

Fractal Analysis on Arbor Forest Landscape of Zha Gana Forest Area in Diebu County

Guocui Qi¹, Cuiwen Tang^{1,2*}, Shibo Zhao¹

¹School of Environmental & Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou

²State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou

Email: 804710915@qq.com, *tangcuiwen@sina.com

Received: Sep. 16th, 2014; revised: Oct. 16th, 2014; accepted: Oct. 21st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the help of GIS technology, the algorithm about the relation of perimeter-area was used to do the fractal analysis of arbor landscape based on the forest map and survey data of Zha Gana Forest in Diebu. The results showed that 1) the type of arbor landscape was dominated by coniferous forest. The area of fir forest accounted for 50.1 percent of the total area of arbor, and its mean patch area was much larger with the centralized and complete distribution. So the fir was superior forest in arbor forest. The level of mean patch area of *Picea asperata* was relatively low with dispersed distribution and a higher degree of fragmentation. 2) At the whole level, the fractal dimension for each forest was very close, ranging from 1.1 - 1.3. It explained that the shape complexity of seven species of arbor landscape patches were same. The sequence of fractal dimension for different forest landscape patches is *Betula albo-sinensis* < *Betula platyphylla* < *Pinus tabuliformis* < mixed broadleaf-conifer forest < coniferous mixed forest < *Picea asperata* < Fir. The fractal dimension for the broad-leaved forest ranged from 1.10 - 1.15; the mingled forest ranged from 1.23 - 1.25; and the aciculiailvae ranged from 1.25 - 1.27. There appears a tendency that the wider area and the higher altitude, the higher fractal dimension will be. To a certain extent, it reflected a higher level of destruction of farmland to vegetation. The fractal dimension for *Betula albo-sinensis* was minimum, which was the biggest distribution area among broad-leaved forest. 3) Accounted for 90 percent of total area of whole arbor forest in Zha Gana Forest, the species of *Picea asperata*, Fir and mingled forest were essentially mature or over-mature forest. The fractal dimension calculated by age structure was different among various age groups. The fractal dimension for mature or over-mature *Betula platyphylla* and mid-aged mixed broadleaf-conifer forest was close to 1.5. The shapes of patches were complex and in an unstable state. The fractal dimension for middle-aged *Betula albo-sinensis* was close to 1. The distribution shape was the most regular and single one; it was the type that suffered the farmland destruction most.

*通讯作者。

Keywords

Forest Landscape, Arbor Forest, Fractal Analysis, Diebu Zha Gana

迭部扎尕那林区乔木林景观斑块分形分析

齐国翠¹, 汤萃文^{1,2*}, 赵士波¹

¹兰州交通大学, 环境与市政工程学院, 兰州

²中国科学院寒区旱区环境与市政工程研究所, 冻土工程国家重点实验室, 兰州

Email: 804710915@qq.com, tangcuiwen@sina.com

收稿日期: 2014年9月16日; 修回日期: 2014年10月16日; 录用日期: 2014年10月21日

摘要

在GIS技术的支持下, 利用林相图及相关调查资料, 采用周长-面积关系的算法对迭部扎尕那林区乔木林景观进行了分形分析。结果表明: 1) 乔木林景观类型以针叶林为主, 冷杉林面积占乔木林总面积的50.1%, 且平均斑块面积较大, 分布较为集中完整, 是该林区的优势林种。云杉林平均斑块面积水平相对较低, 分布较为分散, 破碎化程度较高。阔叶林分布面积只占乔木林总面积的9.9%。红桦林是阔叶林中面积最大, 分布较为集中的类型。2) 乔木林各林种斑块分维值整体较为接近, 介于1.1~1.3之间, 说明7种森林类型的斑块边界形状复杂程度相当。不同林种景观斑块分维值大小排列顺序为红桦 < 白桦 < 油松 < 针阔混交 < 针叶混交 < 云杉 < 冷杉。其中阔叶林分维值在1.10~1.15之间, 混交林在1.23~1.25之间, 针叶林在1.25~1.27之间, 基本呈现出面积分布越广、海拔分布范围越高的类型分维数也越高的趋势, 一定程度上反映出农田对植被的破坏程度较大。阔叶林中分布面积最大的红桦林分维数最低。3) 扎尕那林区占整个林区乔木林总面积90%的云冷杉林及混交林种基本上是近成过熟林。年龄结构计算的分维数值各龄组之间差别较大。近成过熟白桦林和中龄针阔混交林的分维数接近1.5, 斑块形状复杂, 且目前处于不稳定状态。中龄红桦林分维值接近1, 分布形状最为规则单一, 是受农田破坏最大的类型。

