

乡镇尺度森林景观格局特征与影响因素定量分析

孟超¹ 王计平² 支晓蓉² 谷建才¹ 张德成³

(1. 河北农业大学林学院, 保定 071001; 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)

摘要: 为更客观、精细地刻画森林生态系统格局的完整性、稳定性和森林资源健康状况,为森林资源源头保护和合理经营管理提供科学依据和决策支持,以河北省易县森林资源清查数据、DEM 数据和社会经济资料为基础,运用景观指数、结构方程模型和统计学方法,分析乡镇尺度森林景观类型、数量与分布,研究自然地理、社会经济和土地开发利用主导下森林景观格局特征差异及其影响机制。结果表明,西部山区乡镇森林景观资源优势明显,东部平原乡镇森林资源则较小,森林资源主要分布于海拔 100 ~ 300 m 浅山丘陵区 and 海拔 500 ~ 800 m 中山区。在景观和类型水平上,斑块密度(PD)、凝结度(COHESION)对地理环境支配和人类活动干扰的响应更大,低破碎化、高连通性、多样化森林景观与高海拔、高起伏度的地形条件关系密切,乡镇耕地和居民建设用地面积占比(PCLA、PRCLA)越大,林地景观破碎化越强和连通性程度越低。平均坡度(MS)、土层厚度(SD)和高差(ED)作为基础性的控制因素,直接影响耕地、居民建设用地占比等方面,间接作用于森林景观格局。在一定地形土壤条件下,降低人口数量、耕地数量和居民建设用地占比,可降低森林景观格局破碎化,提升森林景观连通性。

关键词: 森林景观; 景观连通性; 乡镇尺度; 通径分析; 地理信息系统

中图分类号: S757.2; S7-05 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)03-0212-09

Quantitative Analysis of Forest Landscape Pattern and Its Influencing Factors in Township Scale

MENG Chao¹ WANG Jiping² ZHI Xiaorong² GU Jiancai¹ ZHANG Decheng³

(1. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, 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)

Abstract: To describe the integrity, stability and health of forest ecosystem more objectively and meticulously, and provide scientific basis and decision support for the protection of forest resources at the source and the rational management and management of forest resources, based on the forest resources inventory data, DEM data and social and economic data in Yi County, Hebei Province, the forest landscape types, quantity and distribution of township scale were analyzed by using landscape index, structural equation model and statistical method. The characteristics of forest landscape pattern and its influence mechanism were studied under the dominance of natural geography, social economy and land exploitation and utilization. The following results were obtained: the forest landscape resources of the western mountainous areas were obvious, while the eastern plain villages and towns were smaller. The forest resources were mainly distributed in 100 ~ 300 m hilly areas and in the middle mountains of 500 ~ 800 m. At the landscape and type level, the forest resources of the villages and towns in the eastern plain were relatively small. Patches density (PD) and cohesion (COHESION) were more responsive to geographical environment dominance and human activity interference. There was a close relationship between low fragmentation, high connectivity, diverse forest landscape and high elevation, high

收稿日期: 2019-01-02 修回日期: 2019-01-18
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(CAFYBB2017MB038、CAFYBB2017ZA007-3)和林业软科学研究项目(2018-R5)
作者简介: 孟超(1988—),男,博士生,主要从事森林资源经营管理研究,E-mail: bdlm0227@163.com
通信作者: 王计平(1978—),男,副研究员,博士,主要从事森林植被恢复、景观生态系统评价研究,E-mail: wjp_gis@163.com

undulating terrain conditions. The larger the area ratio of proportion of cultivated land area and proportion of resident construction land area (PCLA, PRCLA) was, the lower the degree of fragmentation and connectivity of forest landscape was. Mean slope (MS), soil depth (SD) and elevation difference (ED) as the basic control factors directly influenced the cultivated land and the inhabitant construction land proportion and so on, and it had an indirect action on the forest landscape pattern. Under certain topographic and soil conditions, reducing average population size (APS), the proportion of PCLA and PRCLA can reduce the fragmentation of forest landscape pattern and enhance the connectivity of forest landscape.

Key words: forest landscape; landscape connectivity; township scale; path analysis; GIS

0 引言

森林景观是指某一特定区域内数个异质森林群落或森林类型构成的复合生态系统,是以森林生态系统为主体所构成的景观^[1]。空间异质性是森林景观的一个重要属性^[2],指构成森林景观要素和组分在空间分布上的不均匀性和复杂性,是产生森林景观格局的重要原因^[3-5]。各种地理、气候和社会经济条件的综合作用塑造了自然界复杂多样的森林景观。森林景观异质性依时间和空间尺度变化而存在差异^[6-7],同时随所研究的系统特征不同而变化。森林植被(景观)作为自然生态系统的主体,其保护状况直接影响和制约着人类社会可持续发展^[8-9]。探讨特定尺度森林景观格局及其驱动因素,对了解森林资源保护甚至整个森林景观系统的维持具有重要的意义。

森林景观具有高度空间异质性,表现为多层次、多等级的空间立体结构,其特征主要包括群落的层次结构、水平镶嵌性与异质性、层级间的相互作用等^[10-12]。森林既是外部平面景观的镶嵌体,又是内部垂直结构层次上的功能体。垂直结构的缺失和水平格局的破碎化都会影响到区域内不同森林类型个体活立木的生长和更新^[13]。在一定时空尺度上,森林内部结构和外部景观分布及空间镶嵌构成了森林景观格局的主要内涵,特别是在不同自然控制因素或人为干扰影响下的森林景观效应,一直是林学、生态学研究关注的焦点^[14-16]。普遍认为,森林景观系统是许多要素构成的复合体,具有层次性、“斑块耦合”等特征^[17-18]。小尺度的异质性内部结构,同时也是更大尺度景观异质性结构的一部分,不同尺度上的等级体系组成是相互关联的^[19]。森林植被格局的空间差异与特定地形构造、土壤环境差异密切相关,其系统结构与功能对人类活动干扰的影响作用较为敏感^[20]。

