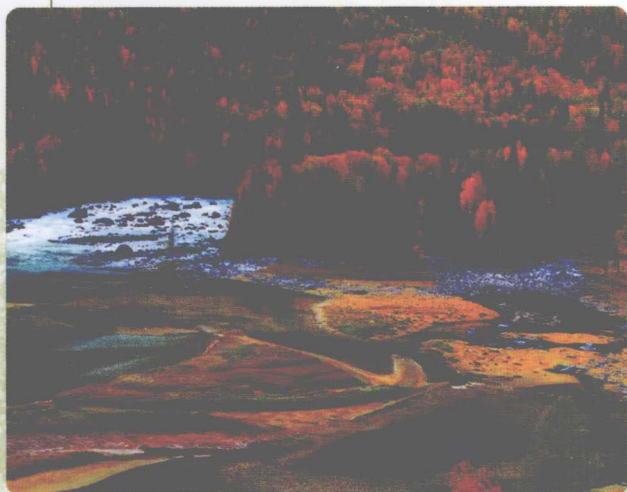


# 森林景观格局 与土地利用/覆被变化 及其生态水文响应

FOREST LANDSCAPE PATTERNS AND  
LUCC ON ECOHYDROLOGICAL RESPONSE

余新晓 李秀彬 夏兵等著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 森林景观格局与土地利用/ 覆被变化及其生态水文响应

余新晓 李秀彬 夏 兵 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书基于流域森林景观空间和土地利用/覆被变化理论,以潮白河流域及怀柔水库流域 TM 影像数据为基础,研究北京山区景观格局变化及其驱动力、流域森林景观格局变化及其驱动力、土地利用/覆被变化水文响应、流域森林景观空间格局优化和流域森林景观恢复与重建经营,以探讨森林景观格局与土地利用/覆被变化及其生态水文响应。通过对土地利用/覆被变化进行分析,对景观指数加以描述和选择,进而揭示土地利用/覆被变化的驱动力;采用 SWAT 分布式水文模型,对潮白河流域降水与径流特征进行研究,揭示其生态水文响应特征;利用灰参数线性规划和 CLUE-S 模型模拟,对流域景观格局进行优化,同时提出流域森林景观恢复与重建经营方案。

本书可供水土保持学、景观生态学、水文学、环境科学、地理学等专业的研究、管理人员及高等院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

森林景观格局与土地利用/覆被变化及其生态水文响应/余新晓,李秀彬,夏兵等著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-027440-3

I. ①森… II. ①余…②李…③夏… III. ①森林-景观-生态学-研究 IV. ①S718.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 080936 号

责任编辑:朱丽 王国华 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年6月第一次印刷 印张:13 3/4

印数:1—1 200 字数:302 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



“十一五”国家科技支撑计划项目

“防护林体系空间配置与结构优化技术研究” (2006BAD03A02)

林业公益性行业科研专项

“典型区域森林生态系统健康维护与经营技术研究” (200804022)

国家林业局林业科学技术研究项目

“重大林业生态工程生态效益分析评价技术与应用” (2006-69)

资助出版

### 参加编写人员名单 (按姓氏汉语拼音排序)

陈丽华 冯仲科 贾国栋 李秀彬 梁长秀 孙 宁  
孙庆艳 夏 兵 余新晓 岳永杰 张蕾娜 张振明

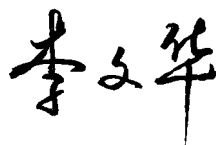
## 序

20 世纪后半期以来，在世界人口剧增和经济高速发展的过程中，人类赖以生存的生态环境发生了巨大的变化。全球性和区域性的生态环境问题不断加剧，如全球变暖、水资源短缺、水环境污染、土地退化与沙漠化、森林资源退化、生物多样性丧失等全球规模的环境问题越来越严重，所有这些变化均对当前生态系统的健康与安全构成了极大的威胁。在人类面对环境与发展过程中越来越多的两难境地的情况下，人们逐渐意识到自身赖以生存和发展的生态系统的重要性。因此，针对生态系统的各种研究也不断展开，如何正确地对生态、环境和资源危机做出必要的响应，已经成为当代生态学、环境学和资源科学研究的主题。

生态系统研究系列丛书是余新晓教授及其科研团队多年研究成果的总结，是在国家科技支撑计划项目、北京市重大科技计划项目、国家林业局科技项目和国际科技合作等项目的支撑下完成的。该系列丛书研究结果主要以国家林业局首都圈森林生态系统定位观测研究站（CFERN）为主要研究平台，内容充实、观点新颖而鲜明，解决了当前生态系统研究中一些重要科学问题，填补了目前研究中的一些空白。余新晓教授始终坚持生态系统领域研究，以一丝不苟的工作态度和坚持不懈的科研精神，在这一领域不断前进，取得了显著的成果，此丛书中可略见一斑。