关键词

森林景观, 乔木林, 分形分析, 迭部扎尕那

1. 引言

景观类型斑块特征是研究景观要素特征的一个重要参数[1] [2], 斑块形状、大小及数量是描述斑块特征的重要指标[3] [4]。其中斑块的几何形状是景观空间结构的主要特征之一[4]。目前研究景观要素斑块形状的量化指标主要有形状指数和分维数。通常, 形状指数可用来分析景观中斑块的形状特征, 但不能直接度量斑块复杂性, 而分维数却是用来刻画斑块边界复杂形状的主要工具[5]。应用分形分维数量化森林景观斑块特征, 可以在多尺度上观察景观要素变化, 从而在面对模糊性的情况下实现可预测性[6], 进而有利于研究景观的结构组成特征和空间配置关系, 揭示景观结构与功能之间的关系[7] [8]。扎尕那林区自然条件优越, 森林景观资源丰富, 是长江、黄河上游支流白龙江、洮河、大夏河的重要水源涵养林区[9]。针对该林区森林植被景观特征及相关性研究相对较少。本文结合 RS 和 GIS 技术, 从景观斑块特征方面

对迭部扎尕那林场乔木林进行分形分析，以期从景观尺度上为该区森林生态系统的可持续健康发展提供科学依据。

2. 研究区概况

扎尕那林场所在的迭部县位于甘肃省甘南藏族自治州，地理位置为 $102^{\circ}57'03''\text{E}\sim 103^{\circ}15'07''\text{E}$ ， $34^{\circ}11'37''\text{N}\sim 34^{\circ}18'06''\text{N}$ [10]。扎尕那林场位于迭部县益哇乡东北部，北与卓尼县接壤、西南与四川若尔盖县相邻，平均海拔 3500 米，是一座完整的天然“石城”。该地区属高原亚温带湿润大陆性气候，年平均气温 4.6°C ，年平均降水量为 698.6 毫米。境内气候温和，森林发育茂盛，地形复杂，坡陡沟深，保存有丰富的生物资源，是我国种子植物物种多样性最为丰富的温带森林植物区系之一，也是甘肃省针叶树种分布最集中的地区。扎尕那林区森林植物区系成分复杂多样，受地形地貌的影响，植被在分布上具有明显的垂直变化及阴阳坡差异，植被垂直分带的分布自上而下为海拔 3800~4200 m 为高山灌丛及高山草甸带；2500~3800 m 为亚高山针叶林带；2500 m 以下为针阔叶混交林带。主要树种有秦岭云杉(*Picea aspraia* Mast)、岷江冷杉(*Abies recurvata* Mast)、紫果云杉(*Picea purpurea* Mast)、垂枝云杉(*Sabina pingii*)、糙皮云杉，此外还有华山松(*Pinus armandii* Franch)、油松(*Pinus tabuliformis* Carrière)、铁杉(*Pinaceae*)、落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen)等分布。阔叶树种有红桦(*Betula albosinnensis*)、白桦(*B. platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、槭树、高山柳(*Salix cupularis*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、椴(*Tilia tuan* Szyszyl)等[9]。

