

基于GIS的县域森林景观空间格局等级特征研究

孟超¹ 王计平² 支晓蓉² 胡艳萍³ 张德成³ 王蕾⁴

(1. 河北农业大学林学院, 保定 071000; 2. 中国林业科学研究院国家林业局盐碱地研究中心, 北京 100091;
3. 中国林业科学研究院林业科技信息研究所, 北京 100091; 4. 北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 县域作为协调人类活动与自然资源关系的基本单元,是造林绿化和森林景观资源经营的重要空间。以河北省易县为例,以森林资源二类清查资料和土地利用资料为基础,基于GIS技术,通过景观等级类型划分、景观指数筛选和主成分分析法,对县域尺度森林景观空间格局及其等级特征进行了多层次研究。结果表明:林地景观占全域面积的58.4%,杨树、油松、柞树、山杏等林种和经济林是优势森林景观;景观分离度(SPLIT)、多样性指数(SHDI)和斑块密度(PD)等对组织层次变化响应强烈,随着组织层级细化,景观破碎化程度增大,斑块面积、数量等特征逐渐增强;在景观和类型水平,组织层级越高,森林景观蔓延和聚合趋势越明显,组织层次越细,各森林景观类型空间集聚、丛生化程度越明显,景观斑块边缘效应越突出。研究区森林景观与地形、土地利用类型等因素相互耦合,从山区到平原区,随着人类活动影响增强,森林景观破碎化、斑块形状复杂性及空间差异增大,因此森林景观资源健康管理应注重对景观多样性、空间分割程度、核心斑块面积和数量等关键指标的控制。

关键词: 县域; 景观格局; 组织层次; 等级特征; GIS; 森林健康经营

中图分类号: S757.2; S718.55⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)10-0187-08

Spatial Characteristics of Forest Landscape in County Level Based on GIS

MENG Chao¹ WANG Jiping² ZHI Xiaorong² HU Yanping³ ZHANG Decheng³ WANG Lei⁴

(1. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China

2. Research Center of Saline and Alkali Land of State Forestry Administration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3. Research Institute of Forestry Policy and Information, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

4. College of Forest, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: As a basic unit to coordinate the relationship between human activities and natural resources, county is an important area to carry out afforestation project and forest landscape resources management. The case study site was Yixian County of Hebei Province, which is well known for its landscape diversity, more forestation and high forest coverage. With the support of geographic information system (GIS) and principal component analysis (PCA), and based on the date of forest resources inventory and land use, the forest landscape patterns and its hierarchical characteristics were studied at county scale. The results showed that woodland landscape accounted for more than 58% of the total area, poplar, *Pinus tabulaeformis*, oak trees, apricot and other economic forest were the dominant forest landscape; splitting index (SPLIT), Shannon's diversity index (SHDI) and patch density (PD) exhibited a strong response to the changes in three levels of organizational hierarchy. With the refinement of the organization level, the degree of landscape fragmentation was increased, the area and quantity of the patch were increased gradually. The higher the organization level in the landscape level and patch type level was, the more obvious the trend of forest landscape contagion and cohesion was, in contrast, the more fine the organization level was, the more obvious the forest landscape aggregation and clumpiness was, and the more prominent the edge effect of the landscape patch was. Moreover, it proved that many factors affected forest landscape patterns and coupled with each other, such as terrain, land use type and living

收稿日期: 2018-07-12 修回日期: 2018-08-17

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2017ZA007-3、CAFYBB2017MB038)和林业软科学研究项目(2018-R5)

作者简介: 孟超(1990—),男,博士生,主要从事森林资源经营管理研究,E-mail: bdlymc0227@163.com

通信作者: 王计平(1978—),男,副研究员,博士,主要从事生态脆弱区植被恢复和景观生态格局评价与优化研究,E-mail: wjp_gis@163.com

environment. From mountain to plain area, with the enhancement of the human activities and forest landscape, the forest landscape fragmentation, complexity of patch shape and its spatial difference were increased gradually. Therefore, the health management of forest landscape resources should be focused on the key indicators such as landscape diversity, spatial segmentation, core patch area and number, and so on.

Key words: county; landscape pattern; organizational level; hierarchical characteristics; geographic information system; forest health management

0 引言

县域作为城市与农村的交汇区,是协调人类活动与自然环境关系的基本单元。相对于人工化程度较高的城市,县域是森林、草地等自然景观资源分布较多的区域^[1]。此外,从生态建设及责任主体看,县域是执行林业发展政策、落实国土绿化任务的重要空间。我国的退耕还林还草、速生丰产林基地建设等许多重大林业生态建设工程,以及森林城市建设都是基于县域来实施的^[2]。森林植被作为一种特殊的生态景观类型,是县域生态系统的重要组成部分^[3],承担着维持自然生态平衡、改善生态环境等重要功能。开展县域森林景观格局研究,可深化县域水平森林生态系统结构与功能及相互作用关系认识,对指导县域森林资源保护、维持森林景观异质性、提升综合服务功能具有重要意义^[4-6]。

森林景观是以森林生态系统为主体所构成的景观,它不仅具有林分、树种、林种等森林资源组成结构,而且与土地利用类型^[7]、环境条件^[8]等因素耦合,共同形成一个具有高度空间异质性的地域综合体。森林景观异质性和功能多样化形成的重要原因就是森林系统的等级结构,表现在系统层次、组织尺度和关联性等方面^[9]。目前围绕这些方面,国内外学者开展了许多研究,如森林景观分类^[10]、森林健康多尺度评价^[11]、景观水平森林采伐影响^[12]、森林景观类型及其尺度关联^[13]、森林景观斑块耦合机理^[14]等。普遍认为,森林景观存在异质性,其大小及分异程度与组织尺度、系统分类等有关^[15],不同尺度间森林景观格局具有一定耦合规律和关联效应^[16]。以往研究多关注于森林景观分类、空间关联及其尺度效应,而对不同等级景观空间格局特征及其关键指标的研究较少^[15-19]。由于森林系统自身结构的复杂性,且与草地、河流、农田、居民区等要素关联和耦合^[14,20],由此赋予了森林景观格局特殊的等级特点和功能内涵,特别是在降低人类干扰^[21]、优化景观格局^[22]、实现森林资源健康经营^[23]等目标的要求下,亟待需要综合考虑人类活动与自然环境相互关系,从景观生态学视角理解特定区域的森林景观格局特征^[24-26]。本文以县域为基本单元研