关于森林景观格局特征的研究,在技术、方法、涉及尺度方面不断丰富,呈现多样化趋势^[21-23]。但目前主要集中于城市森林、旅游景区森林等^[24-25],

而单纯以乡镇为水平开展森林景观格局研究的相对较少。乡镇是最基础的独立行政单元,是人与自然共融的独特空间。因此基于已有研究基础和现实需求,以乡镇为单元,开展自然和人类活动干扰下森林景观格局特征研究及背后影响作用机制,不仅可以丰富森林景观格局研究的尺度范畴,而且能够更客观、精细地刻画森林生态系统格局的完整性、稳定性和森林资源健康状况,有助于森林景观格局恢复、管理和保护效应提升。本文以河北省易县乡镇单元为对象,运用景观指数、结构方程模型和统计学方法,分析乡镇尺度森林景观类型、数量与分布,研究自然地理、社会经济和土地开发利用主导下森林景观格局特征差异及其影响机制,为森林资源源头保护和合理经营管理提供科学依据和决策支持。

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。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。全年降水量 570~670 mm,降水量年内分配不平衡,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,森林植被随海拔高度不同而有明显的垂直变化,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。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

根据研究目的和需求,收集与森林资源、景观类型分析相关的数据资料(表 1),包括:第七次森林资源二类清查矢量数据,向地方森林资源管理机构申请获得;DEM 栅格数据,30 m 分辨率,通过地理空间

数据云数据平台申请获得;行政区划图与社会经济统计数据,图片和文本格式,通过调查收集和向地方统计部门申请获得。所有矢量、栅格格式的空间数

据统一在 ArcGIS 软件平台中整理和处理,主要有:空间校正、地形分析、数据链接与编辑、空间分析、分区统计、专题制图等。

表 1 研究区地貌类型及乡镇分布
Tab.1 Geomorphologic types and township distribution in study area

地貌类型	包含乡镇名称(代码)
A - 平原 (平均海拔 100 m (包括)以下)	高陌乡 (A13)、凌云册乡 (A9)、桥头乡 (A21)、易州镇 (A19)、尉都乡 (A6)
B - 浅山丘陵 (平均海拔 100 ~ 300 m(包括))	裴山镇 (B11)、高村镇 (B14)、塘湖镇 (B8)、西陵镇 (B20)、独乐乡 (B1)、大龙华乡 (B18)、流井乡 (B23)、梁格庄镇 (B22)、安格庄乡 (B16)、西北山乡 (B4)、白马乡 (B25)
C - 深山丘陵 (平均海拔 300 ~ 500 m(包括))	牛岗乡 (C10)、狼牙山镇 (C5)、富岗乡 (C17)、坡仓乡 (C7)、七峪乡 (C2)
D - 山地 (平均海拔 500 m 以上)	良岗镇 (D15)、紫荆关镇 (D24)、南城司乡 (D27)、甘河净乡 (D3)、桥家河乡 (D12)、蔡家峪乡 (D26)

2.2 森林景观类型与格局量化

2.2.1 森林景观类型划定

基于森林资源清查数据,按森林地类划分,将研究区林地 (F1) 划分为乔木林地 (F11)、灌木林地 (F12)、疏林地 (F13)、未成林造林地 (F14)、苗圃地 (F15)、无立木林地 (F16)、宜林地 (F17) 和辅助生产林地 (F18) 8 种类型;为了更好地理解森林景观特征,将乔木林景观类型按树种类型进一步细分为杨树类 (F111)、桦树类 (F112)、油松 (F113)、落叶松 (F114)、山杏类 (F115)、柞树类 (F116) 和经济林 (F117),对其余 7 种类林地类型分别细化为灌木林地 (F121)、特灌林地 (F122)、疏林 (F131)、未成林 (F141)、苗圃 (F151)、无立木 (F161)、宜林地 (F171)、辅林地 (F181)。同时,为了考虑人类土地开发活动对森林景观格局的影响,对研究区内自然土地、人居及生产用地、其他用地等非林地类型按土地利用分类体系进行划分。森林地类及树种分类图详见文献[1]。

2.2.2 景观指数计算与关键指标筛选

运用 GIS 数据分析模块将各乡镇森林资源数据进行格式转换和类型划分,在 FRAGSTATS3.3 软件环境下建立景观指数计算模板和批处理程序,根据指数类型齐全、功能角度多样和彼此相对独立的原则,分别从景观水平、类型水平上选取众多研究常用景观指数作为首批景观格局指标。森林景观与其他类型景观共同组成了林区或某一地区土地利用景观,具有高度的异质性,其中一个重要特征就是森林景观等级特征,在不同尺度上或等级上控制景观格局特征的指标不一样,需要筛选和识别。根据前期研究结果^[1],在景观水平上,选取斑块密度 (PD)、最大斑块指数 (LPI)、景观形状指数 (LSI)、蔓延度 (CONTAG)、凝结度 (COHESION)、分割度指数 (DIVISION)、香农多样性指数 (SHDI) 和聚集度指

