点和航片分辨性能,建立了以植被优势成分为主要依据的景观要素分类系统。一级分类将研究地区景观分为 11 个景观要素类型,二级分类进一步将林地分为三个森林植被类型^[13]。采用“航片判读—转绘—校核—清绘—数字化—编辑—属性数据录入”的工作程序,在 ARC/INFO 支持下,生成四期数字景观图层及相应的数据库。在此基础上,以不同景观要素类型斑块面积为基础数据,对景观要素斑块规模、数量和粒级结构进行统计和分析。

3 景观要素斑块规模动态分析

3.1 景观要素斑块平均规模的变化

斑块平均规模是某类景观要素斑块面积的算术平均值。分别对各个时期的 11 类景观要素斑块面积进行统计,计算其算术平均值,结果见表 1。

由表 1 可见,关帝山森林景观的斑块规模从 1959 年到 1992 年表现为大—小—大的变化过程,但整体上属于细粒景观向粗粒景观过渡的初期,大斑块以灌丛、草甸和农田为主,经过 30 多年的森林景观恢复,林地斑块持续增大,而非林地景观要素的斑块逐步缩小。林地斑块逐步增大的趋势反映了次生林区森林恢复过程在进入

中后期阶段后,先锋性群落向演替中后期群落过渡的特点。人工幼林和采伐迹地斑块稳定增大,特别是1981年到1992年,这两类斑块的面积有较大幅度的增长,反映了保护区周围林场“经营采伐”和“林分改造”规模加大,方式改变,是森林经营思想和方针转变的结果。居民点的斑块始终是各类要素中最小的,但其增大的趋势也很明确,人口增加、居住点趋于相对集中、以及当地居民生活水平提高,建筑面积增加,使居民点斑块逐步扩大。灌丛和草甸大斑块由于森林的恢复而被分割蚕食使斑块规模逐步缩小,但从1981年到1992期间年又有小幅度反弹,表明部分小斑块转化为林地,而剩余的灌丛和草甸斑块立地条件较差,斑块转换速度较慢。

表 1 景观要素平均斑块规模动态分析表(hm²)

Table 1 Patch mean size dynamic analysis of different landscape elements

景观要素 Landscape elements	1959		1972		1981		1992	
	规模	数量	规模	数量	规模	数量	规模	数量
	Mean	Number	Mean	Number	Mean	Number	Mean	Number
林地 Closed forest	28.1	899	30.7	959	34.1	917	41.5	792
人工幼林 Young plantation	—	—	18.0	9	20.9	18	37.6	30
疏林 Open forest	18.5	268	17.5	249	22.1	267	21.3	238
灌丛 Bush land	33.9	404	27.1	460	24.9	320	25.4	246
草甸 Meadow	61.9	27	47.1	43	33.3	52	41.7	27
采伐迹地 Cut-over land	27.3	32	28.4	23	31.5	66	36.6	68
灌草丛 Thin bush land	23.5	52	21.6	55	16.4	78	21.7	67
农田 Farmland	40.8	196	24.8	210	16.8	281	27.2	172
河流 River corridor	80.0	17	81.1	18	81.3	23	81.6	21
居民点 Residential area	1.10	49	2.30	55	2.7	51	3.2	55
特殊地类 Special land	21.4	6	24.5	6	15.9	7	14.2	19
总体 Total	29.3	1950	27.4	2087	27.5	2080	33.0	1735

注:特殊地类包括裸露岩石和矿区土地。Note:Special land includes bare rocky-land and mined land.

进一步对各森林类型斑块规模的变化进行分析,有助于揭示各森林类型斑块动态及其转换关系。为此,分别不同森林类型计算各个时期的平均斑块规模,结果见表2。

表 2 不同森林类型平均斑块规模动态分析表(hm²)

Table 2 Patch mean size dynamic analysis of 3 forest types in landscapes

景观要素 Landscape elements	1959		1972		1981		1992	
	Mean	Number	Mean	Number	Mean	Number	Mean	Number
	Mean	Number	Mean	Number	Mean	Number	Mean	Number
寒温性针叶林 NCF	32.8	292	31.2	361	38.2	331	49.5	263
山地落叶阔叶林 BLF	24.8	449	29.2	410	30.2	351	29.3	332
温性针叶林 TCF	28.6	158	32.8	188	34.0	235	51.3	197

NCF=North coniferous,BLF=Broad-leaved forest,TCF=Temperate coniferous forest.Same as in below.