究森林景观格局等级特征,揭示不同组织层次决定和控制景观格局的关键指标,以期为县域尺度上森林生态系统保护、森林景观资源优化利用和自然资源综合管理提供重要参考。

1 研究区概况

易县位于河北省中西部,保定市西北部,西倚太行山脉,东临冀中平原,地理坐标 114°51′~115°37′E, 39°02′~39°35′N(图1)。境内有山地、丘陵、平原等地貌类型,地势自西北向东南倾斜,呈坡状延降而下,平均海拔 300 m 左右,最高海拔 1 813 m。土壤类型多,有棕壤土、褐土、潮土、草甸土、水稻土、风沙土等。易县属温带大陆性半干旱季风气候,山区为半湿润气候,平原为半干旱气候。全年降雨量在 570~670 mm 之间,降雨量年内分配不平衡,多集中在 6—8 月。全年日照 2 621 h,年平均气温 11.9℃,极端最低气温 -23℃,极端最高气温 41℃。易县地处太行山区,森林植被随海拔变化有明显分布,主要植被类型有落叶阔叶林、针叶林和针阔混交林,山地和丘陵面积大,适宜造林空间大,截止 2017 年底,全县林木绿化率达到 55.06%。

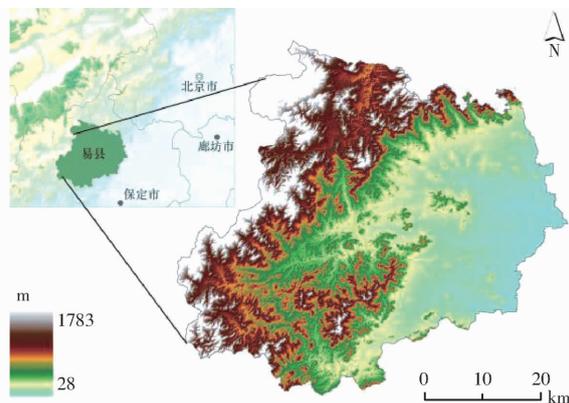


图1 研究区位置及高程分布

Fig. 1 Location of study site and its elevation distribution

2 研究方法

2.1 数据收集与处理

以 2016 年易县森林资源二类清查数据为基础,基于 GIS 进行数据整理、统计和分析。数据处理包括:投影系统转换、景观重分类、地类属性校对、查询

统计、矢栅转换、表单链接等。数据处理软件为 ArcGIS 9.3 和 Excel 2016。景观类型的栅格分辨率为 5 m × 5 m。

2.2 森林景观类型及等级划定

易县全域有 629 个林业作业管理单元(林班),不同用地类型斑块 90 142 个,共 30 种用地类型,其中林地类 14 种,自然土地、人居及生存用地、其他用地类型共 15 种(表 1)。根据等级理论,不同组织层

级之间,高层级具有整体性,低层级对高层级表现为从属关系,而对更低层级具有制约性,基于此,本文将 30 个三级地类(精细层级)归并为 17 个二级地类(分化层级)和 4 个一级地类(整合层级)(表 1 和图 2~4)。

2.3 景观指数选取与计算

为了全面揭示全域森林景观格局等级特征,从面积、边缘、形状、邻近关系、多样性、聚散性等方面

表 1 景观分类系统

Tab.1 Landscape classification system

整合层级	分化层级	精细层级
林地(1)	乔木林地(11)、灌木林地(12)、疏林地(13)、未成林造林地(14)、苗圃地(15)、无立木林地(16)、宜林地(17)、辅助生产林地(18)	杨树类(111)、桦树类(112)、油松(113)、落叶松(114)、山杏类(115)、柞树类(116)、经济林(117)、灌木林地(121)、特灌林地(122)、疏林(131)、未成林(141)、苗圃(151)、无立木(161)、宜林地(171)、辅林地(181)
自然土地(2)	水体(21)、湿地(22)、荒地(23)	河流(211)、湿地(221)、湖泊(222)、荒山(231)、牧地(232)
人居及生产用地(3)	耕地(31)、居民点及城建用地(32)、交通用地(33)、工矿用地(34)	耕地(311)、城乡居民点(321)、绿地(322)、街道(323)、铁路(331)、等级路(332)、乡村路(333)、工矿(341)
其他用地(4)	未利用地(41)、裸岩(42)	未利用地(411)、裸岩(421)

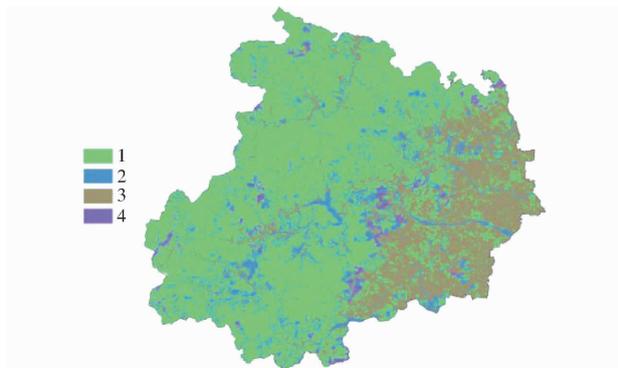


图 2 研究区地类整合层级(4 种)

Fig.2 Integration level of land use type (4 classes)