该系列丛书从不同的尺度深入探讨了森林生态系统的结构和功能，流域森林景观格局的优化，森林生态系统评价、监测、预警等问题，并以北京山区典型流域为研究对象，分别对防护林体系植被类型进行了水平和垂直对位配置。该系列丛书的内容均为生态系统领域热点问题，引领了该学科的发展方向，其不仅在理论框架、知识集成方面做了很多开创性的工作，而且吸收了国内外先进的研究方法，在推动生态系统关键技术研究方面进行了有益的探索，对我国进行生态系统管理研究起到了积极的推动作用，必将为我国生态环境建设提供一定的理论指导和技术支持。

书犹药也。该系列书的出版是一剂良药问世，不仅为生态学、环境学、地理学、资源科学等学科的科研和教学工作者提供有益的参考，也为我国水土保持、林业等生态环境建设工作者的一部好的参考书。希望此书可以解答相关科研人员和工作中心中的疑惑，重现祖国的青山绿水。是以序。



中国工程院院士

2010 年 3 月

# 前 言

森林是陆地生态系统的主体，它不仅是生物圈中重要的生产者，在维持全球碳循环、维护区域生态安全方面发挥着不可替代的作用，而且是重要的物种栖息地和人类生存必需的原材料、食物、药物、能源等的重要来源。但是世界范围内大面积的森林破坏、林地改作他用和不合理的森林经营，带来了森林生产力下降、森林生境破碎化、乡土物种加速灭绝和环境质量下降等一系列问题。能否将森林资源的可持续利用真正作为经营管理的原则，很大程度上还有赖于森林生态研究的推动，通过研究不同尺度的森林景观格局，阐明人类活动对森林生态系统健康的影响，并提供合理的行为准则和规范。

景观是由相互作用的斑块以一定的规律组成的。景观格局一般指景观的空间格局 (spatial pattern)，是大小、形状、属性不一的景观空间单元 (斑块) 在空间上的分布与组合规律。景观格局是景观异质性的具体表现，分析景观格局要考虑景观及其单元的拓扑特征。景观格局变化是自然、生物和社会要素相互作用的结果，景观格局变化分析有助于探讨景观格局和生态过程的相互关系。景观格局分析的目的是在看似无序的景观中发现潜在的有意义的秩序或规律。景观格局变化的结果不但改变了人类生存的自然环境，而且影响着人类的社会制度、经济体制甚至文化思想。同时，景观格局变化的驱动因子也包含自然因素的作用，尤其是气候变化、地质变迁等重大的自然现象。对人类而言，最重要的是通过景观变化分析来发现、认识并运用景观变化的一般规律，以更有效地保护自然环境，维持生态平衡，使人类和社会走上一条积极、健康的可持续发展之路。

本书针对潮白河流域、怀柔水库流域森林景观格局不合理以及生态环境恶化等现状，主要解决了以下几个问题：①北京山区景观格局变化及驱动力分析；②流域森林景观格局变化及驱动力分析；③土地利用/覆被变化水文响应分析；④流域森林景观空间格局优化；⑤流域森林景观恢复与重建经营技术对策研究。

本书是在“十一五”国家科技支撑计划项目、林业公益性行业科研专项和国家林业局林业科学技术研究等项目的基础上整理而成的。在本书的写作过程中，课题组成员通力合作，从野外调查到数据整理，进行了大量的资料分析工作。考虑到全书的系统性，书中参阅了大量参考文献，借此机会著者向这些文献的作者表示衷心感谢！科学出版社为本书的出版给予了大力支持，编辑为此付出了辛勤的劳动，在此表示诚挚的感谢！