数 (AI);在类型水平上,选取斑块密度 (PD)、平均回转半径 (GYRATE_MN)、平均周长面积比 (PARA_MN)、平均核心面积 (CAI_MN)、相似邻近百分比 (PLADJ) 和凝结度 (COHESION)。各指数计算公式、生态学指示意义见文献[26]。

2.3 统计分析

用于本研究的统计分析有相关分析、通径分析。相关分析采用 Perason 相关法,分析景观格局因子分别与社会经济因子、自然地理因子、土地开发利用因子的相关性。其中,自然地理因子有高差 (Elevation differencee, ED)、平均海拔 (Average elevation, AE)、坡度范围 (Slope range, SR)、平均坡度 (Mean slope, MS)、土层厚度 (Soil depth, SD);社会经济因子有人口数量 (Average population size, APS)、居民人均纯收入 (Personal income, PI);土地开发利用因子有耕地面积占比 (Proportion of cultivated land area, PCLA)、耕地地块密度 (Patch density of cultivated land, PDCL)、居民建设用地面积占比 (Proportion of resident construction landarea, PRCLA)、交通运输用地面积占比 (Proportion of transortation landarea, PTLA)、交通运输用地地块边缘总长度 (Total edge length of transortation land, TETL)、交通运输用地地块数量 (Patch number of transortation land, PDTL)、工矿用地面积占比 (Proportion of mining land area, PMLA)。分析采用 IBM SPSS Statistics 24、minitab17 软件包;通径分析 (Path analysis) 用于分析多个自变量与因变量之间的线性关系,是回归分析的拓展,可以处理较为复杂的变量关系,在本研究中用于定量分析社会经济、自然地理、土地利用开发等因子对森林景观格局的影响,采用 IBM SPSS Amos 24 工具包。

3 结果分析

3.1 森林景观资源类型、数量与分布

根据森林资源栅格化数据统计表明,全县森林

地类以林地景观资源为主,占县域总面积的 58.4%,在林地景观中,乔木林地占 55.39%,灌木林地占 41.67%,苗圃地占 1.41%,其余地类占 1.53%。在乔木林地中,按树种组来看,杨树类景观占到了 45.09%,是最大的森林资源类型,油松类次之,景观占 19.09%,然后依次是经济林类、柞树类、山杏类、落叶松类、桦树类,分别占比为 19.02%、11.07%、5.68%、0.04%、0.01%。从乡镇林地景观资源面积优势来看,位于西部山区的紫荆关镇(D24)林地景观资源最多,为 21 676 hm²,东部的尉都乡(A6)最少,为 545 hm²;从乡镇林地景观资源面积占比来看,西部蔡家峪乡(D26)是典型的森林乡镇,达到 86.17%,其次为紫荆关镇(D24),为 82.6%,尉都乡(A6)林地景观资源面积占比最少,为 13.29%。随着乡镇面积的增大,林地景观面积和占比均呈现增长趋势,林地景观面积和占比在不同乡镇间差异较大(图 1)。从地形分布来看,海拔 100~300 m 的浅山丘陵区是森林景观资源分布的主要区域,其次为海拔 500~800 m 的山区(图 2)。

3.2 森林景观格局主要影响因子及其相互关系

从景观水平(全部森林地类)、类型水平(以面积比例占绝对优势的乔木林地、灌木林地景观为主)上分别选取对研究区森林景观格局具有决定意义的指标;从自然地理、社会经济和土地利用开发 3 个方面选择典型指标。使用 Perason 相关分析法,分析乡镇尺度森林景观格局差异的主要影响因子及其相互关系。

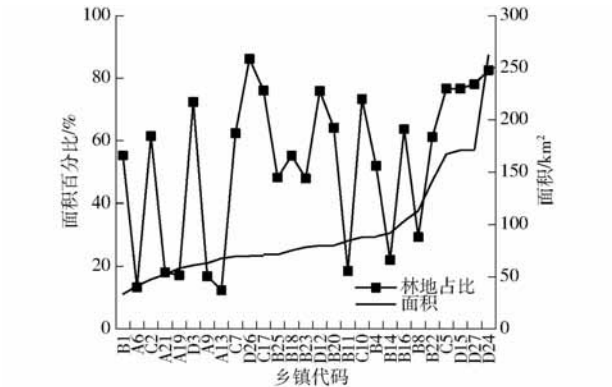


图 1 乡镇林地分布(面积从左向右依次增大)

Fig.1 Distribution of forest land in villages and towns

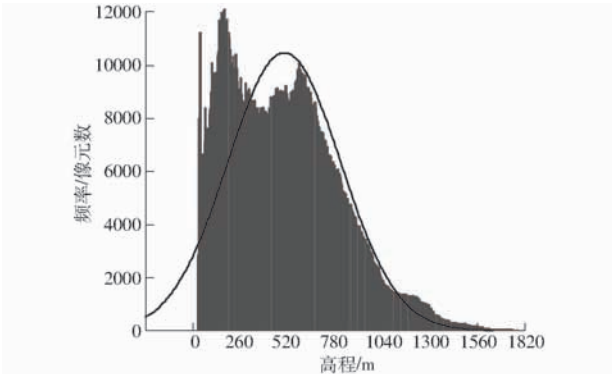


图 2 林地高程频率分布

Fig.2 Forest height frequency distribution

3.2.1 景观水平

从景观水平上的乡镇尺度各因子相关性分析来看(表 2),自然地理、社会经济和土地利用开发各指标与森林景观格局特征指标均呈现出一定相互作用关系,但不同指标之间相关性程度存在明显差异。