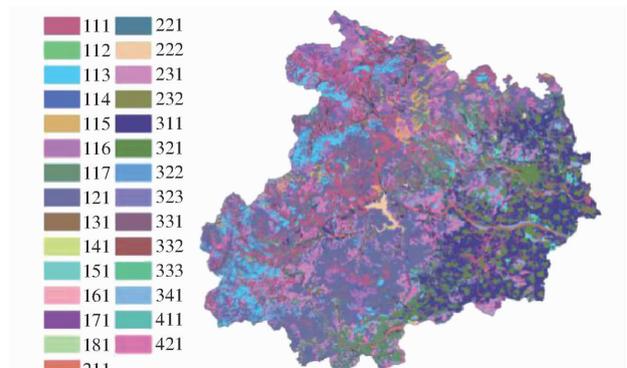


图 4 研究区地类精细层级(29 种)

Fig.4 Fine level of land use type (29 classes)

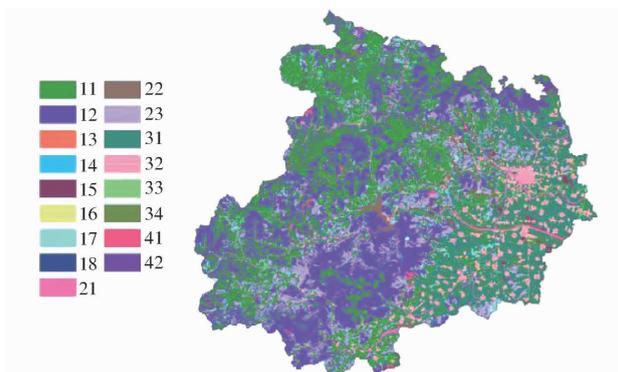


图 3 研究区地类分化层级(17 种)

Fig.3 Differentiation level of land use type (17 classes)

分别在景观水平和类型水平上选取代表性指数作为初选指数,其中景观水平上选取 41 个指数,类型水平上选取 39 个指数。由于部分景观指数之间存在明显相关性,为了将入选指数的数量减少到一个可操作的水平,对入选指数进行相关性分析,计算各指

数的皮尔森积矩相关系数,筛查相关程度较高的指数(大于 0.81),根据其可解释能力进行剔除。某对指数在某一数据集中呈现高度相关关系,而在另一组数据中却无明显相关,在这种情况下,该景观指数对将被保留。最终在类型水平确定 18 个指数,分别是斑块数量(PD)、总边缘长度(TE)、景观形状指数(LSI)、平均斑块面积(AREA_MN)、平均回转半径(GYRATE_MN)、平均形状指数(SHAPE_MN)、平均周长面积比(PARA_MN)、平均邻近指数(CONTIG_MN)、核心斑块总面积(TCA)、独立核心斑块数量(NDCA)、独立核心斑块密度(DCAD)、平均离散核心斑块面积(DCORE_MN)、平均核心面积(CAI_MN)、丛生度(CLUMPY)、相似邻近百分比(PLADJ)、连接度(CONNECT)、凝结度(COHESION)、分离度(SPLIT);在景观水平确定 23 个指数,分别是斑块数量(PD)、最大斑块指数

(LPI)、景观形状指数(LSI)、平均回转半径(GYRATE_MN)、平均形状指数(SHAPE_MN)、平均分维数(FRAC_MN)、平均周长面积比(PARA_MN)、平均邻近指数(CONTIG_MN)、核心斑块总面积(TCA)、独立核心斑块数量(NDCA)、平均核心斑块面积(CORE_MN)、平均离散核心斑块面积(DCORE_MN)、平均核心面积(CAL_MN)、平均最邻近距离(ENN_MN)、蔓延度(CONTAG)、连接度(CONNECT)、凝结度(COHESION)、分割度指数(DIVISION)、有效网格面积(MESH)、分离度(SPLIT)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、聚集度指数(AI);各指数采用FRAGSTATS 3.3软件进行计算,公式及说明见文献[27]。

2.4 统计分析

为了对景观指数及数据信息进一步压缩,按照降维原理,对计算景观指数数据集进行预处理,去除掉景观数据中的一些冗余信息和噪声,使数据变得更加简单高效。主成分分析(Principal component analysis,PCA)是一种使用最广泛的数据压缩算法,可以从数据中识别主要特征,通过将数据坐标轴旋转到数据角度上那些最重要的方向(方差最大),然后通过特征值分析,确定出需要保留的主成分个数,舍弃其他主成分,从而实现数据的降维^[28]。运用主成分分析法来确定最后入选的指数,为了辨识关键的景观指数,在3个组织层次上分别进行PCA计算,PCA分析的最终结果用主成分载荷系数来解释。为了增强计算结果的解释能力,应用方差最大法对前6个主分量进行正交旋转。在前几个主成分中具有最高载荷的指数被认为是响应最重要的指数。

3 结果与分析

3.1 县域景观组成与分布特点

研究区景观类型总面积为2497 km²。境内景观以林地为主,占总面积的58.4%,主要分布在西部和北部山区;自然土地占12.19%,主要分布于浅山丘陵和河道两岸,人居及农业生产用地占27.35%,主要分布在东部和南部平原区,其他用地占2.07%,零散分布于自然土地周边。从森林景观组成来看,全域林地总面积14587 km²,其中,乔木林面积比为32.35%,灌木林面积比为24.34%,其余森林景观占1.71%。在乔木林景观类型中,杨树类占45.09%,油松类占19.09%,经济林占19.02%,柞树类占11.07%,山杏类占5.68%,落叶松类占0.04%,桦树类占0.01%。

3.2 景观格局对等级组织层次变化的响应

对景观水平上不同组织层次入选指数平均值分析发现(表2),景观分离度、斑块密度和香农多样性指数对组织层次变化的响应程度较为突出,随着组织层级精细化,各景观指数不断增加,变幅分别达到了214.6%、126.1%和115.38%。其次为景观形状指数、独立核心斑块数量、景观分割度等指数变化明显,分别增加41.18%、69.19%、57.69%。随着组织层次的变化,降低最明显的指数有核心面积分布、离散核心斑块分布、有效粒度尺寸、最大斑块指数等,分别降低77.15%、75.92%、64.77%、49.87%。随着景观系统组织层级精细化,景观类型丰富化明显,景观破碎化程度加强,整体空间分化程度相应地增加,同时等级精细化也降低了景观核心斑块和有效粒度的大小,这意味着在县域尺度上,随着森林景观系统层级逐步分化和细化,景观异质性表现更加活跃,森林景观资源管理应注重对景观多样性、空间分割程度、森林核心斑块数量和面积等指标控制。