由表2可见,林地不同森林类型斑块规模的动态变化有明显差异,其中,寒温性针叶林斑块在1959年到1972年期间缩小,而斑块数量增加,说明在此期间增加了不少小斑块,从1972年以后斑块规模呈持续扩大的趋势。温性针叶林的斑块规模保持持续增大趋势,其初期平均规模显著小于寒温性针叶林,后期已超过寒温性针叶林。山地落叶阔叶林在1959年到1972年期间有较大幅度的增大,此后变化较小,在1981年到1992年期间略有缩小,在各个时期都明显小于两类针叶林的平均斑块规模。

3.2 景观要素粒级结构动态分析

景观要素的粒级结构是指该景观要素斑块中,不同大小级别的斑块数量组成状况。本文划分了6个斑块规模等级,包括:小斑块($\leq 10\text{hm}^2$)、中斑块($11\text{hm}^2\sim 30\text{hm}^2$)、中大斑块($31\text{hm}^2\sim 50\text{hm}^2$)、大斑块($51\text{hm}^2\sim 100\text{hm}^2$)、特大斑块($101\text{hm}^2\sim 200\text{hm}^2$)和巨斑块($\geq 201\text{hm}^2$),用景观要素各级斑块数占该类斑块总数的比例来描述景观要素的粒级结构。

3.2.1 林地及各森林植被类型斑块粒级结构

为了说明森林演替对森林恢复过程中斑块规模变化的影响,分别各时期将全部林地斑块和3个森林植被型斑块按6个斑块规模等级分别统计斑块数量,计算各级斑块占该类斑块总数的百分率,对不同森林类型的粒级结构动态进行分析,结果见表3。

表3 三个森林植被类型斑块粒级结构动态分析表
Table 3 Grain structure dynamic analysis of 3 forest types in landscape

类型 Forest type	年度 Year	斑块粒级 Patch size class(%)						斑块总数 Total number
		小斑块	中斑块	中大斑块	大斑块	超大斑块	巨斑块	
		Small	Middle	Under-large	Large	Super-large	Huge	
寒温性针叶林 NCF	1959	23.6	41.4	17.5	12.3	4.5	0.7	292
	1972	23.5	41.3	15.6	15.6	1.4	0.8	361
	1981	20.5	38.1	19.6	15.4	5.1	1.2	331
	1992	16.7	37.3	17.5	17.5	8.7	2.3	263
山地落叶阔叶林 BLF	1959	19.6	44.7	14.4	9.1	2.0	0.2	450
	1972	22.0	46.6	17.6	11.2	2.0	0.7	410
	1981	25.9	39.9	17.7	13.4	3.1	0.6	351
	1992	24.4	41.9	17.5	13.0	3.0	0.3	332
温性针叶林 TCF	1959	22.2	46.8	16.5	10.8	3.8	—	158
	1972	21.8	40.4	22.9	8.5	5.9	0.5	188
	1981	24.7	39.6	14.9	15.3	4.7	0.9	235
	1992	20.3	34.0	14.7	16.8	10.2	4.1	197
全部林地 All forest land	1959	26.3	44.0	15.8	10.4	3.1	0.3	900
	1972	22.5	43.4	17.8	12.3	3.2	0.7	959
	1981	23.6	38.9	17.6	14.7	4.3	0.9	917
	1992	20.8	38.4	16.8	15.4	6.7	1.9	792

由表3可见,就林地整体而言,中小斑块持续减小,中大斑块保持相对稳定,而50hm²以上的斑块持续增加,使林地斑块整体粒径增大,粒度变粗。但景观整体平均斑块规模仍明显低于大兴安岭原始林区的森林景观^[2,3],而且没有出现大于300hm²的斑块,因而整体上仍属细粒结构景观。