表 2 景观水平森林景观格局主要影响因子与景观指数相关性

Tab.2 Correlation between main influencing factors and landscape index of forest landscape pattern at landscape level

主要影响因子	景观指数						
	PD	LPI	LSI	COHESION	DIVISION	SHDI	AI
高差(ED)	-0.799	0.359	0.556 **	0.816 **	-0.297	0.437 *	0.641 **
平均海拔(AE)	-0.596 **	0.454 *	0.374	0.621 **	-0.418 *	0.111	0.383 *
坡度范围(SR)	-0.685 **	0.123	0.306	0.649 **	-0.075	0.218	0.554 **
平均坡度(MS)	-0.803 **	0.317	0.386 *	0.794 **	-0.238	0.188	0.616 **
土层厚度(SD)	0.839 **	-0.428 *	-0.391 *	-0.848 **	0.367	-0.123	-0.640 **
居民人均纯收入(PI)	0.197	-0.141	-0.159	-0.197	0.053	-0.351	-0.049
人口数量(APS)	0.592 **	-0.478 *	0.016	-0.589 **	0.431 *	0.188	-0.392 *
耕地面积占比(PCLA)	0.864 **	-0.491	-0.372	-0.867 **	0.448 *	0.102	-0.664 **
耕地地块密度(PDCL)	-0.654 **	0.457 *	0.312	0.675 **	-0.413 *	-0.161	0.394 *
居民建设用地面积占比(PRCLA)	0.857 **	-0.494 **	-0.299	-0.856 **	0.380	-0.290	-0.691 **
交通运输用地面积占比(PTLA)	0.401 *	-0.099	-0.216	-0.371	0.036	-0.637 **	-0.423 *
交通运输用地地块边缘总长度(TETL)	0.131	-0.316	0.522 **	-0.096	0.278	-0.179	-0.182
交通运输用地地块数量(PDTL)	-0.274	-0.142	0.726 **	0.280	0.161	0.187	0.179
工矿用地面积占比(PMLA)	0.404 *	-0.401 *	-0.039	-0.375	0.431 *	-0.054	-0.546 **

注: **表示在 0.01 级别(双尾)上相关性显著; *表示在 0.05 级别(双尾)上相关性显著。下同。

乡镇各自然地理因子作为控制变量,各指标对乡镇森林景观资源分布和景观格局特征具有重要影

响作用。其中,高差与森林景观形状指数(LSI)、聚合指数(COHESION、AI)等指标呈现正相关,达到极

显著水平 ($n = 27, p = 0.01$), 与香农多样性指数呈现显著正相关 ($n = 27, p = 0.05$); 平均海拔与森林景观斑块密度、最大斑块指数、凝结度、分割度、聚集度相关程度密切; 坡度因子 (坡度范围、平均坡度) 与森林景观斑块密度、凝结度、分割度、聚集度等指标呈现显著相关; 土层厚度与斑块密度极显著正相关, 而与 COHESION、AI 呈现极显著负相关。分析表明, 在易县地区, 随着海拔增高, 坡度起伏越大, 土层越厚, 乡镇森林景观破碎化程度越低, 地形起伏程度越强烈, 森林景观聚合程度越高; 土层深度则反之, 土层越厚, 景观聚合程度越低。这意味着易县山区、丘陵区等地形地貌条件复杂地区, 森林景观破碎化程度较低、连通度较高, 森林生态系统越稳定, 而海拔较低、坡度变化较小、土层较厚的平原区森林景观破碎化程度较大, 聚合连通程度较低 (图 3, 4, 5)。在社会经济因子中, 乡镇人口数量对森林景观格局特征具有明显作用, 表现为人口数量与景观破碎化为正相关, 达到极显著水平, 与景观分割度呈现显著正相关, 与景观凝结度呈现极显著负相关, 与最大斑块指数显著负相关; 而居民人均纯收入与森林景观格局特征指标相关性程度则较小, 这说明一个地区人口数量对森林景观格局特征影响更重要, 人口数量越大, 森林景观破碎化程度越大, 聚合程度越低。

在土地利用开发方面, 斑块密度、景观形状指数、凝结度、聚集度等森林景观格局因子对土地利用干扰的响应更明显, 耕地占乡镇总面积比例与斑块密度正相关, 与凝结度、聚集度指数负相关, 均达到了极显著水平, 而耕地地块密度和斑块密度、凝结度、聚集度正负相关性表现则相反 (图 6), 说明在易县地区乡镇耕地面积越大, 数量越多, 森林破碎化程度就越大, 连通性越低, 意味着耕地及其破碎化对森林景观具有重要影响。居民建设用地面积占比与森林景观斑块密度极显著正相关, 而与最大斑块指数、凝结度指数、聚集度指数极显著负相关, 在这一点上工矿用地面积占比也有类似规律, 只是相互之间显著性程度较低, 这说明居住和工矿开发对森林景观格局影响主要表现为建设用地增加会显著降低森林景观空间连通性, 增大破碎化程度。从交通运输用地指标来看, 主要表现为交通运输用地地块边缘长度、用地斑块密度与森林景观形状指数呈现极显著正相关, 说明交通运输用地增加和分割作用会加剧森林景观斑块复杂性。