表2 景观水平不同组织层级景观指数平均值及变化程度
Tab.2 Average value and change of landscape indices for different organizational levels in landscape level

指数	整合层级	分化层级	精细层级	变化率/%
PD	8.85	17.91	20.01	126.10
LPI	62.20	35.76	31.18	-49.87
LSI	5.44	7.35	7.68	41.18
GYRATE_MN	129.92	97.92	95.54	-26.46
SHAPE_MN	2.09	2.04	2.01	-3.83
FRAC_MN	1.13	1.13	1.13	0.00
PARA_MN	985.99	1179.88	1147.93	16.42
CONTIG_MN	0.86	0.83	0.84	-2.33
TCA	196.46	141.07	133.00	-32.30
NDCA	21.81	34.78	36.90	69.19
CORE_MN	13.35	3.50	3.05	-77.15
DCORE_MN	23.71	6.39	5.71	-75.92
CAL_MN	9.46	6.92	6.83	-27.80
ENN_MN	95.88	101.15	110.72	15.48
CONTAG	66.92	64.62	63.91	-4.50
CONNECT	16.06	15.38	15.57	-3.05
COHESION	99.60	99.16	99.03	-0.57
DIVISION	0.52	0.79	0.82	57.69
MESH	176.59	78.47	62.22	-64.77
SPLIT	3.15	7.82	9.91	214.60
SHDI	0.65	1.22	1.40	115.38
SHEI	0.58	0.63	0.64	10.34
AI	98.00	97.15	97.05	-0.97

3.3 景观水平不同组织层级景观格局特征及关键指标

在由4种景观类型组成的整合层级上,前4个主分量可解释所有数据集变异的76.24%(表3)。

在第一主成分 (PC1) 上有 10 个以上高度相关的指数,其中,蔓延度、聚集度、最大斑块指数等表现出较高的正载荷,而景观斑块数量、形状指数、分割度、分裂度、多样性、均匀度等指标在这个主成分中表现出极强的负载荷,这表明在整合层级上景观格局主要呈现出较大斑块面积、复杂的斑块形状、景观多样性水平和空间聚合度相对低等特点,在第二主成分 (PC2) 和第三主成分 (PC3) 上,景观斑块边缘、形状等特征指标表现出明显的高载荷;在 17 种景观类型构成的分化层级上,景观破碎化、斑块大小、空间聚合、多样性等方面的指标依然在第一、第二主分量上表现出高的相关性,且对比于整合层级 (4 种类型),这些高相关的指数载荷均呈现降低趋势,而平均斑块核心面积、有效粒

度尺寸等指标与主分量轴的相关性趋于增加,表现为较高的正载荷,这说明景观分割程度在增强,核心斑块的作用逐步加强。在 30 种景观类型构成的精细层级上,景观破碎化、斑块大小、空间聚合、多样性等方面的指标依然表现得很活跃,在第一主分量 (PC1) 上均呈现出较高的相关性,且与前两个组织层级表现为一致的正负载荷分布,但从相关程度变化可看出,随着景观类型进一步精细,景观破碎化、邻近指数、有效粒度尺寸等指标的载荷增加,景观形状、最大斑块面积、核心斑块指数、蔓延度、凝结度、分裂度、多样性、均匀度、聚集度等指标与主成分旋转轴之间的相关性程度在降低,此外平均回转半径和平均边缘面积分维指数的贡献及解释能力达到了较高水平。