限于作者知识水平、能力有限，书中难免有不妥之处，敬请读者不吝赐教！

余新晓

2009年9月于北京

# 目 录

序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 流域森林景观格局与土地利用/覆被变化水文效应.....	1
1.1.1 景观格局概念及分析方法 .....	1
1.1.2 景观格局演变的驱动力分析 .....	7
1.1.3 景观格局优化研究进展 .....	8
1.1.4 土地利用/覆被变化水文效应 .....	11
1.2 研究区概况.....	19
1.2.1 研究区自然概况 .....	19
1.2.2 研究流域基本概况 .....	22
1.3 研究方法.....	30
1.3.1 流域森林景观优化过程 .....	30
1.3.2 LUCC 水文响应过程 .....	40
<b>第 2 章 北京山区景观格局变化及驱动力分析</b> .....	47
2.1 土地利用/覆被动态变化分析 .....	47
2.1.1 LUCC 遥感影像解译分类图 .....	47
2.1.2 LUCC 总体特征 .....	48
2.1.3 LUCC 转移分析 .....	51
2.1.4 土地利用/覆被动态变化趋势 .....	71
2.2 LUCC 景观格局评价.....	74
2.2.1 景观指数相关性 .....	75
2.2.2 景观指数的选择 .....	75
2.2.3 景观类型特征分析 .....	76
2.2.4 森林景观异质性特征分析.....	83
2.3 LUCC 驱动力分析.....	91
2.3.1 LUCC 的驱动因素分类 .....	91
2.3.2 LUCC 驱动因素指标体系 .....	92
2.3.3 LUCC 驱动分析 .....	94
2.3.4 LUCC 驱动力模型 .....	98
2.3.5 北京市土地持续利用对策与措施 .....	100
<b>第 3 章 流域森林景观格局变化及驱动力分析研究</b> .....	102
3.1 怀柔水库流域森林景观格局变化研究 .....	102

3.1.1	怀柔水库流域森林景观斑块基本特征分析	105
3.1.2	怀柔水库流域森林景观异质性动态变化分析	113
3.1.3	怀柔水库流域景观多样性动态分析	115
3.1.4	怀柔水库流域景观类型转移矩阵分析	117
3.2	潮白河流域景观格局变化研究	119
3.2.1	潮白河流域森林景观斑块基本特征分析	119
3.2.2	潮白河流域森林景观异质性动态变化分析	130
3.2.3	潮白河流域景观多样性动态分析	131
3.2.4	潮白河流域景观类型转移矩阵分析	133
3.3	流域森林景观格局变化驱动力分析	139
3.3.1	流域森林景观格局变化驱动因子选取	140
3.3.2	怀柔水库流域森林景观格局变化驱动力分析	142
3.3.3	潮白河流域森林景观格局变化驱动力分析	144
3.4	景观格局水质响应分析	147
3.4.1	两期景观格局特征	148
3.4.2	景观格局变化分析	149
3.4.3	景观格局变化对水资源的影响	150
<b>第4章</b>	<b>LUCG 水文响应分析</b>	151
4.1	潮河流域降水与径流变化的基本特征	151
4.1.1	流域降水量的计算方法	151
4.1.2	流域年降水和年径流的变化	152
4.1.3	流域季降水和季径流的变化	155
4.2	白河流域降水与径流变化的基本特征	157
4.2.1	流域降水量的计算方法	157
4.2.2	流域年降水和年径流的变化	158
4.2.3	流域季降水和季径流的变化	159
4.3	气候因子对径流变化影响分析	161
4.3.1	气候因子对径流的影响机理	161
4.3.2	气候因子影响下的流域径流变化	161
4.4	人类活动对径流变化影响的初步分析	165
4.4.1	水利化程度对径流的影响	166
4.4.2	工农业及生活用水的影响	168
4.4.3	径流对土地利用变化的响应	169
4.4.4	水文特征参数表征的人类活动水文效应	169
4.4.5	人类活动对径流影响的评价	171
<b>第5章</b>	<b>流域森林景观格局优化研究</b>	174
5.1	怀柔水库流域森林景观格局优化	175
5.1.1	灰参数线性规划	175



---

5.1.2	怀柔水库流域景观优化方案 .....	178
5.1.3	CLUE-S模型空间配置优化方案 .....	179
5.2	潮白河流域森林景观格局优化 .....	183
5.2.1	灰参数线性规划 .....	183
5.2.2	潮白河流域景观优化方案 .....	185
5.2.3	CLUE-S模型空间配置优化方案 .....	186
<b>第6章</b>	<b>流域森林景观恢复与重建经营技术对策</b> .....	<b>190</b>
6.1	流域森林可持续经营原则 .....	190
6.2	参与式的小流域森林景观恢复 .....	190
6.2.1	参与式的小流域森林景观恢复的目的 .....	191
6.2.2	参与式的小流域森林景观恢复的程序和步骤 .....	191
6.3	流域森林景观近自然森林可持续经营 .....	192
6.3.1	近自然森林可持续经营的目标分析 .....	192
6.3.2	近自然森林可持续经营的技术指标 .....	193
6.3.3	近自然森林可持续经营的作业模式 .....	195
6.3.4	近自然森林可持续经营的措施 .....	196
6.4	水源保护林的森林可持续经营 .....	196
	<b>参考文献</b> .....	<b>199</b>