3. 研究方法

3.1. 数据来源与处理

以迭部县扎尕那林场 1:5 万林相图为基本图件，在 ArcGIS10 环境下完成林相图乔木林斑块的数字化，形成各林种分不同龄组的斑块分布图。根据研究地区森林分布现状以及林相图精度，将该林区乔木林划分为冷杉、云杉、针叶混交、针阔混交、油松、红桦和白桦等 7 种类型，类型合并数字化林相图有关斑块，再转化为格网分辨率为 10 m 的 Grid 格式，形成乔木林按林种分布的斑块分布图。

3.2. 分维值计算

分形维数是分析各景观类型形态结构的主要工具，其计算方法有很多，其中周长 - 面积关系的算法适用于测量景观要素斑块的边界分维数[11]。

单个斑块的分维数的计算方法如下[12]：

$$P = C_0 A^{D/2} \quad (1)$$

式中， P 是斑块的周长， A 是斑块的面积， D 是分维数， C_0 是常数。

通常，将(1)式两边取对数，得到

$$\ln P = \ln C_0 + (D/2) \ln A \quad (2)$$

令 $C = \ln C_0$ ， $b = D/2$ ，则(2)式可以写成

$$\ln P = C + b \ln A \quad (3)$$

即 $\ln P$ 为 $\ln A$ 的线性函数， C 为该直线在 $\ln P$ 轴上的截距， b 为该直线的斜率，分维 $D = 2b$ ，即分维就是该直线斜率的 2 倍。

对于栅格景观而言， $C_0 = 4$ 。 D 的理论范围值在 1.0~2.0 之间， $D = 1$ ，则斑块形状为欧几里得正方形； $D = 2$ ，则表示该斑块的形状最为复杂[13]。另外，分维值的大小也可反映景观的稳定程度[14]。

4. 结果与分析

4.1. 乔木林景观结构特征分析

在 GIS10 软件环境下, 对各乔木林斑块进行空间分析, 生成各乔木林斑块面积、周长等基本参数(表 1)。

从基本的斑块参数可以看出, 研究区森林景观组成中冷杉林占绝对优势, 其面积占到所有乔木林总面积的 50.1%, 周长占乔木林总周长的 44.1%。其次是云杉林、针阔混交林和针叶混交林, 三者的面积和周长分别占到乔木林总体的 40%和 44%。而红桦、白桦和油松这三种阔叶林面积和周长只占乔木林总体的 9.9%和 12%。可见该区的森林类型的主体是以云杉和冷杉为主的针叶林, 尤其是冷杉, 可视为该林区的优势树种。平均斑块面积为某景观组分斑块总面积与斑块数的比值, 可用来对比不同景观的聚集及破碎程度[15]。冷杉林的平均斑块面积远高于其它类型, 说明冷杉林在分布上也是以大斑块的形式集中成片分布。相比之下, 云杉林面积在各林种中占第二位, 但平均斑块面积仅高于油松林和白桦林, 远低于其它类型, 可见云杉林的分布较为分散, 破碎化程度较高。红桦林和油松林是两种主要的阔叶林种, 红桦林面积略高于油松林, 但油松的斑块数明显多于白桦林, 而平均斑块面积远小于红桦林, 说明红桦林虽然面积较小, 但在分布上较为集中, 而油松林则较为零散。再将红桦林与云杉林相比, 云杉林面积占乔木林总面积的 16.9%, 红桦林只占 4.7%, 而红桦林的平均斑块面积却高于云杉林, 更说明了红桦林在分布上较为集中的特点。白桦林分布面积最小, 只占乔木林总面积的 1%, 是该区非常稀有的类型, 平均斑块面积也最小, 说明分布也很零散。