表 3 景观水平不同层级景观指数主成分载荷

Tab.3 Principal component loadings for different organizational levels

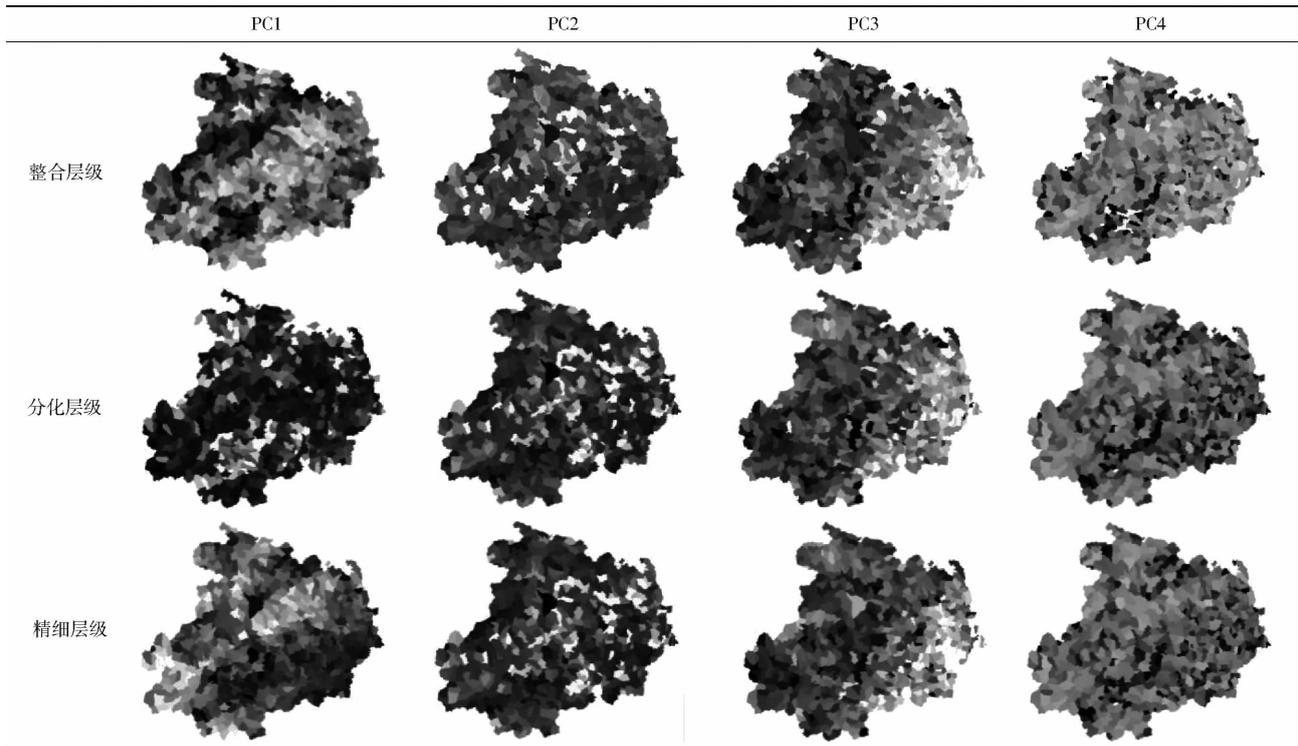
指数	整合层级 (4 类)				分化层级 (17 类)				精细层级 (30 类)			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4
PD	-0.75	-0.16	-0.29	0.21	-0.74	-0.43	-0.27	0.01	-0.75	-0.47	-0.11	-0.01
LPI	0.87	-0.25	-0.26	-0.06	0.82	-0.41	-0.07	0.00	0.82	-0.40	0.06	0.03
LSI	-0.81	-0.18	0.39	-0.16	-0.68	-0.24	0.63	-0.11	-0.76	0.02	0.58	-0.11
GYRATE_MN	0.57	0.52	0.50	0.30	0.54	0.71	0.27	0.21	0.57	0.73	0.09	0.18
SHAPE_MN	-0.01	-0.26	0.79	0.07	0.06	0.07	0.76	0.58	-0.01	0.30	0.69	0.61
FRAC_MN	-0.10	-0.55	0.65	0.08	-0.07	-0.41	0.63	0.53	-0.18	-0.18	0.74	0.52
PARA_MN	-0.18	-0.76	0.02	0.45	-0.21	-0.74	-0.24	0.05	-0.18	-0.80	0.05	-0.05
CONTIG_MN	0.18	0.77	0.01	-0.44	0.21	0.74	0.26	-0.05	0.17	0.81	-0.02	0.05
TCA	0.42	-0.24	0.57	-0.43	0.51	0.05	0.52	-0.37	0.51	0.21	0.54	-0.39
NDCA	-0.73	0.00	0.39	-0.25	-0.55	-0.06	0.67	-0.23	-0.61	0.20	0.57	-0.27
CORE_MN	0.62	0.38	0.43	0.23	0.76	0.28	0.18	0.01	0.74	0.30	0.21	-0.03
DCORE_MN	0.70	0.16	0.31	0.24	0.62	-0.05	0.05	-0.01	0.59	-0.05	0.20	-0.06
CAL_MN	0.51	0.65	0.26	0.32	0.49	0.73	-0.08	0.14	0.57	0.62	-0.22	0.10
ENN_MN	0.37	0.10	-0.03	-0.30	0.36	0.34	0.03	-0.44	0.39	0.39	-0.01	-0.38
CONTAG	0.91	-0.20	0.00	0.04	0.77	-0.43	0.15	-0.02	0.79	-0.35	0.23	-0.03
CONNECT	0.14	0.02	0.05	0.54	0.33	0.14	-0.40	0.68	0.40	-0.05	-0.40	0.63
COHESION	0.85	-0.22	-0.04	-0.18	0.82	-0.23	0.19	-0.12	0.84	-0.10	0.18	-0.13
DIVISION	-0.90	0.22	0.21	0.02	-0.84	0.38	0.09	-0.02	-0.83	0.38	-0.06	-0.04
MESH	0.65	-0.37	0.35	-0.39	0.74	-0.34	0.33	-0.25	0.75	-0.17	0.45	-0.22
SPLIT	-0.78	0.27	0.33	0.07	-0.76	0.27	0.22	-0.04	-0.76	0.26	0.21	-0.06
SHDI	-0.89	0.19	0.12	-0.10	-0.83	0.27	0.04	-0.15	-0.84	0.25	0.02	-0.14
SHEI	-0.89	0.23	-0.01	-0.05	-0.72	0.49	-0.18	-0.01	-0.74	0.39	-0.26	-0.01
AI	0.90	0.10	-0.12	-0.05	0.83	0.26	-0.28	-0.12	0.88	0.12	-0.26	-0.13
变异/%	44.18	13.19	11.88	6.99	39.42	16.79	12.57	7.22	41.58	15.91	11.97	6.93
累积变异/%	44.18	57.37	69.25	76.24	39.42	56.21	68.79	76.00	41.58	57.49	69.46	76.39

对景观水平上 659 个林班单元景观格局旋转主成分分值情况进行分析表明,在整合层级上,从旋转主成分的分值来看,在林班单元研究区西部和北部呈优势分布的森林景观类型蔓延度趋势表现较为突出,景观斑块形状规则,边缘复杂,各景观类型斑块邻近程度空间变异明显;在分化层级上,高值区主要分布在西部浅山区和深山区之间,该区域为灌木林

地和乔木林景观集中分布地区,主要特点为景观空间分割明显,破碎化程度大,斑块形状及边缘趋于复杂化;在精细层级上,第一主成分高值区主要分布于南部浅山地区和东部人居及农业生产活动较大的区域,表现为林地和耕地主导下景观聚集化程度明显,而在其他主成分上,蔓延度、景观分维数等指标分值大小在县域上呈现明显空间分化 (表 4)。

表4 研究区林斑旋转主成分分值(颜色越深分值越高)

Tab.4 Rotated component scores of study area (darker tones represented greater values)



3.4 类型水平森林景观格局特征及关键指标

在整合层级中,林地的景观凝结度、斑块内部连接度较高,核心斑块总面积(TCA)优势明显,但林地景观斑块破碎化和复杂化对整个景观格局的反向影响明显,这说明林地景观作为优势景观类型,格局上具有典型的地段、集群分布特征,但在整个县域,受其他景观类型分布及相互影响,表现为明显的景观破碎化和形状复杂化(图5)。

