

冀北山地不同植被类型下白桦的分形维数

沈瑞秋, 邹恒超, 黄头生, 黄海

华北电力大学, 北京

收稿日期: 2022年3月19日; 录用日期: 2022年4月7日; 发布日期: 2022年4月20日

摘要

以冀北山地白桦为研究对象, 选取不同植被类型下的白桦标准枝, 对其标准枝的分形维数进行计算, 以枝长, 枝径, 分枝数, 生物量为参数估算白桦分形维数, 揭示冀北山地白桦分形维数在不同植被类型的变化特征, 结果显示: 白桦纯林的分形维数 > 落叶松-白桦混交林 > 荒草坡, 表明白桦树种内的竞争大于白桦和落叶松种间的竞争, 种内占据生态空间的能力要大于种间。合理配置白桦的分布, 有利于提高白桦的生存能力。

关键词

冀北山地, 白桦, 分形维数, 植被类型

Fractal Dimension of White Birch under Different Vegetation Types in Northern Hebei Mountains

Ruiqiu Shen, Hengchao Zhou, Tousheng Huang, Hai Huang

North China Electric Power University, Beijing

Received: Mar. 19th, 2022; accepted: Apr. 7th, 2022; published: Apr. 20th, 2022

Abstract

Taking white birch in northern Hebei mountain as the research object, the standard branches of white birch under different vegetation types are selected, and the fractal dimension of the standard branches is calculated. The fractal dimension of white birch is estimated with the parameters of branch length, branch diameter, branch number and biomass, so as to reveal the variation characteristics of the fractal dimension of white birch in northern Hebei mountain in different vegetation types. The results show that the fractal dimension of pure white birch forest > larch white

birch mixed forest > barren grass slope. The table shows that the intraspecific competition of birch is greater than that of white birch and larch, and the ability of intraspecific occupying ecological space is greater than that of interspecific. Reasonable distribution of white birch is beneficial to improve the survival ability of white birch.

Keywords

Northern Hebei Mountain, White Birch, Fractal Dimension, Vegetation Type

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

分形理论是由 Mandelbrot 在 1975 年正式提出与建立的一种探索复杂性的新的科学方法和理论,分形体一般具有自相似性和分形维数两个特征[1]。分形是具有不规则几何形式的物体,自相似,具有无限的细节,可在所有尺度的表示上观察到。分形理论已被广泛应用于生态领域,解释了很多自然现象。马克明等[2]将分形理论应用于植物生态学领域并在研究东北羊草草原群落格局方面取得了良好效果。Karamchedu 等[3]研究探索了利用植物图像进行植物构型和生长的分形分析来估计地上生物量,量化和描述了植物的功能。葛丽娟等[4]通过不同海拔、径级的树木,对其树冠的分形维数进行了计算,揭示了青海云杉树冠分形维数的时空变化特征。然而针对冀北山地复杂的群落精细化分枝格局的分形研究较少。

白桦是冀北山地的优势树种,是土壤改良和北方林区针叶林及针阔混交林中的主要伴生物种,其抗性极强,经过数次山火后的白桦仍能继续生长,而且具有较强的萌芽力和天然下种能力[5]。它是该地区重要用材林、公益林树种之一,具有材质优良、生长旺盛、良好的涵养水源的特性,是维持植物群落结构和群落演替过程的重要组成部分,对木材生产、构建区域尺度的景观多样性、保持水土和维持森林生态系统的稳定性等方面发挥着重要作用[6]。目前,针对冀北山地群落精细化复杂分枝格局的分形研究较少。白桦作为冀北山地一种典型的优势树种,对其的研究主要集中在树木生长,种群分布,群落结构等方面[7],利用标准枝等指标进行精细化分形结构仍然缺乏。本研究通过研究不同植被类型下冀北山地白桦树的分形维数,揭示了冀北山地白桦在不同植被类型中对其空间占据能力和分形的变化,进一步阐释分形维数的生态学意义,实现对树木的定量化描述,为揭示树木生长对策和适应机理提供理论依据。

2. 研究区域概况与研究方法

2.1. 研究区域概况

研究区域位于河北省张家口市崇礼区,该地处于位于河北省西北部,张家口市中部,境内为冀西北山地,属阴山山脉东段的到大马山群山支系和燕山余脉交接地带,多为东北-西南及东-西走向,地理坐标为北纬 40°59'50",东经 115°24'31",海拔在 814 米至 2174 米之间。崇礼区气候为大陆季风气候,属于温带亚干旱区,全年降雨量主要集中在夏季,即 7~9 月份,年平均降雨量为 468 毫米,年平均气温 3.9℃~10℃,积温 2183℃,无霜期 102 天,夏季温度较高,冬季较为寒冷,四季界限分明。