3.2.2 类型水平

在类型水平上 (表 3), 乡镇自然地理、社会经济、土地利用开发各影响因子与森林景观斑块破碎化、凝结度指数正负相关性、显著性程度与景观水平

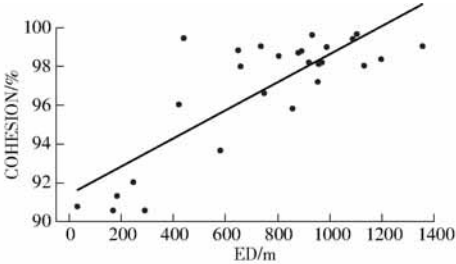


图 3 乡镇高差与凝结度指数相关性
Fig. 3 Correlation between township height difference and condensation index

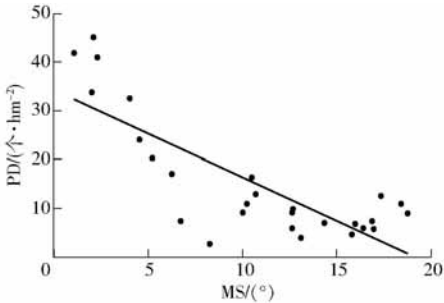


图 4 乡镇平均坡度与斑块密度指数相关性
Fig. 4 Correlation between average slope and patch density index in villages and towns

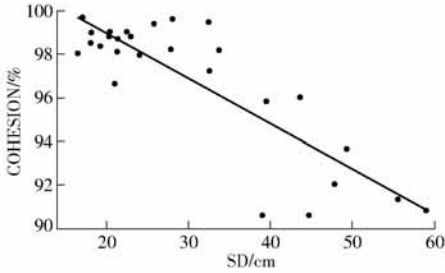


图 5 乡镇土层厚度与凝结度指数相关性
Fig. 5 Correlation between soil thickness and condensation index in villages and towns

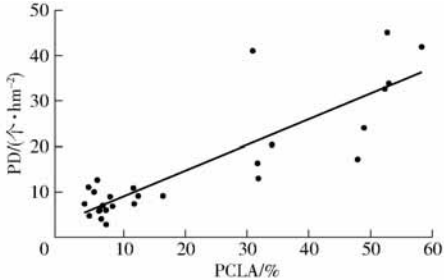


图 6 乡镇耕地面积占比与斑块密度指数相关性
Fig. 6 Correlation between proportion of cultivated land area and patch density index in villages and towns

基本相似,但在相关性程度上存在一定差异。从整体表现来看,类型水平上各因子之间相关程度强于景观水平。在自然地理因子方面,类型水平上乡镇高差因子与景观斑块密度负相关达到了极显著水平,平均海拔、坡度因子与平均回旋半径指数呈极显著的正相关,而土层厚度则相反,二者呈现为极显著

负相关。高差、平均海拔、平均坡度因子与相似邻近百分比呈极显著正相关,而土层厚度则相反。这说明自然地理因子对类型水平上森林景观格局特征的影响和控制效应更加明显,地形越高、起伏变异程度越强,乔木林、灌木林等景观类型的破碎化程度越低,连通性水平越高,森林景观优势程度越明显,更加剧了森林斑块形状的复杂性,而土壤厚度的影响效应则相反。在社会经济因子中,人口数量与森林景观格局相关性程度较高,人口数量越大,乔木、灌

木等林地景观破碎化程度越大,连通性越低,景观斑块复杂化、同质化程度越低。在土地利用开发因子中,耕地、居民建设用地对类型水平森林景观格局特征影响作用更明显,如与斑块密度、平均回旋半径、相似邻近百分比、凝结度指数均呈现极显著相关性,耕地、居民建设用地、工矿用地等土地开发利用类景观面积优势程度越大,乔灌木林地景观破碎化程度越大,连通性越低,森林景观斑块复杂性、同质化程度越低。

表 3 类型水平森林景观格局主要影响因子与景观指数相关性

Tab.3 Correlation between main influencing factors of forest landscape pattern and landscape index

主要影响因子	景观指数					
	PD	GYRATE_MN	PARA_MN	CAI_MN	PLADJ	COHESION
高差(ED)	-0.823 **	0.357	0.294	0.053	0.666 **	0.789 **
平均海拔(AE)	-0.649 **	0.546 **	0.034	0.214	0.611 **	0.649 **
坡度范围(SR)	-0.634 **	0.230	0.307	-0.011	0.370	0.652 **
平均坡度(MS)	-0.832 **	0.503 **	0.086	0.178	0.538 **	0.736 **
土层厚度(SD)	0.861 **	-0.510 **	-0.309	-0.045	-0.571 **	-0.823 **
居民人均纯收入(PI)	0.230	-0.146	0.195	-0.196	-0.130	-0.127
人口数量(APS)	0.611 **	-0.558 **	-0.106	-0.124	-0.405 *	-0.599 **
耕地面积占比(PCLA)	0.886 **	-0.611 **	-0.290	-0.147	-0.668 **	-0.869 **
耕地地块密度(PDCL)	-0.690 **	0.469 *	0.243	0.073	0.444 *	0.696 **
居民建设用地面积占比(PRCLA)	0.865 **	-0.504 **	-0.203	-0.126	-0.574 **	-0.765 **
交通运输用地面积占比(PTLA)	0.393 *	0.037	0.097	-0.032	-0.203	-0.253
交通运输用地地块边缘总长度(TETL)	0.113	-0.154	0.313	-0.144	-0.041	0
交通用地地块数量(PDTL)	-0.284	0.069	0.334	-0.049	0.207	0.302
工矿用地面积占比(PMLA)	0.409 *	-0.229	-0.174	0.078	-0.387 *	-0.272