在分化层级中,乔木林景观与整个林地景观格局特征表现较为相似,景观凝结程度、斑块内部连接度等高于整合层级林地景观,而在景观破碎化程度方面低于整个林地景观。灌木林景观在整体凝结度、斑块内部连接度等方面表现为与乔木林景观一致的特征,此外在独立核心斑块数量、密度及总边缘长度方面,灌木林比乔木林和整个林地景观表现出明显的优势。

在精细层级中,杨树类景观以凝结度、斑块内部连接度、核心斑块面积、数量、密度及边缘长度等指标贡献明显为主要特征,这一特征也从较高的回旋半径指数相对应;油松林景观除整体凝结度、独立核心斑块面积、数量等特征与杨树类景观相似外,丛生度信息影响显著,但景观破碎化程度、形状复杂性和总边缘长度等信息的反向影响明显;山杏类和柞树类景观斑块的聚集特征也类似,但景观破碎化和复杂程度表现为正向影响;经济林在景观整体凝结度、

斑块形状、面积、数量及边缘长度等信息的正向影响程度较高,但景观丛生度、聚集化等特征的反向影响突出,体现出与其他森林景观类型在格局特征上不一样的特点。

4 结论

(1)易县林地面积达到了全域面积的58.4%,主要分布于西部和北部山区。全域森林以乔木和灌木林为主,占森林资源面积总量的97.07%,其中杨树、油松、柞树、山杏和经济林是乔木林景观中的优势类型,分别达到了45.09%、19.09%、11.07%、5.68%和19.02%。

(2)景观分离度、斑块密度、多样性等指标对组织层次变化响应强烈。随着景观系统组织层级的细化,在景观类型多样化的同时,景观破碎化程度增大,景观斑块复杂性程度增强,表现为核心斑块面积、数量和有效粒度的大小方面的指数变化。

(3)在景观水平上,景观层级越高越综合,景观格局空间蔓延和整体聚合趋势越明显,同时景观多样性、均匀度等异质性指标的反向影响作用表现突出。随着景观类型细化,景观斑块面积、有效粒度、边缘特征等明显增强。蔓延度、凝结度、分裂度、多样性、均匀度、景观形状、聚集度等指数是影响景观格局的关键指标。

(4)在类型水平上,林地和各层级森林资源景

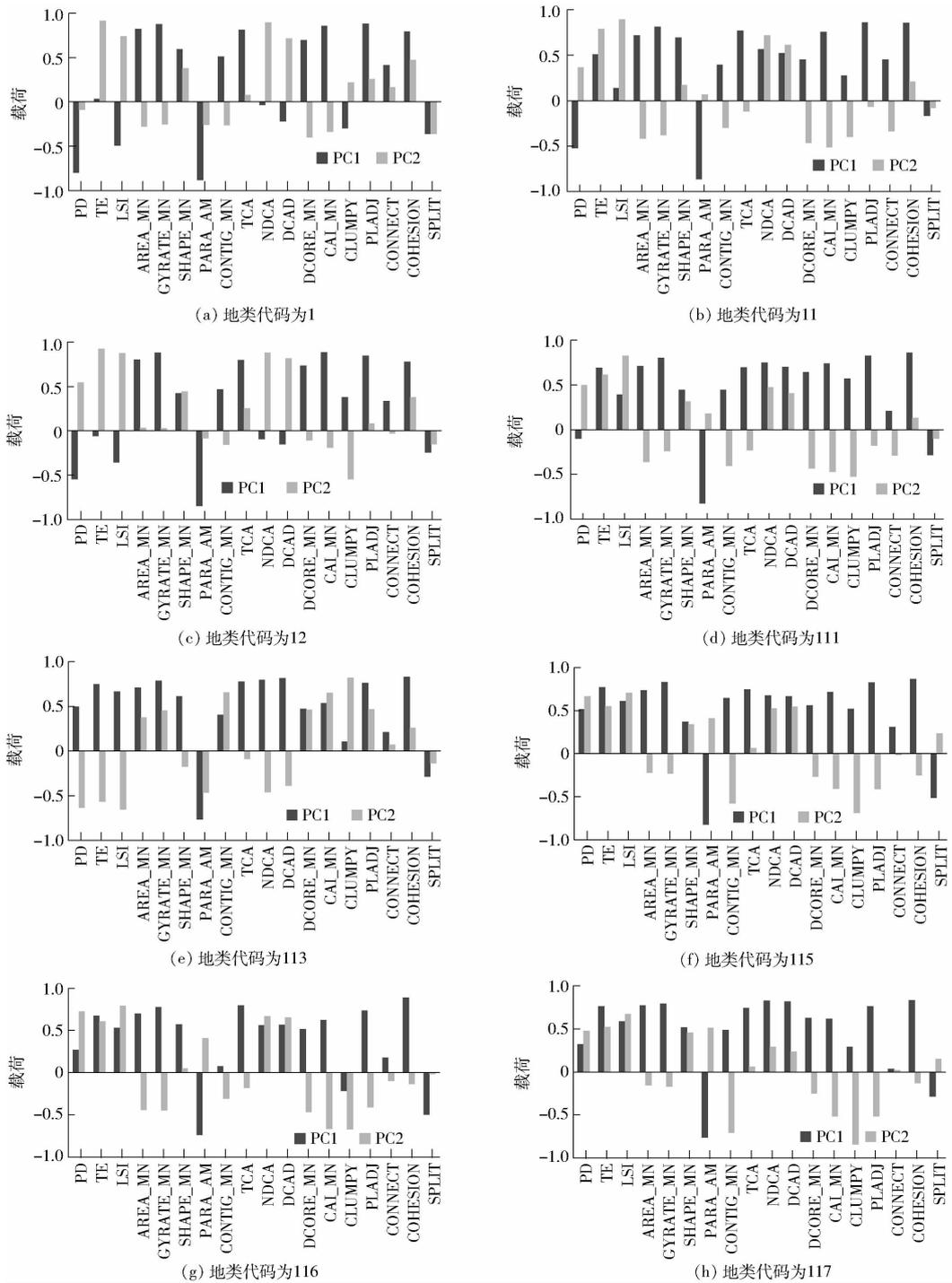


图 5 林地及主要森林景观格局主成分分析

Fig. 5 Principal component analysis of woodland and main forest landscape patterns