# Content

**Foreword**

**Preface**

<b>Chapter1 Introduction</b>	1
1.1 Forest landscape spatial patterns and hydrological effects of LUCC for watersheds	1
1.1.1 Conception and analytical methods of landscape spatial patterns	1
1.1.2 Driving force analysis of landscape patterns evolution	7
1.1.3 Advance in optimization of landscape spatial patterns	8
1.1.4 Hydrological effects of LUCC	11
1.2 General situations of research areas	19
1.2.1 Natural general conditions of research areas	19
1.2.2 General conditions of researched watersheds	22
1.3 Research methods	30
1.3.1 Optimization process of forest landscape of watersheds	30
1.3.2 Hydrological responses process of LUCC	40
<b>Chapter2 Changes of landscape patterns and driving force analysis for Beijing mountainous areas</b>	47
2.1 Dynamic analysis of land use & cover change	47
2.1.1 Classification map from remote-sensing imagery interpretation of land use & cover change	47
2.1.2 General characteristics of land use & cover change	48
2.1.3 Transfer analysis of land use & cover change	51
2.1.4 Varying trend of land use & cover change	71
2.2 Evaluation of landscape patterns of land use & cover change	74
2.2.1 Correlation between landscape indices	75
2.2.2 Selection of landscape indices	75
2.2.3 Characteristic analysis of landscape types	76
2.2.4 Characteristic analysis of forest landscape heterogeneity	83
2.3 Driving force analysis of land use & cover change	91
2.3.1 Classification of driving factors of LUCC	91
2.3.2 Index-system of driving factors of land use & cover change	92
2.3.3 Driving factors analysis of land use & cover change	94
2.3.4 Driving force models of land use & cover change	98

2.3.5	Sustainable land use strategies and measurements for Beijing .....	100
<b>Chapter3</b>	<b>Restearch of forest landscape pattern changes and driving force analysis of watersheds .....</b>	<b>102</b>
3.1	Research of forest landscape pattern changes of Huairou Reservoir watershed .....	102
3.1.1	Analysis of basic characteristics of forest landscape patches in Huairou Reservoir watershed .....	105
3.1.2	Dynamic analysis of landscape heterogeneity in Huairou Reservoir watershed .....	113
3.1.3	Dynamic analysis of landscape diversity in Huairou Reservoir watershed .....	115
3.1.4	Transfer-matrix analysis of landscape types in Huairou Reservoir watershed .....	117
3.2	Research of landscape pattern changes in Chaobaihe watershed .....	119
3.2.1	Analysis of basic characteristics of forest landscape patches in Chaobaihe watershed .....	119
3.2.2	Dynamic analysis of landscape heterogeneity in Chaobaihe watershed .....	130
3.2.3	Dynamic analysis of landscape diversity in Chaobaihe watershed .....	131
3.2.4	Transfer-matrix analysis of landscape types in Chaobaihe watershed .....	133
3.3	Driving force analysis of forest landscape pattern changes of watersheds .....	139
3.3.1	Driving factor selection for forest landscape pattern change of watersheds .....	140
3.3.2	Driving force analysis of forest landscape pattern change in Huairou Reservoir watershed .....	142
3.3.3	Driving force analysis of forest landscape pattern change in Chaobaihe watershed .....	144
3.4	Analysis of water quality responses to landscape spatial patterns .....	147
3.4.1	Two stages of landscape pattern characteristics .....	148
3.4.2	Analysis of landscape spatial pattern change .....	149
3.4.3	Influence of landscape spatial pattern change on water resources .....	150
<b>Chapter4</b>	<b>Ananalysis of hydrological responses to land use &amp; cover change (LUCC) .....</b>	<b>151</b>
4.1	Basic change characteristics of precipitation and run off in Chaohe watershed .....	151
4.1.1	Calculation methods of watershed precipitation .....	151
4.1.2	Variation of annual precipitation and run off of watershed .....	152
4.1.3	Variation of seasonal precipitation and run off of watershed .....	155
4.2	Basic characteristics of change on precipitation and run off in Baihe watershed .....	157
4.2.1	Calculation methods of watershed precipitation .....	157
4.2.2	Variation of annual precipitation and run off of watershed .....	158
4.2.3	Variation of seasonal precipitation and run off of watershed .....	159
4.3	Influencing analysis of climatic factors on run off changes .....	161