3.3 森林景观格局特征主要影响因子路径分析

景观破碎化和连通性是反映景观格局空间异质性和景观功能稳定性的重要指标。自然地理是决定景观破碎化和连通性的基础,也是控制经济发展和人类活动方式的关键因素,社会经济、土地开发利用等人类活动因素是影响景观格局变化的主要驱动因子。从以上分析可以看出,在乡镇尺度,森林景观破碎化和集聚程度对地形起伏度、土壤厚度、人口数量、耕地占比、居民建设用地占比等因子差异更为敏感,表现出明显的相关性,其相互作用关系和影响机制需要进一步分析阐明。

3.3.1 森林景观格局破碎化影响机理

利用结构方程模型通径分析图表示景观水平上各控制因子与森林景观格局破碎化指标间的统计学关系(图 7),模型具有较高的合适度(卡方值为 2.9,自由度为 2,近似误差均方根为 0.132,拟合优度指数为 0.966,样本数为 27)。

从作用分解来看,平均坡度、土层平均厚度作为控制性变量,通过对耕地、居民建设用地面积占比等因子产生直接影响,进一步间接影响森林景观斑块

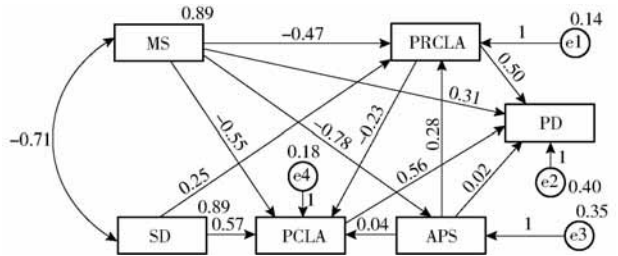


图 7 乡镇尺度影响森林景观破碎化的主导因子路径分析

Fig.7 Path analysis of leading factors affecting forest landscape fragmentation on township scale

密度,进而决定了整个乡镇单元森林景观破碎化程度。以坡度因子为例,它的效果分解过程:

- (1)直接作用 1:MS→PD,为 0.31。
- (2)间接作用 1:MS→PRCLA→PD,为(-0.47) × 0.5 = -0.235。
- (3)间接作用 2:MS→PRCLA→PCLA→PD,为(-0.47) × (-0.23) × 0.56 = 0.06。
- (4)间接作用 3:MS→PCLA→PD,为(-0.55) × 0.56 = -0.308。

(5)间接作用4:MS→APS→PD,为 $(-0.78) \times 0.02 = -0.016$ 。

(6)间接用作5:MS→APS→PRCLA→PD,为 $(-0.78) \times 0.28 \times 0.5 = -0.109$ 。

这6种路径产生的效果总和就是乡镇平均坡度对森林景观破碎化的总作用,为-0.291,即乡镇地形平均坡度每增加1个单位,破碎化程度降低0.291个单位。由此可以推算出土层厚度对斑块破碎化的总作用为0.409,人口数量的总作用为0.15,居民建设用地面积占比为0.377,耕地面积占比0.558。坡度因子对乡镇森林景观破碎化起着抑制作用,随着坡度的增加,土地开发建设适宜性程度降低,人类活动干扰也会降低,更有利于森林景观形成和恢复,而坡度较低的浅山区或平原区,往往是人类活动最强烈地区,土地利用规模和分割化程度较大,景观自然化水平较低,更加剧了森林景观的破碎化程度。其余社会经济、人类土地利用因子则表现为促进作用,其中耕地数量因子的作用最大,土层厚度因子次之,平原区土层厚,森林景观更加破碎,这与上文分析结果一致,相对而言,人口数量对景观破碎化的作用更小。从其他因子作用表现来看,坡度因子对人口数量因子的抑制作用最大,系数为-0.78,对居民建设用地面积占比因子次之,达到了-0.682,说明地形坡度在乡镇社会经济、土地利用等方面具有决定性影响。

3.3.2 森林景观格局连通性影响机理

凝结度指数(COHESION)是反映景观斑块空间聚集连通程度的指标之一。利用结构方程模型通径分析图表示各影响因子与森林景观连通性指标间的统计学关系(图8),通过对各变量相互作用关系的不断优化,模型具有较高的合适度(卡方值为0.384,自由度为2,近似误差均方根为0.574,拟合优度指数为0.995,样本数为27)。从作用关系来看,乡镇高差和土层深度彼此之间相互作用,是控制乡镇森林景观、社会人口、土地利用等因素的基础变量。高差因子一方面直接作用于集合度指数影响着乡镇森林景观联通性,同时通过控制居民建设用地占比、人口数量因子间接作用于景观聚合度。土层深度因子直接作用于聚合度指数,同时通过控制耕地面积占比、居民建设用地面积占比、乡镇人口数量等指标间接影响森林景观聚合连通程度。乡镇人口数量是社会经济中具有较高影响作用的指标,不仅直接作用于森林景观聚合程度,同时通过直接作用居民建设用地数量进而间接作用于景观聚合连通度。通过通径分析来看,在乡镇尺度上,土层厚度对森林景观聚合度的总作用大小为-0.313,耕地面积

占比为-0.394,人口数量为-0.229,居民建设用地面积占比为-0.659,均表现为抑制作用,而高差对森林景观聚合度的总作用大小为0.42,表现为促进作用。分析表明,增加乡镇森林景观连通性,特别需要降低居民建设用地面积,同时加强地形起伏地区森林景观资源保护。