观格局表现出明显聚合和凝结特征,且与景观水平上的一些景观格局特点相似。随着组织层级细化,杨树、油松、山杏等林种层级的景观集聚、丛生程度明显增强,且在面积、数量、边缘特征等方面具表现

明显的正向效应。受其他景观类型的影响,从西部山区到东部平原,各层级森林景观资源随着人类活动增强,景观破碎化和斑块形状复杂化程度呈现增加趋势,且在不同林种间存在明显差异。

参 考 文 献

- 1 史京京,夏朝宗,严恩萍,等. 基于多期遥感的云阳县森林景观破碎化演变与驱动力研究[J]. 林业资源管理,2015(4):59-68. SHI Jingjing, XIA Chaozong, YAN Enping, et al. Study on the evolution of forest fragmentation and driving forces in Yunyang County based on multi-date remote sensing[J]. Forest Resources Management, 2015(4):59-68. (in Chinese)
- 2 李国平,石涵予. 退耕还林生态补偿与县域经济增长的关系分析——基于拉姆塞-卡斯-库普曼宏观增长模型[J]. 资源科学,2017,39(9):1712-1724.

- LI Guoping, SHI Hanyu. The relationship between GTGP and regional economic growth based on Ramsey - Cass - Koopmans Modeling[J]. *Resource Science*, 2017, 39(9): 1712 - 1724. (in Chinese)
- 3 黄麟, 郑瑜哈, 肖桐. 中国县域尺度生态保护的地域分异及其适宜性[J]. *地理学报*, 2017, 72(7): 1305 - 1315.
HUANG Lin, ZHENG Yuhan, XIAO Tong. Regional differentiation of ecological conservation and its zonal suitability at the county level in China[J]. *Journal of Geography*, 2017, 72(7): 1305 - 1315. (in Chinese)
- 4 闫王玉, 曹宇, 谭永忠. 基于景观安全格局的县域生态用地保护研究——以浙江省青田县为例[J]. *中国土地科学*, 2016, 30(11): 78 - 85.
YAN Yuyu, CAO Yu, TAN Yongzhong. Research on ecological land protection at county scale by landscape security patterns method: taking Qingtian County as an example[J]. *Land Science of China*, 2016, 30(11): 78 - 85. (in Chinese)
- 5 张昌顺, 谢高地, 曹淑艳, 等. 中国县域生态功能格局研究[J]. *资源科学*, 2012, 34(9): 1636 - 1646.
ZHANG Changshun, XIE Gaodi, CAO Shuyan, et al. The distribution patterns of China's county ecological function[J]. *Resource Science*, 2012, 34(9): 1636 - 1646. (in Chinese)
- 6 杨伶, 张贵, 王金龙, 等. 湖南县域森林资源禀赋空间格局演变分析——一种空间网络模型的构建与验证[J]. *资源科学*, 2017, 39(7): 1417 - 1429.
YANG Ling, ZHANG Gui, WANG Jinlong, et al. Spatial pattern evolution of forest resource endowment in hunan at the county level according to spatial network modeling[J]. *Resource Science*, 2017, 39(7): 1417 - 1429. (in Chinese)
- 7 马玥, 姜琦刚, 孟治国, 等. 基于随机森林算法的农耕区土地利用分类研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(1): 297 - 303.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160140&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.040.
- MA Yue, JIANG Qigang, MENG Zhiguo, et al. Classification of land use in farming area based on random forest algorithm[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(1): 297 - 303. (in Chinese)
- 8 张方方, 齐述华, 舒晓波, 等. 南方山地丘陵土地利用类型的地形影响 GIS 分析——以江西省为例[J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(6): 784 - 790.
ZHANG Fangfang, QI Shuhua, SHU Xiaobo, et al. Study on the relationship between land use spatial patterns and topographical factors for mountainous region: taking Jiangxi Province as an example[J]. *Journal of Geoscience*, 2010, 12(6): 784 - 790. (in Chinese)
- 9 WU J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations[J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(2): 125 - 138.
- 10 KANEVAN R, GERSONDEROLF F, LUTZJAMES A, et al. Patch dynamics and the development of structural and spatial heterogeneity in Pacific Northwest forests[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, 41(12): 2276 - 2281. (in Chinese)
- 11 张国桢, 甘敬, 朱建刚. 北京山区森林健康的多尺度评价[J]. *林业科学*, 2011, 47(6): 143 - 151.
ZHANG Guozhen, GAN Jing, ZHU Jianguang. Multi-scale health assessment of forests in mountainous regions of Beijing[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(6): 143 - 151. (in Chinese)
- 12 许东, 于大炮, 邓红兵, 等. 采伐参数对森林景观格局的影响[J]. *林业科学*, 2011, 47(5): 150 - 152.
XU Dong, YU Dapao, DENG Hongbing, et al. Influence of the components of timber harvest strategies on landscape pattern[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(5): 150 - 152. (in Chinese)
- 13 董灵波, 刘兆刚, 张博, 等. 基于 Ripley L 和 O-ring 函数的森林景观空间分布格局及其关联性[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(12): 3429 - 3436.
DONG Lingbo, LIU Zhaogang, ZHANG Bo, et al. The spatial distribution pattern of forest landscape based on Ripley L and O-ring functions and its association[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(12): 3429 - 3436. (in Chinese)
- 14 赵春燕, 李际平, 马文俊, 等. 顾及耦合作用的森林景观多尺度分类[J]. *林业科学*, 2013, 49(11): 183 - 188.
ZHAO Chunyan, LI Jiping, MA Wenjun, et al. Multi-scale forest landscape classification considering coupling effect[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(11): 183 - 188. (in Chinese)
- 15 MOLINA E, VALERIA O, GRANDPRE L D. Twenty-eight years of changes in landscape heterogeneity of mixedwood boreal forest under management in Quebec, Canada[J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2018, 44(1): 26 - 39.
- 16 赵福强, 代力民, 于大炮, 等. 长白山露水河林业局森林景观格局动态[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1180 - 1184.
ZHANG Fuqiang, DAI Limin, YU Dapao, et al. Dynamic changes of forest landscape pattern in Lushuihe Forest Bureau of Changbai Mountains, Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1180 - 1184. (in Chinese)
- 17 BAILEY D, BILLETTER R, AVIRON S, et al. The influence of thematic resolution on metric selection for biodiversity monitoring in agricultural landscapes[J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22(3): 461 - 473.
- 18 WANG J. A hierarchical approach to forest landscape pattern characterization[J]. *Environmental Management*, 2012, 49(1): 64 - 81.
- 19 EETVELDE V V, ANTROP M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2009, 91(3): 160 - 170.
- 20 董林水, 张旭东, 周金星, 等. 晋西土石山区森林次生演替过程中群落结构及复杂性[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 471 - 475.
DONG Linshui, ZHANG Xudong, ZHOU Jinxing, et al. Dynamics of forest community structure and complexity in the process of secondary succession in bedrock area of West Shanxi Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 471 - 475. (in Chinese)

- WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang. Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5903 - 5909. (in Chinese)
- 15 裴欢, 魏勇, 王晓妍, 等. 耕地景观生态安全评价方法及其应用[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(9): 212 - 219.
PEI Huan, WEI Yong, WANG Xiaoyan, et al. Method of cultivated land landscape ecological security evaluation and its application [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(9): 212 - 219. (in Chinese)
- 16 李秀芝. 北戴河新区耕地景观生态安全时空变化研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(3): 59 - 64.
LI Xiuzhi. The temporal and spatial changes of cultivated land landscape ecological security in Beidaihe new district[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(3): 59 - 64. (in Chinese)
- 17 姜广辉, 张瑞娟, 张翠玉, 等. 基于空间集聚格局和边界修正的基本农田保护区划定方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 222 - 229.
JIANG Guanghui, ZHANG Ruijuan, ZHANG Cuiyu, et al. Approach of land use zone for capital farmland protection based on spatial agglomeration pattern and boundaries modification[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(23): 222 - 229. (in Chinese)
- 18 孙茜, 牛海鹏, 雷国平, 等. 高标准农田建设区域划定与项目区选址研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(12): 337 - 346.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20161242&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.042.
- SUN Qian, NIU Haipeng, LEI Guoping, et al. Well-facilitated farmland construction zoning and project site selection [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(12): 337 - 346. (in Chinese)
- 19 赵筱青, 王兴友, 谢鹏飞, 等. 基于结构与功能安全性的景观生态安全时空变化——以人工园林大面积种植区西盟县为例[J]. *地理研究*, 2015, 34(8): 1581 - 1591.
ZHAO Xiaqing, WANG Xingyou, XIE Pengfei, et al. Spatio-temporal changes of landscape eco-security based on structure and function safety: a case study of a large artificial forest planted area in Ximeng County, China[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(8): 1581 - 1591. (in Chinese)
- 20 YUAN Z Q, YU K L, GUAN X K, et al. Medicago sativa, improves soil carbon sequestration following revegetation of degraded arable land in a semi-arid environment on the Loess Plateau, China[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2016, 232: 93 - 100.
- 21 BARTALEV S A, PLOTNIKOV D E, LOUPIAN E A. Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique[J]. *Remote Sensing Letters*, 2016, 7(3): 269 - 278.

(上接第 194 页)

- 21 李际平, 陈端吕, 袁晓红, 等. 人类干扰对森林景观类型相关性的影响研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2009, 29(5): 39 - 43.
LI Jiping, CHEN Duanlü, YUAN Xiaohong, et al. Study on the influence of Human disturbance on the correlation of forest landscape types[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2009, 29(5): 39 - 43. (in Chinese)
- 22 岳德鹏, 于强, 张启斌, 等. 区域生态安全格局优化研究进展[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(2): 1 - 10. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170201&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.001.
YUE Depeng, YU Qiang, ZHANG Qibin, et al. Research progress of regional ecological security pattern optimization [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(2): 1 - 10. (in Chinese)
- 23 高广磊, 信忠保, 丁国栋, 等. 基于遥感技术的森林健康研究综述[J]. *生态学报*, 2013, 33(6): 1675 - 1689.
GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al. Forest health studies based on remote sensing: a review[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(6): 1675 - 1689. (in Chinese)
- 24 奚为民, 戴尔阜, 贺红土. 森林景观模型研究新进展及其应用[J]. *地理科学进展*, 2016, 35(1): 35 - 46.
XI Weimin, DAI Erfu, HE Hongshi. Advances in forest landscape modeling: current research and applications[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(1): 35 - 46. (in Chinese)
- 25 王蕾, 陈崇成, 唐丽玉. 集成虚拟森林环境与景观指数计算模型的森林景观格局分析[J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(2): 281 - 288.
WANG Lei, CHEN Chongcheng, TANG Liyu. Analysis of forest landscape pattern based on virtual forest environment and landscape index calculation model[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19(2): 281 - 288. (in Chinese)
- 26 于晓文, 康峰峰, 韩海荣, 等. 冀北辽河源森林景观格局特征及破碎化研究[J]. *安全与环境学报*, 2014, 14(2): 278 - 282.
YU Xiaowen, KANG Fengfeng, HAN Hairong, et al. Study on landscape pattern and fragmentation of Liaohe source forest in northern Hebei[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2014, 14(2): 278 - 282. (in Chinese)
- 27 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- 28 高啸峰, 王树德, 宫阿都, 等. 基于主成分分析法的土地利用/覆被变化驱动力研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2009, 25(1): 36 - 39.
GAO Xiaofeng, WANG Shude, GONG Adu, et al. Land use and land cover change and its driving forces analysis based on principle component analysis: a case study of Jiaonan City in Shandong Province[J]. *Geography and Geo-information Science*, 2009, 25(1): 36 - 39. (in Chinese)