4. 3. 1	Influencing mechanism of climatic factors on run off .....	161
4. 3. 2	Run off variation of watersheds under influences of climatic factors .....	161
4. 4	Tentative influencing analysis of human activities on run off changes ...	165
4. 4. 1	Influence of water-conservation projects building on run off .....	166
4. 4. 2	Influence of industrial agricultural and domestic water consumption on run off .....	168
4. 4. 3	Responses of run off to land use change .....	169
4. 4. 4	Hydrological effects of human activities indicated by hydrological characteristic parameters .....	169
4. 4. 5	Evaluation on influence of human activities on run off .....	171
<b>Chapter5</b>	<b>Research of optimization of forest landscape spatial pattern for watersheds</b> .....	<b>174</b>
5. 1	Optimization of forest landscape spatial pattern in Huairou Reservoir watershed .....	175
5. 1. 1	Linear programming with grey parameters ( LPGP) .....	175
5. 1. 2	Optimized scheme for landscape in Huairou Reservoir watershed .....	178
5. 1. 3	Optimized scheme for spatial allocation based on CLUE-S model .....	179
5. 2	Optimization of forest landscape spatial pattern for Chaobaihe watershed .....	183
5. 2. 1	Linear programming with grey parameters ( LPGP) .....	183
5. 2. 2	Optimized scheme for landscape in Chaobaihe watershed .....	185
5. 2. 3	Optimized scheme for spatial allocation based on CLUE-S model .....	186
<b>Chapter6</b>	<b>Management technological strategies for recovery and reconstruction of forest landscape in watersheds</b> .....	<b>190</b>
6. 1	Sustainable management principles of forest in watersheds .....	190
6. 2	Participation-type forest landscape recovery in watersheds .....	190
6. 2. 1	Aim of participation-type forest landscape recovery in watersheds .....	191
6. 2. 2	Programs and procedures of participation-type forest landscape recovery in watersheds .....	191
6. 3	Near-nature and sustainable management of forest landscape in watersheds .....	192
6. 3. 1	Aim analysis of near-nature and sustainable management of forest .....	192
6. 3. 2	Specifications of near-nature and sustainable management of forest .....	193
6. 3. 3	Working model of near-nature and sustainable management of forest .....	195
6. 3. 4	Measurements of near-nature and sustainable management of forest .....	196
6. 4	Sustainable management of water conservation forest .....	196
<b>References</b>	.....	<b>199</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 流域森林景观格局与土地利用/覆被变化水文效应

### 1.1.1 景观格局概念及分析方法

景观格局 (landscape pattern) 一般指大小、形状、属性不一的景观斑块在空间上的配置。景观格局作为景观生态学的一个重要概念, 其研究在生态学文献中占有很大比重 (Turner and Gardner, 1991)。景观格局分析主要是定量研究斑块在景观中的分布规律。分析空间格局的目的在于在表观上无序的景观中发现潜在的有意义的有序或规律 (李哈滨和 Franklin, 1988)。只有认识了空间结构是什么样的和为什么是那样的, 才有可能进一步设想和规划更合理的景观格局。格局、过程、尺度之间的相互关系的研究一直是景观生态学界的兴趣中心和本学科研究的核心所在。尺度 (scale) 一般指对某一研究对象或现象在空间上或时间上的量度, 在景观生态学中, 尺度往往以粒度 (grain) 和幅度 (extent) 来表示 (邬建国, 2000; 李博, 2000; 伍业钢和李哈滨, 1992); 格局往往是指空间格局, 即景观要素的类型、数目以及空间分布与配置等 (伍业钢和李哈滨, 1992; 肖笃宁, 1999)。景观生态学常涉及的生态过程有干扰传播、水文及小气候动态、景观演替等。格局、过程、尺度之间的关系, 简而言之就是过程产生格局, 格局作用于过程, 两者之间的关系又依赖于不同的研究尺度。尺度、格局都有强烈空间性质的概念。因此, 对景观的空间研究是分析景观格局、了解景观过程、把握景观动态的基础, 其意义不言而喻。

#### 1.1.1.1 斑块、廊道和基质的构型

景观要素的分布格局似乎是无限的, 但 Forman 和 Godron (1986) 在观察与比较各种不同景观的基础上, 认为组成景观的结构单元不外乎三种: 斑块 (patch)、廊道 (corridor)、基质 (matrix)。斑块泛指与周围环境在外貌或性质上不同, 并具有一定内部均质性的空间单位。斑块可以是植物群落、湖泊、草原、农田或居民区等, 因此, 不同类型斑块的大小、形状、边界以及内部均质程度都会表现出很大的不同。廊道是指景观中与相邻两边环境不同的线性或带状结构。常见的廊道有河流、道路、峡谷等。基质则是指景观中分布最广、连续性最大的背景结构。常见的有森林基质、草原基质、农田基质、城市用地基质等。