4.2. 不同林种斑块分形特征分析

根据各乔木林景观斑块的面积和周长, 拟合回归模型, 得出不同林种的景观分维数(表 2)。不同林种分维值大小的排列顺序为红桦 < 白桦 < 油松 < 针阔混交 < 针叶混交 < 云杉 < 冷杉, 各林种的分维值都比较接近, 介于 1.1~1.3 之间, 说明 7 种类型的斑块边缘界限复杂程度相当。相比处于青藏高原东北边缘地带的祁连山南坡扎麻什林场, 该区乔木林分维值在整体上略高一些[16]。该区乔木林各林种分维值分布的基本趋势是针叶林大于混交林, 混交林大于阔叶林。针叶林的分维值在 1.25~1.27 之间, 混交林在 1.23~1.25 之间, 阔叶林在 1.10~1.15 之间, 基本上呈现出面积分布越广、分布海拔范围越高的森林类型斑块分维数也大的趋势。植被斑块分形特征数与植被受人类活动的影响有关, 而且不同方式的人类活动影响的结果也不一样。如果是放牧、砍伐等活动, 可能会造成植被斑块破碎化严重, 使得一定区域斑块总面积减少而周长增加, 且斑块形状的不规则程度加大, 其结果可能会引起分维值增加。而如果是开垦农田或建筑人工建筑物, 尤其是农田, 若和原来的自然植被相间分布, 则会造成大量的自然植被斑块边界规则化, 最终造成植被斑块分维值大幅度减小。针叶林分布面积广, 而且分布的海拔范围较高[9], 更多地呈自然状态分布, 而且高海拔区域人类活动以放牧为主, 受其破坏形成的边界也多呈不规则状。而阔叶林分布面积较小, 零星镶嵌于自然及人工景观之中, 而且分布的海拔范围较低[9]。低海拔区农田及居民区分布较多, 使得阔叶林地多与农田或居民地相连, 其边界形状也较为规则。阔叶林中分布面积最多的红桦林分维数最低, 可能红桦林斑块多与农田相邻。

4.3. 按年龄结构的乔木林景观斑块分维特征分析

4.3.1. 乔木林年龄结构分析

根据分龄组的斑块分布图进行空间分析, 得到各林种不同龄组斑块面积、周长等基本参数(表 3)。可以看出, 扎尕那林区云冷杉林及针叶、针阔混交林基本上是近成过熟林, 几乎没有幼龄林分布。近成过

Table 1. Essential features of the arbor landscape of Zha Gana Forest in Diebu**表 1.** 迭部扎尕那林区乔木林景观斑块基本特征

类型	斑块数(个)	总面积(m ²)	面积百分比(%)	平均斑块面积(m ²)	总周长(km)	周长百分比(%)
冷杉	122	276,624	50.1	2267.41	27,545	44.1
云杉	70	93,470	16.9	1335.29	12,177	19.5
针叶混交	39	59,601	10.8	1528.23	7475	12
针阔混交	38	67,518	12.3	1776.79	7805	12.5
红桦	17	26,262	4.7	1544.82	3099	5
油松	27	22,740	4.2	842.22	3451	5.5
白桦	7	5698	1	814	940	1.5
总计	320	551,913	100	1724.73	62,492	100

Table 2. Patches fractal features of different forest**表 2.** 不同林种斑块分维特征

林种	斑块数(个)	面积(m ²)	分维值
冷杉	122	276,624	1.2698
云杉	70	93,470	1.2504
针叶混交	39	59,601	1.2482
针阔混交	38	67,518	1.2320
油松	27	22,740	1.1510
红桦	17	26,262	1.1010
白桦	7	5698	1.1204

Table 3. Patches fractal dimension for different forest of various age**表 3.** 各林种不同龄组斑块分维值

林种	林龄	斑块数(个)	面积(m ²)	周长(km)	分维值
冷杉	近成过熟	120	273,881	27,234	1.2720
	中龄	2	2743	311	
云杉	近成过熟	48	72,917	9061	1.2574
	中龄	21	20,016	2989	1.3114
	幼龄	1	537	127	
针叶混交	近成过熟	37	57,694	7179	1.3146
	中龄	2	1907	296	
针阔混交	近成过熟	30	61,025	6680	1.2516
	中龄	8	6493	1125	1.4218
油松	近成过熟	2	3045	423	
	中龄	25	19,695	3028	1.1926
红桦	近成过熟	4	9949	982	1.2136
	中龄	8	12,322	1418	1.0018
	幼龄	5	3991	699	1.2326
白桦	近成过熟	4	2749	547	1.6486
	中龄	1	1200	149	
	幼龄	2	1749	244	