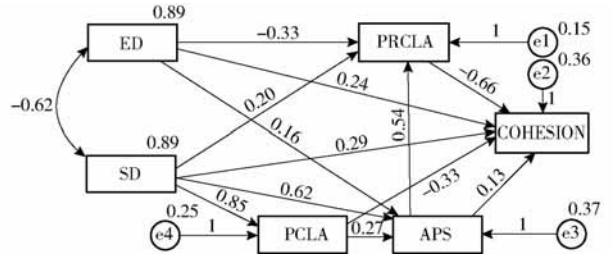


图8 乡镇尺度影响森林景观连通度的主导因子
路径分析

Fig. 8 Path analysis of leading factors affecting forest landscape connectivity on township scale

4 结论

(1)易县土地资源以林地景观为主,达到县域总面积的58.4%,森林资源以乔灌木林为主,达到林地总面积的96%以上,乔木林中杨树类、油松类是森林景观中的优势树种,分别达到了乔木林景观的45.09%、19.09%。乡镇尺度上森林景观资源分布和面积占比差异较大,西部山区乡镇森林景观优势度较大,东部平原乡镇则较小。海拔100~300 m浅山丘陵区是森林景观资源集中分布区,另一个峰值区为海拔500~800 m的中山区。

(2)在景观水平上,林地的斑块密度(PD)、景观凝结度(COHESION)、聚集度(AI)等指标对乡镇地理环境条件差异、人口数量和人类土地利用开发程度影响的响应更明显,低破碎化、高连通性和多样性森林景观特征与高海拔、起伏度明显的地形关系密切,在自然环境条件一定的情况下,乡镇耕地、居民建设用地面积占比(PCLA、PRCLA)越大,林地景观破碎化越强和连通性程度越低,交通运输用地面积占比越大,景观多样性程度越低。在类型水平上,除了森林景观格局在斑块密度、凝结度上的相关性表现与景观水平上的一致外,平均回旋半径(GYRATE_MN)、相似邻近百分比(PLADJ)等对环境异质性和干扰差异的响应明显。

(3)在乡镇尺度上,森林景观破碎化(斑块密度、聚集度等)和连通性(凝结度、聚集度等)是景观、类型水平上代表森林景观格局与功能的主要指标,受到了地理环境、社会人口、土地利用开发等共同影响。平均坡度(MS)、土层厚度(SD)和高差(ED)作为基础性控制因素,直接影响耕地、居民建设用地占比等

人为因素的干扰强度,进而间接影响森林景观斑块密度、凝结度。乡镇地形高差对控制森林景观凝结度起正作用,平均坡度对控制景观破碎化起抑制作用。在一定的地形土壤条件下,降低人口数量、耕地数量和居民建设用地面积占比可降低森林景观格局破碎化程度,提升乡镇森林景观聚合连通水平。

参 考 文 献

[1] 孟超,王计平,支晓蓉,等. 基于 GIS 的县域森林景观空间格局等级特征研究[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(10):187 – 194,204.
MENG Chao,WANG Jiping,ZHI Xiaorong, et al. Spatial characteristics of forest landscape in county level based on GIS [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(10):187 – 194,204. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20181021&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.10.021. (in Chinese)

[2] 韩有志,王政权. 森林更新与空间异质性[J]. 应用生态学报,2002,13(5):615 – 619.
HAN Youzhi,WANG Zhengquan. Spatial heterogeneity and forest regeneration [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(5):615 – 619. (in Chinese)

[3] OTIENO D, LI Y, OU Y, et al. Stand characteristics and water use at two elevations in a sub-tropical evergreen forest in southern China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2014, 194:155 – 166.

[4] 张启斌,岳德鹏,方敏哲,等. 基于 SFLA – M – L 模型的景观格局优化研究[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(7):159 – 166.
ZHANG Qibin,YUE Depeng,FANG Minzhe, et al. Landscape pattern optimization based on SFLA – M – L Model [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(7):159 – 166. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170720&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.020. (in Chinese)

[5] 程瑞梅,沈雅飞,封晓辉,等. 森林自然更新研究进展[J]. 浙江农林大学学报,2018,35(5):955 – 967.
CHENG Ruimei,SHEN Yafei,FENG Xiaohui,et al. Research review on forests natural regeneration[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2018, 35(5):955 – 967. (in Chinese)

[6] 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)

[7] 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.
YUE Depeng,YU Qiang,ZHANG Qibin, et al. Progress in research on regional ecological security pattern optimization [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 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. (in Chinese)

[8] 徐斌,张德成,胡延杰,等. 世界林业发展热点与趋势[J]. 林业经济,2013(1):99 – 106.
XU Bin,ZHANG Decheng,HU Yanjie, et al. Hot issues and trends of world forestry development [J]. Forestry Economics, 2013(1):99 – 106. (in Chinese)

[9] 唐利,邵景安,郭跃,等. 社区水平森林景观格局动态特征与驱动因素[J]. 生态学报,2017,37(6):2101 – 2117.
TANG Li,SHAO Jing'an,GUO Yue, et al. Forest landscape pattern dynamic and its driving factors at the community level [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(6):2101 – 2117. (in Chinese)

[10] GOND V, FREYCON V, MOLINO J F, et al. Broad-scale spatial pattern of forest landscape types in the Guiana Shield [J]. International Journal of Applied Earth Observations & Geoinformation, 2011, 13(3):357 – 367.