斑块-廊道-基质模式是在岛屿生物地理学和群落斑块动态研究 (Levin and Paine, 1974; Piakett, 1985) 之上形成和发展起来的。它为具体而形象地描述景观结构、功能和动态提供了一种“空间语言”。此外, 这一模式还有利于我们考虑景观结构与功能之间的相互关系, 比较它们在时间上的变化 (Forman, 1995)。

### 1.1.1.2 影响景观格局形成的主要因素

景观格局的成因可分为三种：非生物的、生物的和人为的。非生物的和人为的因素在一系列尺度均起作用，而生物因素通常只在较小的尺度上成为格局的成因。大尺度上的非生物因素（如气候、地形、地貌）为景观格局提供了物理模板，生物的和人为的过程通常在此基础上相互作用而产生景观格局。这种物理范本本身也具有其空间异质性或不同的格局。由于地质、地貌等物理范畴方面的空间异质性变化是很缓慢的，对于大多数生态学过程来说可以看做是相对静止的。因此这种物理性空间格局与生态学过程的关系主要表现为格局对过程的制约作用。自然或人为干扰是一系列尺度上空间格局的主要成因。由于其不同的起源和性质，在联系空间格局与生态学过程时，对于干扰的特征有必要加以认识。现实中，景观格局往往是许多因素和过程共同作用的结果，故具有多层异质性结构。

景观格局形成的原因和机制在不同尺度上往往是不一样的。反过来说，不同因素在景观格局形成过程中的重要性随尺度而异。例如，温度和降水量决定了全球主要植被类型的空间格局，而区域生态系统类型则明显地受到海拔高度和其他地形特征的影响。在小尺度上（如局部生态系统），捕食、竞争、植物-土壤相互作用等生物学过程对于空间格局的形成往往起到重要作用。概而言之，气候和地形因素通常决定景观在大范围内的空间异质性，而生物学过程则对于小尺度上的斑块性有重要影响。例如，一些研究表明，海洋生态系统中浮游植物及其空间分布在大尺度上主要受物理过程的影响（海水的运动），因此可以用流体动力学来解释；而在小尺度上，这些浮游生物的斑块性分布是生物学作用的结果，必须用个体行为生态学来解释。在森林景观中，大尺度格局往往反映自然地理边界、土地利用变化或大面积干扰的影响；流域内地形变化可导致由不同树种占优势的局部植物群落出现；而在森林立地内，异质性常常由个体树木水平的林隙动态所致。

### 1.1.1.3 景观空间分析的主要内容

无论是对景观空间要素的分析，还是对景观要素的空间分析，其最终目的都是在一定的景观尺度上，通过对景观要素的分析，剖析景观空间结构与空间异质性，对景观过程给予合理的解释，建立“格局、过程、尺度”之间的相互映射关系（陈文波等，2002）。

#### 1) 景观空间形态分析

在“斑块-廊道-基质”的景观生态模式下，景观要素可以抽象为一般的点或面（斑块和基质）、线（廊道）空间要素进行研究。一般认为：斑块大小对景观能量与养分、物种的多样性等均有较大影响；而斑块的形状则影响到生物的迁移、内部种与边缘种的多少；廊道的宽度、形状也影响到多种景观功能。因此，对景观要素面积、周长及形状的空间研究是景观空间研究的基础与重点，有关这方面的研究也很多（Baker and Cai, 1992）。基于分形理论的景观分维分析在景观空间分析中得到广泛应用。所谓分形，是指局部与总体具有某种相似性，或者说在不同尺度上看起来基本相似的形状，即具有自

相似性 (Skinner, 1995)。分形理论由美国科学家 B. B. Mandelbrot 于 20 世纪 70 年代中期创立, 用于刻画自然界与人类社会中一些不规则、不稳定和具有高度复杂结构的对象 (Mandelbrot, 1977)。分维是描述分形结构的一种参数, 其常见的数学定义有容量维数、信息维数、关联维数、相似维数等。在景观空间分析中, 对于形形色色的研究对象, 常采用的具体做法主要有面积周长法和变异函数法。分形分析是研究景观要素形状复杂程度的有力工具。研究发现, 分维数与人类对景观的管理密切相关 (O'Neill et al., 1988; Hulshoff, 1995)。小的分维意味着人类对景观的干扰大或地理条件单一, 所以通过分维大小可以判定景观要素受人类活动影响的大小。分形分析在景观空间形态的分析中十分常用 (常学礼和邬建国, 1998; Turner and Ruscher, 1988)。