熟林冷杉林面积达到冷杉林总面积的 99%，云杉林为 78%，针叶、针阔混交林分别为 96.8% 和 90.4%。整个林区乔木林中 90% 的区域为云冷杉林及混交林，可见从年龄结构上看该区森林年龄结构老化且单一，很容易引起森林生态系统结构及功能的不稳定。阔叶林中油松林以中龄林为主，面积占 86.6%。红桦林和白桦林各龄组面积分布较为均匀，其中红桦林近成过熟林、中龄林、幼龄林分布面积分别占红桦林总面积的 37.9%，46.9%，15.2%，白桦林分别占 48.2%、21.1% 和 30.7%。

4.3.2. 按年龄结构的斑块分维特征分析

由各斑块的面积和周长，拟合回归模型，得出各林种不同龄组的景观分维数(表 3)。

由于斑块数较少(1~2 个)而无法计算分维数，冷杉林、针叶混交林和白桦林只计算了近成过熟林的分维数，油松林只计算了中龄林的分维值(表 3)。按年龄结构计算的斑块分维数各龄组之间的差别较大。其中近成过熟白桦林的分维数最大为 1.6486，其次是中龄针阔混交为 1.4218，这两种类型都是面积较小的林种，其中近成过熟白桦林面积只占乔木林总面积的 0.5%，中龄针阔混交林面积也只占乔木林总面积的 1.2%。这两种类型的斑块数也较少，它们可能是以不规则的方式零散地镶嵌于其它类型中间。另外，这两种类型分维值接近 1.5。有研究表明：当 $D = 1.5$ 时，表示该景观要素处于一种类似于布朗运动的随机状态，即最不稳定状态； D 值越接近 1.5，就表示该景观要素越不稳定[14]。可见，与其它类型相比，这两种类型当前处于较为不稳定的状态。中龄红桦林分维值最低，且接近 1，说明其分布形状在各类型中最为规则，可以推测中龄红桦林与农田呈相间分布的斑块最多。其余各类型分维值相差不大，在 1.2~1.3 左右。

5. 结论与讨论

通过对迭部县扎尕那林区乔木林景观斑块的形分析，得到如下结论：

1) 研究区乔木林景观组成以针叶林为主，其中冷杉林面积占到乔木林总面积的 50.1%，且平均斑块面积较大，分布较为集中完整，是该林区的优势林种。云杉林、针阔混交、针叶混交林面积差别不大，三者的总面积占乔木林总面积的 40%。云杉林平均斑块面积水平相对较低，分布较为分散，破碎化程度较高。阔叶林分布很少，面积只占乔木林总面积的 9.9%。红桦林是阔叶林中分布面积最多，平均斑块面积较大，分布较复杂为集中的类型，而油松林和白桦林在分布上很零散。

2) 乔木林各林种斑块分维值整体较低，介于 1.1~1.3 之间，7 种乔木林类型的斑块边界形状复杂程度相当。不同林种景观斑块分维值大小排列顺序为红桦 < 白桦 < 油松 < 针阔混交 < 针叶混交 < 云杉 < 冷杉。各林种分维值分布的基本趋势是针叶林大于混交林，混交林大于阔叶林，基本呈现出面积分布越广、海拔分布范围越高的类型分维数也越高的趋势。阔叶林中分布面积最大的红桦林分维数最低，可能红桦林斑块多与农田或居民地相邻。