寒温性针叶林斑块中≤30hm²的中小斑块比例,从1959年到1992年各个时期依次为65.0%,64.8%,58.6%和54.0%,呈现明显的下降趋势。同时50hm²以上的大斑块比例从1959年的17.5%依次上升到17.8%,21.7%和28.5%。但应当指出,寒温性针叶林大斑块数量从1959年的51块增加到1972的71块后,到1992年的20年间并没有明显增加;与此同时,中小斑块从1959年的191块增加到1972年的234块之后,依次减少到194块和142块。可见,1959年到1972年期间,寒温性针叶林斑块动态表现为以新生小斑块的形成为主,同时斑块规模也在扩大,此后原有斑块规模的扩大和斑块合并成为主要过程。

山地落叶阔叶林的粒级结构变化略有不同。首先是中小斑块比例在1959到1972年有较大幅度的增加,之后缓慢下降;其次是1959年到1972年期间,在中小斑块比例增加的同时,其面积比例下降,斑块数也从334块减少到281块;第三是中小斑块比例始终高于寒温性针叶林和温性针叶林,而大斑块比例始终低于这两类森林,而且也低于寒温性针叶林中的落叶松林的大斑块比例。可见,在初期景观中已经形成了大量的山地落叶阔叶林斑块。随着森林景观的恢复,斑块粒级结构发生显著变化,部分较大斑块转化为针叶林,部分斑块由于斑块扩展合并为大斑块,使各级斑块数都减少;同时,新生的山地落叶阔叶林斑块规模更小。

温性针叶林粒级结构的变化另有特点。中小斑块比例虽呈下降趋势,但斑块数量并没有显著减少,大斑块从1972年以后增加很快,大于50hm²的大斑块比例从1959年的14.6%增加到1972年的14.9%,而到1981年和1992年分别迅速增加到20.9%和31.1%,大斑块的面积比例也在1972年后大幅度增长,从1959年的44.5%到1981年达57.5%,到1992年达74.0%。由于温性针叶林的生态适应性相对较强,一定

程度的环境异质性并未影响到它的空间连续分布。

3. 2. 2 寒温性针叶林中落叶松林和云杉林的粒级结构

将寒温性针叶要中的落叶松林和杨桦落叶松林归为落叶松林,云杉林及云杉落叶松混交林归为云杉林,两者的斑块规模动态变化特点有明显差别。为此,对两者的粒级结构进行比较分析,结果见表 4。

表 4 寒温性针叶林中云杉林与落叶松林粒级结构动态比较分析表%
Table 4 Comparison of Grain structure dynamics of Larch forest and spruce forest in NCF %

类型 Forest type	年度 Year	斑块粒级 patch size class						斑块总数 Total Number	总面积 Total area (hm ²)
		小班块 Small	中斑块 Middle	中小斑块 Under-large	大斑块 Large	超大斑块 Super-large	巨斑块 Huge		
落叶松类 Larch forest	1959	26.5	43.3	17.2	10.6	1.9	0.5	215	5828.4
	1972	26.5	43.6	14.0	13.3	2.6	—	264	7002.4
	1981	20.5	42.8	17.0	15.3	4.4	—	229	7261.1
	1992	20.0	39.0	16.8	16.3	7.9	—	190	6831.5
云杉类 Spruce forest	1959	15.6	36.3	18.2	16.9	11.7	1.3	77	3758.4
	1972	15.5	35.0	19.6	21.6	5.2	3.1	97	4263.6
	1981	20.6	27.4	25.5	15.7	6.9	3.9	102	5399.0
	1992	8.2	32.9	19.2	20.5	11.0	8.2	73	6193.2