崇礼区现状生态资源的储量极为丰富,境内 80%为山地,森林覆盖率 52.38%,森林面积达到 1223

平方公里, 其中主要的乔木树种有: 白桦(*Betula platyphylla*), 华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、山杨(*Populus davidiana*)和云杉(*Picea asperata*)。

2.2. 研究方法

2.2.1. 样地设置与采样

样地选取的步骤是通过无人机试飞和多次实地考察及对遥感卫片的解译, 初步了解了研究区山地地形、植被类型和植被覆盖情况, 最终确定研究区域为: 松林背集水区、翠云山集水区、老虎沟集水区, 其中三个集水区中共选取了 30 个 100 m × 100 m 大小样地, 本次野外考察选取了 10 个样地进行研究。10 个样地共包含了白桦林、落叶松 - 白桦混交林、荒草坡(含云杉幼苗和樟子松幼苗) 3 种植被类型。

我们能选择标准枝的方法进行取样和分析。标准枝法中又分平均标准枝法和分级标准枝法, 由于采样的白桦枝、叶变动比较大, 我们选取分级标准枝法测量[8]。将 10 个样地每个样地分成 4 个平均的样块, 在每个样块中心位置选择 1 株样树(长势良好, 无人为破坏, 无动物啃噬, 无病虫害灾害, 若样块无该树种, 则不取), 于当地 7 月中旬选取白桦树冠的东南西北四个方向, 上、中、下三层, 一共 12 个方位点, 从树冠顶点往里取, 直至取到此级标准枝上的分枝都是当年生枝, 即不具有下一级分枝为止[9]。这个时间段白桦生长处于最佳状态, 不同植被类型下取样的情况见表 1。

Table 1. Sampling table under different vegetation types

表 1. 不同植被类型下取样表

植被类型 Vegetation types	样地 Sample plot	取样数量(株) Number of samples (plants)
白桦林 White birch forest	6	4
	9	4
混交林 Mixed forest	1	4
	2	4
	4	3
	5	2
	7	4
荒草坡 Grassy slopes	3	0
	8	3
	10	3

共取样 31 株, 其中混交林是白桦和落叶松的混交, 荒草坡含云杉和樟子松幼苗。

2.2.2. 白桦分形结构的计算方法

白桦的分形维数指标包括树冠和分枝的分形维数。本研究用测高仪测定每株样树的树高, 卷尺测量枝高, 胸径(树高 1.3 m 处的直径), 枝长, 游标卡尺测定分枝的枝径, 天平称取分枝的干重, 计算树冠和分枝的分形维数。

1) 树冠的分形维数

对于树冠分形结构的判定方法是采用一种已知的具有多种空间自相似性的数学分形曲线(可以通过不同次重复来得到这些曲线)组合来拟合自然物体的形状, 通过计算曲线集的残差来判断统计自相似性的

最大连续尺度,这种方法需要有关维度理论的精确经验公式,模拟相对比较困难[10]。一般树冠分维数估算方法有盒维数法、双表面积法及贝氏法等,有研究表明盒维数法应该是求算树冠分维数最理想的方法[11]。因此,本文采用计盒维数的公式进行计算树冠的分形维数,如果设 $N(L)$ 为测度指标(如质量、重量、生物量等),为度量所采用 L 的尺度指标(如长度、面积、体积等), D 为指数, C 为比例系数(常量),则存在如下关系:

$$N(L) = CL^D \quad (1)$$

一般求算分形维数所采用的方法是在双对数坐标下进行线性回归,拟合的斜率(或其转换结果)即为分形维数值,其计算公式为:

$$\ln N(L) = \ln C + D \ln L \quad (2)$$

式中, D 为分维数,它一般为分数,亦可能取整。 $\ln N(L)$ 与 $\ln L$ 存在一种线性的关系, D 为二者形成的直线的斜率,因此,可以用公式(2)对所得实验数据进行最小二乘法拟合,便可求得每个事例的分维数 D 及拟合的相关系数[12][13]。通常树冠的分数维一般采用树冠的体积与树冠的生物量表示,本文 L 取树冠体积, $N(L)$ 取该树冠体积对应质量累加值[14]。

树冠的大小与标准枝冠的大小有关,标准枝解析后,每个小枝条是单独的,本文中把白桦标准枝的枝冠按照分枝结构分成对应的区间段,当区间足够小时,树冠可近似看作圆柱体,计算各个区间体的体积 L_i 。将各个区分段的体积求和记为树冠的总体积 L 。计算公式如下:

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n \pi r_i^2 h_i \quad (3)$$

L 式中: n 代表分枝数, L_i 为第 i 个分枝数对应的树冠体积, r_i 为第 i 个分枝数对应的枝半径, h_i 为第 i 个分枝数对应的枝长。

2) 分枝分形维数

各级分枝的分枝数 $N(L)$ 、枝长 L 、分枝分维数 D 之间的关系计算公式为: $N(L) = CL^D$ 。式中, C 为比例系数(常数),将上式变型得: $\ln N(L) = \ln C + D \ln L$ 可见, $N(L)$ 与 L 在双对数坐标下存在一种线性关系, D 为该直线的斜率。因此,分枝分维数的计算方法是在双对数坐标下对 $N(L)$ 与 L 的一系列值进行线性回归,所得拟合直线的斜率(或其转换)即为分枝分维数的值[15],因此树冠和分枝的分形维数都可以采用(2)来计算。

2.2.3. 数据处理的方法

运用 Excel2020 软件对原始测定数据进行整理。运用 SPSS22.0 软件采用单因素方差分析法对总体分枝长度、枝径、分枝数、生物量等数据进行差异性检验,采用最小二乘法线性拟合分析方法计算树冠,分枝分维数。

3. 结果与分析

3.1. 树冠分形分布

树冠的体积大小反应了树种占据的水平空间的大小,利用最小二乘法计算得到 10 个样地不同植被类型的白桦树冠分形维数(表 2)。树冠的分形维数反映了树冠的空间占据状态,就林木个体而言,正常树冠结构不同,其形成机制与植物的遗传和生理因素密切相关;而对于一个植物群落而言,将受到自身、种间、种内关系及来自环境的多种因素的综合作用,其分形现象有一定的趋同性。理论上说,树木分形维数越高,表明该树木向不同方向伸展得越充分,利用空间能力越强,占据空间的能力就越大[16]。由表 2 可知,白

桦在不同植被类型下的分形维数不一样, 白桦林(1.3781) > 落叶松 - 白桦混交林(1.1994) > 荒草坡(0.9013), 这表明白桦树的空间利用率与所处林分类型有着密切关系, 白桦林中白桦树的水平空间利用率 > 白桦 - 落叶松混交林中白桦树的水平空间利用率 > 荒草坡中白桦树的水平空间利用率。由此可知白桦树种内对于空间的竞争激烈程度要大于白桦树与落叶松种间竞争程度, 荒草坡中的分形维数明显小于纯林和混交林, 是因为荒草坡内大多是云杉, 樟子松, 灌木和草本, 白桦树零星地分布其中, 土壤比较贫瘠, 荒草坡的地理环境不利于白桦的生长, 能利用的资源有限。由此可见, 模拟树冠的分形分析方法能很好地揭示树木种群在水平方向上的空间分布格局规律[17]。

Table 2. Canopy fractal dimension of white birch under different vegetation types

表 2. 不同植被类型下白桦树冠分形维数

植被类型 Vegetation types	方程 Equation	分形维数 Fractal dimension	相关系数 R^2	显著性 Significant
白桦林 White birch forest	$\ln N(L) = 1.3781 \ln L + 37.5741$	1.3781	0.9581	0.0001
混交林 Mixed forest	$\ln N(L) = 1.1994 \ln L + 4.5445$	1.1994	0.9853	0.0000
荒草坡 Grassy slopes	$\ln N(L) = 0.9013 \ln L - 34.5082$	0.9013	0.9347	0.0020

3.2. 分枝分形分布

就树木个体而言, 分枝是树木形态结构的重要构件, 其空间分布规律对树的形态起着决定性作用, 是研究树木生长规律的重要因素。树木分枝结构不仅与自身遗传密切相关, 而且还与所处的生长环境、种内、种间竞争有很大关系。由表 3 可知, 对三种林分类型的分枝分形维数进行比较发现: 白桦纯林中白桦树的长度分形维数(1.4142) > 白桦 - 落叶松混交林中白桦树的分枝分形维数(1.2750) > 荒草坡中白桦树的分枝分形维数(0.6808), 这说明白桦树分枝的空间利用率与所处林分类型有着密切关系, 白桦树种内的竞争要大于白桦与落叶松种间的竞争, 白桦种内的分枝格局更加复杂, 而荒草坡的分枝分形小主要源于该区域土壤贫瘠, 白桦生长较小, 不利于竞争, 利用生态空间的能力弱。