## 2) 景观空间关系分析

景观空间关系主要考虑两个方面, 即景观要素的空间距离与分布。景观空间分布分析是从总体的、全局的角度来描述景观要素特性的空间分析。因为景观生态学研究的核心内容是景观异质性的维持和发展, 各种景观要素错综复杂的组合形成各具特征的景观, 因此研究景观异质性的核心也就是分析景观要素的水平分布 (肖笃宁, 1991)。所以, 景观空间分布分析在景观空间分析中占有重要地位。景观空间分布可以用各种景观要素 (斑块、廊道等) 的分布参数定量化描述, 例如, 斑块 (廊道) 分布密度, 斑块面积的均值、离差、极值等。有关这方面的分析在分析景观空间格局与动态及相关的趋动因子的研究中很常用 (曾辉等, 2000)。景观空间分布也可以从确定景观要素分布类型, 并与景观过程建立某种联系上加以考虑。例如, 研究某一景观上的农业用地的分布型, 若是随机型的, 则说明该生态区上的农业还属于无序开发状态, 对生态环境影响较大, 很可能阻止某些景观正常功能的发挥, 因而需要进一步加强管理。但郭晋平等通过对关帝山林区景观要素的空间分布型进行研究, 发现各种分布型之间的拟合结果常常相互矛盾, 认为分析结果不能为景观要素的空间分布特性提供必要的信息 (郭晋平和张云香, 1999)。

近些年来, 熵的研究在国内外引起了很大关注 (肖笃宁, 1991; 赵羿等, 1999)。信息熵理论引入景观生态学以来, 对景观生态学的发展起了很大的推动作用。在所研究地区的地图、航片或实际景观上设置若干条线, 沿线等长分割标记, 记录每一段上各景观类型的缺失, 随后应用信息熵原理进行统计分析, 研究景观要素的空间分布特征。景观空间聚类是研究景观空间分布的有效手段。景观空间聚类分析的目的是对景观要素的集群性进行分析, 将其分为几个不同的子类。子类的形成可能是某个景观过程作用结果, 因此根据空间分类的结果可以揭示某些生态机理 (郭仁中, 2000)。例如, 可以把森林资源斑块的某些感兴趣的属性信息 (植被种类、单位面积的蓄积量、郁闭度、森林立地状况等) 的聚类分析结果与空间聚类结果联系起来, 建立某种对应关系, 以求得属性信息的空间解释, 揭示森林生产力分布等多种生态过程与格局之间的联系, 加深对森林生态过程的景观理解。在进行景观设计时, 景观空间聚类也很有用武之地。例如, 绿地或公园一般是根据居民区而非单个居民点设计的, 因此可以利用景观空间聚类来简化问题、突出重点。目前, 空间聚类在景观生态学中的应用不多, 对其研究还有待深入。

### 3) 景观空间构型分析

与前两种景观空间分析相比,景观空间构型分析更注重反映由景观要素构成的景观总体特征。景观空间构型分析的主要目的是通过研究景观构型,确立景观格局之间相似与相关关系。相似与相关关系具有两个方面的含义(郭仁中,2000):一是指空间物体在形态上的相似与相关;二是指空间物体在结构上的相似与相关。Forman曾根据景观结构特征划分出4种景观类型,即斑块散布的景观、网络状景观、指状景观和棋盘状景观(Forman and Godron, 1986)。4种景观中斑块分布构型不同,对应的基本生态过程也各异。粗粒景观与细粒景观由于在结构上的差异,其对应的景观功能也不同(Forman, 1995)。因此,可以通过景观相似与相关分析,与已知结构和功能的景观相比较,对未知景观的结构与功能进行推断。目前,有关这方面的研究在景观空间分析中还不常见。

### 4) 景观动态分析

景观动态变化是指景观过去、现状和未来的发展趋势。它需要回答景观是怎样变化的,以及为什么这样变化和变化的结果等问题。这就涉及景观的稳定性,景观变化的驱动因子以及景观动态变化的方式等内容研究。