由表 4 可见,各时期落叶松类斑块总数和面积都多于云杉类,说明在寒温性针叶林中落叶松林始终占一定优势,但二者的差距在逐步缩小。到 1992 年,落叶松林与云杉林的面积已很接近,从粒级结构分析,两类森林斑块动态变化总趋势与总体一致,中小斑块的斑块数和面积比例都在下降,而大斑块比例持续上升。落叶松林中小斑块比例从 1959 年的 69.8%依次变为 1972 年的 70.0%,1981 年的 63.2%和 1992 年的 59.0%,其初期的比例甚至超过山地落叶阔叶林。50hm² 以上大斑块从 1959 年的 13.0%依次上升到 15.9%,19.6%和 24.2%。从实际斑块数量的变化看,落叶松林大斑块从 1959 年的 28 块增加到 1972 年的 42 块后,直到 1992 年仅增加 4 块,中小斑块从 1959 年的 150 块到 1972 年增加了 35 块,之后逐渐减少到 112 块。而与此同时,云杉林中小斑块比例从 1959 年的 51.9%依次变为 29.8%,26.5%和 39.7%。可见,云杉林斑块中各级斑块比例的变化比落叶松林要缓慢得多,特别是 50hm² 以上大斑块数量的变化落叶松林更缓慢。从 1959 年到 1992 年期间,大斑块从 23 块依次变为 29 块,27 块和 29 块。斑块扩展和合并过程共同决定了云杉林的斑块动态过程。尤其应当指出的是,在整个研究期间的森林恢复过程中,云杉林巨型斑块持续增加,从 1 块依次增加到 3 块,4 块和 6 块,而落叶松林几乎没有巨型斑块。两者的显著差别还表现为,在落叶松林斑块中,中小斑块比例始终占 60%以上,而云杉林的中小斑块比例始终保持在 55%以下。从面积上看,两者之间的这种差异更明显,落叶松类中小斑块比例始终在 26.5%以上,而云杉类中小斑块比例始终在 18%以下。在斑块形成过程中,落叶松可通过远距离扩散拓展其分布空间,更易形成分散的小斑块,而云杉则更多地以原有斑块为中心通过边缘拓展扩大其分布空间,其空间扩展能力比落叶松弱,在较为稳定的环境条件下才能形成较大斑块,且受干扰后恢复缓慢。云杉林斑块面积的迅速增长已明确显示,保护区建立以来云杉林在景观中的作用逐步加强,并有进一步发展的趋势。在目前的干扰格局控制下,云杉和落叶松之间在一定程度上存在斑块替代关系,但是否象管涔山林区那样存在某种稳定的镶嵌格局^[18],还需要通过群落水平与景观水平的综合研究提供更为可靠依据。

4 结论与讨论

4.1 研究地区森林景观恢复过程在三个时期表现出不同的特点。第一个时期为森林迅速恢复的初期,在受破坏较轻的地段上森林首先得到恢复,增加的森林面积主要是山地落叶阔叶林斑块,同时也有针叶林小斑块的形成和恢复。虽然在这一时期也有阔叶林斑块向针叶林斑块的转化,但山地落叶阔叶林面积增长幅度超过寒温性针叶林和温性针叶林的增长幅度。第二个时期,山地落叶阔叶林斑块大量增加和针叶林斑块形成并存,整个研究期间,小斑块伴随森林面积的增加而继续增加,斑块内源演替使针林林斑块不仅有小斑块的增加,也有大斑块的形成和扩展。第三个时期,新林地斑块的形成与恢复过程逐步减缓,斑块类型转换过

程更加明显,较大斑块的演替过程加快,针叶林大斑块数量增加幅度不大,但其面积有大幅度增加,而且这一过程趋于加强。

5.2 在今后一定时期,森林景观格局变化仍将以针叶林斑块形成和扩展为特点,山地落叶阔叶林面积因森林恢复进程减缓和向针叶林演化将有所减少,但在整个恢复过程中,林地小斑块数量并没有显著减少,其中云杉林斑块规模将进一步扩大。由森林恢复过程、阔叶林向针叶林演替过程、针叶林斑块扩展和合并过程并存的景观变化格局将持续一定时期。