3) 扎尕那林区森林年龄结构老化且单一，占整个林区乔木林总面积 90% 的云冷杉林及混交林种基本上是近成过熟林。按年龄结构计算的分维数值各龄组之间差别较大。面积只占乔木林总面积的 0.5% 和 1.2% 的近成过熟白桦林和中龄针阔混交林的分维数较大(分别为 1.6486 和 1.4218)，接近 1.5，当前处于较为不稳定的状态。中龄红桦林分维值最低，且接近 1，说明其分布形状在各类型中最为规则，可以推测中龄红桦林与农田呈相间分布的斑块最多。

景观斑块的分维数是描述景观斑块形状特征的一个重要参数，它不随尺度的改变而变化，能科学地反映出景观镶嵌结构中要素斑块的特征[17]。但是，景观中斑块的分维是指斑块边界的分维，分维值的区间介于 1~2。论文对主要乔木林林种的景观斑块形状进行分形分析可得到不同的分维值，但在不同龄组乔木林景观斑块分形分析中，由于各小斑块数量较少，计算的分维值落在区间之外，这从理论上讲没有意义[18]，应值得注意。景观斑块特征的量化不仅可以利用分维数这个工具，还有很多指标，如多样性指

数、均匀度、破碎度、形状指数等参数，因此，运用分形维数结合以上指标可较全面的反映斑块特征及变化的内在机制，以更好地揭示景观特征、分析区域景观格局变化。

基金项目

冻土工程国家重点实验室开放基金项目(SKLFSE201002)；甘肃省教育厅研究生导师计划项目(1104-07)。

参考文献 (References)

- [1] 肖笃宁, 李秀这, 高俊, 等 (2003) 景观生态学. 中国林业出版社, 北京.
- [2] 李斌, 张金屯 (2010) 黄土高原灌丛景观斑块形状的指数和分形分析. *中国农学通报*, **2**, 141-147.
- [3] Forman, R.T.T. (1995) *Land mosaics: The ecology of landscape and region*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [4] 张丽珍, 张芸香, 郭晋平 (2003) 次生林区斑块形状动态与森林恢复过程分析. *生态学杂志*, **2**, 16-19.
- [5] 邬建国 (2000) 景观生态学—格局、过程、尺度及等级. 高等教育出版社, 北京.
- [6] 李斌, 张金屯 (2010) 黄土高原草原景观斑块形状的指数和分形分析. *草地学报*, **2**, 141-147.
- [7] 邬建国 (2004) 景观生态学. 高等教育出版社, 北京.
- [8] 杨珍珍, 白淼源 (2010) 基于 GIS 的大兴安岭呼中森林景观格局分析. *东北林业大学学报*, **9**, 40-43.
- [9] 沈永平, 等 (2010) 甘肃省迭部县扎尕那景区冰川地貌考查及开发保护规划. 甘肃.
- [10] 史利莎, 彭莹, 黄璐, 等 (2012) 甘肃省迭部县扎尕那生态人居多层次景观空间解构. *地理科学*, **4**, 485-491.
- [11] 郭晋平 (2001) 森林景观生态研究. 北京大学出版社, 北京.
- [12] Frohn, R.C. (1998) *Remote sensing for landscape ecology: New metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- [13] 常学礼, 邬建国 (1996) 分形模型在生态学研究中的应用. *生态学杂志*, **3**, 35-42.
- [14] 徐建华 (2002) 现代地理学中的数学方法. 高等教育出版社, 北京.
- [15] 汤萃文, 杨国靖, 任珺, 苏研科, 肖笃宁 (2010) 石羊河、黑河流域上游山地景观格局特征比较. *冰川冻土*, **5**, 1007-1014.
- [16] 汤萃文, 张海风, 陈银萍, 姚雪玲, 王丽娟, 肖笃宁 (2009) 祁连山南坡植被景观格局及其破碎化. *生态学杂志*, **11**, 2305-2310.
- [17] 付春风, 张贵 (2006) 广州市白云区森林景观镶嵌结构的分析分析. *湖南林业科技*, **3**, 22-24.
- [18] 刘灿然, 陈灵芝 (2000) 北京地区植被景观斑块形状的分析分析. *植物生态学报*, **2**, 129-134.