景观的稳定性可以从两个方面来理解:一方面是从景观变化的趋势看景观稳定性,Forman和Godron(1986)在《景观生态学》一书中对景观随时间的变化做出了总结,并进行了很好的分析;另一方面是从景观对干扰的反应来认识景观的稳定性,在这种情况下,景观稳定性就是系统两种特征——恢复和抗性的产物。

景观变化的驱动因子一般可以分为两类:一类是自然驱动因子,常常是在较大尺度上作用于景观,它可以引起景观的面积发生变化;另一类是人为驱动因子,它包括人口、技术、政治经济体制、政策法规以及文化等因子,它们对景观的影响十分重要。

景观动态变化的方式根据研究景观变化的侧重点不同,可以分为两种方式:一种是景观空间变化动态,包括斑块数量和大小的变化、廊道的数量和类型的变化、景观要素的配置变化等;二是景观过程变化,是指在外界的干扰条件下,景观中物种的扩散、能量的流动和物质的运移等变化情况。实际上,景观空间变化和景观过程变化是同一变化中的两个方面,过程变化是空间变化的原因,空间变化反过来又影响过程变化。

#### 1.1.1.4 景观格局分析方法

景观生态学研究最突出的特点是强调空间异质性、生态学过程和尺度的关系。研究空间异质性自然会用到一些已经在生态学中应用的空间格局分析方法,同时又有必要发展新的方法来弥补传统方法的不足。此外,对于景观生态学过程的研究离不开生理、行为、种群、群落和生态系统生态学的一系列方法。生态学长期以来没有建立把空间格局、生态学过程和尺度结合到一起的相互关系模型。这一特点也已成为景观生态学与其他生态学科的主要区别之一。

研究景观的结构(即组成单元的特征及其空间格局)是研究景观功能和动态的基础。空间格局分析方法是指用来研究景观结构组成特征和空间配置关系的分析方法。它不仅包括一些传统的统计学方法,同时也包括一些新的、专门解决空间问题的格局分析



方法。分析景观结构或空间格局一般由以下几个基本步骤组成：收集和处理景观数据（如野外考察、测量、遥感、图像处理等），然后将景观数字化，并适当选用格局研究方法进行分析，最后对分析结果加以解释和综合。景观的数字化有两种表达方式：一种是栅格化数据；另一种是向量化资料。前者以网格来表示景观表面特征，每一个网细胞对应于景观表面的某一面积，而一个斑块可由一个至多个网细胞组成；后者则以点、线和多边形表示景观的单元和特征，例如，一个斑块对应于一个多边形，而线段往往表示道路和河流。景观数据包括非空间的和空间的，而空间数据又可分为点格局数据（如单个树木的分布）、定量空间数据（如生物量）和定性空间数据（如植被类型图）。景观生态学中的空间分析方法有多种，它们分别适应于不同的研究目的和数据类型。这些方法可分为两大类：格局指数方法和空间统计学方法。前者主要用于空间上非连续的类型变量数据，而后者主要用于空间上连续的数值数据。

### 1) 景观指数

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息，反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指针。景观格局特征可以在三个层次上分析：一是单个斑块水平（patch level）；二是由若干个斑块组成的斑块类型（class level）；三是由若干个斑块类型组成的景观镶嵌体（landscape level）。同时景观格局指数包括两部分，即景观单元特征指数和景观异质性指数（landscape heterogeneity index）。景观单元特征指数是指用于描述斑块面积、周长和斑块数等特征的指针；景观异质性指数包括多样性指数（diversity index）、镶嵌度指数（patchiness index）、距离指数（distance index）以及景观破碎化指数（landscape fragmentation index）四类。应用这些指数定量地描述景观格局，可以对不同景观进行比较，研究它们结构、功能和过程的异同。

### 2) 空间统计学方法

单一景观要素，如某一植被类型，可由各种大小参差、形状不一的斑块有机地结合起来而形成自己的格局，这样的格局反映了景观要素的自身特征，同时也反映了景观本底的空间变化，还反映了景观要素之间的相互关系以及各种生态因子对格局的影响。在景观生态学中，这一类景观格局最为重要，是研究最多的格局，相应的研究方法也是比较成熟的。下面简单介绍三种比较常用的分析方法。

#### A. 空间自相关分析

空间自相关分析是检验某一景观要素的观测值是否显著地与其相邻空间点上的观测值相关联。如果相邻两点上的值均高或均低，则称其为空间正相关，否则称为空间负相关。空间自相关分析在景观生态学中应用较多，现已有多种指数可以使用，但最主要的有两种指数，即 Moran 的  $I$  指数和 Geary 的  $C$  指数。

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (1-1)$$