5.3 研究地区森林景观恢复过程的上述特点是各类森林生态学特性的反映。山地落叶阔叶林的先锋性群落特征最明显,是处于动态变化中的过渡性森林类型,除了容易形成分散的小斑块外,其空间扩展能力也很强,斑块扩展、斑块向针叶林转换和新生斑块的形成过程相互交织,使其斑块规模保持在较小的水平上。寒温性针叶林属于当地演替后期的森林类型,在森林恢复过程中,新斑块形成与斑块扩展过程并存,且以斑块扩展为主,形成较为稳定的大斑块。寒温性针叶林中的落叶松林也表现出先锋性特点,一方面可以直接形成分散的小斑块,它还常常在森林斑块中与桦木、山杨同期发生,形成各种比例的混交林。云杉林斑块一般要通过森林斑块演替形成,在较为稳定的大型斑块中容易出现,形成与落叶松以不同比例混交的斑块,甚至其中也有阔叶树混生。因此,研究地区的杨桦林与寒温性针叶林既有演替关系,也有同期发生后的竞争关系,而且许多斑块的类型转换是人为经营活动促进的结果。温性针叶林在 50 年代及其以前破坏严重,但其斑块扩展能力比寒温性针叶林强。

参考文献

- [1] Forman R T T. Ecologically Sustainable Landscapes: The Role of Spatial Configuration, In: I. S. Zonneveld I. S. and R. T. T. Forman eds. *Changing Landscape: An Ecological Perspective*. New York, Springer-Verlag. 1990. 261 ~ 277.
- [2] 徐化成. 大兴安岭北部林区原始林景观结构的研究. 见: 盛伟彤, 徐孝庆主编. 森林环境持续发展学术讨论会论文集. 北京: 中国林业出版社. 1994. 117 ~ 122.
- [3] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京: 科学出版社. 1998. 183 ~ 202.
- [4] Forman R T T. *Land mosaics the ecology of landscape and region*. New York. Cambridge University Press. 1995.
- [5] Malanson G P. *Riparian landscape*. New York. Cambridge University Press. 1995.
- [6] 肖笃宁, 李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望. 地理科学, 1997, 17(4): 356 ~ 363.
- [7] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报, 1997, 17(5): 453 ~ 461.
- [8] Noss R F. Sustainable forestry or sustainable forest? In: Alplet, G. H., Jonhson, N., Olson, J. T. and Sample, V. A. eds. *Defining sustainable forestry*. Washington, D. C. Inland Press. 1993. 17 ~ 44.
- [9] Franklin J and Forman R T T. Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, 1987, 1: 5 ~ 18.
- [10] Franklin J F. The fundamentals of ecosystem management with applications in the Pacific Northwest, In: Gregory H. A, N. Johnoson J. T. Olson and Sample V. A. *et al* ed. *Defining sustainable forestry*. Washington D. C. Island Press. 1993. 127 ~ 145.
- [11] Peterson C J and Squiers E R. An unexpected change in spatial pattern across 10 years in an aspen-whitepine forest. *Journal of Ecology*, 1995, 83: 847 ~ 855.
- [12] Thomas A S and william J R. Dynamics and pattern of a managed coniferous forest landscape in Oregon. *Landscape Ecology*, 1994, 4(3): 555 ~ 568.
- [13] 郭晋平, 阳含熙, 张云香, 等. 关帝山林区景观要素空间分布及其动态研究. 生态学报, 1999, 19(4): 468 ~ 473.
- [14] 郭晋平, 张云香, 薛俊杰. 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(4): 28 ~ 33.
- [15] Guo Jinping, Xiao Duning, Xiao Yang, and Zhang Yunxiang. Trend surface analysis of forest landscape pattern in Guandishan forest region of Shanxi, China. *Journal of Environmental Science*, 1999, 11(2): 200 ~ 206.
- [16] 唐季林, 刘宇林, 等. 关帝山植物群落与环境梯度分析. 北京林业大学学报, 1995, 17(4): 37 ~ 42.
- [17] 肖 扬, 田双宝, 李云平, 张云香, 郭晋平. 关帝山地方气候梯度及其与植被空间分布关系的研究. 山西农业大学学报, 1998, 18(1): 5 ~ 9.
- [18] 郭晋平, 王召会, 曹日兰, 等. 管涔山青杆天然林年龄结构及其动态的研究. 生态学报, 1997, 17(2): 184 ~ 189.