Table 3. Fractal dimensions of birch branches under different vegetation types

表 3. 不同植被类型下白桦分枝分形维数

植被类型 Vegetation types	方程 Equation	分形维数 Fractal dimension	相关系数 R^2	显著性 Significant
白桦林 White birch forest	$\ln N(L) = 1.4142 \ln L + 34.4102$	1.4142	0.996	0.0020
混交林 Mixed forest	$\ln N(L) = 1.2750 \ln L + 19.3483$	1.2750	0.9950	0.0025
荒草坡 Grassy slopes	$\ln N(L) = 0.6808 \ln L - 30.5651$	0.6808	0.9106	0.0031

4. 结论与讨论

白桦是冀北山地森林的优势物种，是维持冀北山地生态平衡的重要植被，为研究冀北山地优势物种树叶的分形维数，为当地生态建设提供理论依据。树冠和分枝的分形维数反映了树冠和分枝结构的复杂程度以及占据生态空间和利用生态空间的能力，白桦在不同植被类型下的树冠和分枝的分形维数都不一样，整体来看，白桦的分形维数与植被类型有着密切的关系，白桦纯林的分形维数 > 落叶松 - 白桦混交林 > 荒草坡，表明白桦树种内的竞争大于白桦和落叶松种间的竞争，种内占据生态空间的能力要大于种间，同时分形维数也受到外界生态环境的影响。因此合理配置白桦的分布，对白桦的林分蓄积量和生物量累积均有一定的促进作用。

基金项目

本研究受到国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07101002)资助。

参考文献

- [1] Morse, D.R., Lawton, J.H., Dodson, M.M. and Williamson, M.H. (1985) Fractal Dimension of Vegetation and the Distribution of Arthropod Body Lengths. *Nature*, **345**, 731-733. <https://doi.org/10.1038/314731a0>
- [2] 马克明, 祖元刚. 羊草种群地上部生物量与株高的分形关系[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 417-420
- [3] Karamchedu, C.D. and IEEE (2016) Use of Fractal Dimension Ratios of Plant Images as an Allometric Predictor of Plant Biomass. 2016 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Beijing, 10-15 July 2016, 1352-1355. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729344>
- [4] 葛丽娟, 王文彬, 赵传燕, 高婵婵, 赵宇豪, 张光德. 黑河上游天老池流域青海云杉树冠分形维数时空变化特征[J]. *兰州大学学报(自科版)*, 2018, 54(1): 39-43.
- [5] 张守杰. 白桦树的更新与经营[J]. *林区教学*, 2008(9):144-145.
- [6] 孙冰. 白桦种群生态学——黑龙江省自然科学基金资助项目[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 1993.
- [7] 赵茂程, 高素萍, 潘一凡, 等. 分形理论及其在林业中的应用与研究进展[J]. *世界林业研究*, 2002, 15(2): 28-34.
- [8] 胥辉, 张会儒. 林木生物量模型研究[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 2002.
- [9] 李春平. 农田防护林带分维疏透度研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2009
- [10] Lo, N. and Olevi, K. (1995) Effects of Light Availability and Tree Size on the Architecture of Assimilative Surface in the Canopy of *Picea abies*: Variation in Needle Morphology. *Tree Physiology*, **15**, 307-315. <https://doi.org/10.1093/treephys/15.5.307>
- [11] 高甲荣, 张东升, 牛健植, 余新晓, 张文敬. 长江上游峨眉冷杉林结构特征的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 20-24.
- [12] 赵海英, 杨光俊, 徐正光. 图像分形维数计算方法的比较[J]. *计算机系统应用*, 2011, 20(3): 238-241.
- [13] Hong, W., Wu, C.Z., Lin, C.L., et al. (1997) Study on Growth Law of Dominance of *Pinus taiwanensis* Population in Longxi Mountains. *Journal of Fujian College of Forestry*, **17**, 97-101.
- [14] 陈辉, 刘玉宝, 陈福甫. 南方红豆杉扦插基质配方优化的研究[J]. *福建林学院学报*, 1999, 19(4): 292-295.
- [15] 李火根, 黄敏仁. 分形及其在植物研究中的应用[J]. *植物学报*, 2001, 18(6): 684-690.
- [16] 田超, 刘阳, 杨新兵, 刘凤芹, 赵心苗, 陈波, 等. 冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构[J]. *生态学报*, 2011, 31(22): 6753-6765.
- [17] 毕晓丽, 洪伟, 吴承祯, 闫淑君, 蓝斌. 黄山松林不同树种树冠分形特征研究[J]. *福建林学院学报*, 2001, 21(4): 347-350.