[11] 赵长存. 杉木老龄林群落的空间异质性与空间结构特征研究[D]. 福州:福建农林大学,2014.
ZHAO Changcun. Study on the spatial heterogeneity and spatial structure characteristics of aging Chinese fir forest community [D]. Fuzhou:Fujian Agriculture and Forestry University, 2014. (in Chinese)

[12] 赵维俊,刘贤德,敬文茂,等. 祁连山青海云杉林群落结构的空间异质性[J]. 应用生态学报,2015,26(9):2591 – 2599.
ZHAO Weijun,LIU Xiande,JING Wenmao, et al. Spatial heterogeneity of community structure of *Picea crassifolia* forest in Qilian Mountains,China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015,26(9):2591 – 2599. (in Chinese)

[13] 程越,林旻,杨刚,等. 基于个体植物生长模型的森林动态演替模拟[J]. 北京林业大学学报,2017,39(6):100 – 110.
CHENG Yue,LIN Min,YANG Gang, et al. Forest dynamic succession simulation based on individual plant growth model [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017,39(6):100 – 110. (in Chinese)

[14] 唐秀美,刘玉,刘新卫,等. 基于格网尺度的区域生态系统服务价值估算与分析[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(4):149 – 153.
TANG Xiumei,LIU Yu,LIU Xinwei, et al. Estimation and analysis of ecosystem service value based on grid scale [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(4):149 – 153. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170419&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.

019. (in Chinese)

[15] 彭羽,范敏,卿凤婷,等. 景观格局对植物多样性影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(6):1061 – 1068.
PENG Yu, FAN Min, QING Fengting, et al. Study progresses on effects of landscape metrics on plant diversity[J]. Journal of Ecological Environment, 2016,25(6):1061 – 1068. (in Chinese)

[16] 陈雅如,肖文发,冯源,等. 三峡库区 1992—2012 年森林景观格局演变研究[J]. 林业科学研究, 2017, 30(4):542 – 550.
CHEN Yaru, XIAO Wenfa, FENG Yuan, et al. Study on the evolution of forest landscape pattern in Three Gorges Reservoir area from 1992 to 2012 [J]. Forest Research, 2017, 30(4):542 – 550. (in Chinese)

[17] 刘宇. 景观指数耦合景观格局与土壤侵蚀的有效性[J]. 生态学报, 2017, 37(15):4923 – 4935.
LIU Yu. Effectiveness of landscape metrics in coupling soil erosion with landscape pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15):4923 – 4935. (in Chinese)

[18] 赵春燕. 森林景观斑块边缘效应和耦合机理研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2012.
ZHAO Chunyan. Research on edge effect and coupling mechanism of forest landscape patches [D]. Changsha:Central South University of Forestry Science and Technology, 2012. (in Chinese)

[19] 刘庆福. 景观异质性对多尺度物种多样性的影响—区分环境 与人类活动的时间[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2016.
LIU Qingfu. The influence of landscape heterogeneity on multi-scale species diversity-distinguish the effects of environment and human activity[D]. Huhhot:Inner Mongolia University, 2016. (in Chinese)

[20] 郭晋平,张芸香. 森林景观恢复过程中景观要素空间分布格局及其动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(12):2021 – 2029.
GUO Jinping, ZHANG Yunxiang. Studies on the dynamics and distribution pattern of landscape elements in the forest landscape restoration process in Guandi-shan forest region [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002,22(12):2021 – 2029. (in Chinese)

[21] 杨国靖,肖笃宁. 森林景观格局分析及破碎化评价——以祁连山西水自然保护区为例[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5):56 – 61.
YANG Guojing, XIAO Duning. Forest landscape pattern and fragmentation;a case study on Xishui Natural Reserve in Qilian Mountain [J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(5):56 – 61. (in Chinese)

[22] 郭砾,夏北成,余世孝. 森林景观格局研究中的尺度效应[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(3):304 – 307.
GUO Luo, XIA Beicheng, YU Shixiao. Scale effects on study of forest landscape pattern [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2006, 12(3):304 – 307. (in Chinese)

[23] 丁圣彦,钱乐祥,曹新向,等. 伊洛河流域典型地区森林景观格局动态[J]. 地理学报, 2003, 58(3):354 – 362.
DING Shengyan, QIAN Lexiang, CAO Xinxiang, et al. Forest landscape patterns dynamics of Yihe-Louhe River Basin [J]. Acta Geographica Sinica, 2003,58(3):354 – 362. (in Chinese)

[24] 阳柏苏,郑华,尹刚强,等. 张家界森林公园景观格局变化分析[J]. 林业科学, 2006,42(7):11 – 15.
YANG Bosu, ZHENG Hua, YIN Gangqiang, et al. Research on landscape pattern change in Zhangjiajie National Forest Park [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006,42(7):11 – 15. (in Chinese)

[25] 张启斌,岳德鹏,于强,等. 磴口县景观格局 AES – LPI – CA 模型演化模拟[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(5):128 – 134.
ZHANG Qibin, YUE Depeng, YU Qiang, et al. Simulation of landscape pattern evolution in Dengkou County using AES – LPI – CA model[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5):128 – 134. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170515&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.015. (in Chinese)

[26] 范敏,彭羽,王庆慧,等. 景观格局与植物多样性的关系及其空间尺度效应——以浑善达克沙地为例[J]. 生态学报, 2018,38(7):2450 – 2461.
FAN Min, PENG Yu, WANG Qinghui, et al. Correlations between landscape pattern and plant diversity at multiple spatial scales: a case study of Hunshandak Sandland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(7):2450 – 2461. (in Chinese)