

南京紫金山毛竹平均胸径与立株度之间的关系

王平¹, 林树燕¹, 范婷婷¹, 张玉¹, 李芳¹, 凡美玲¹, 方水元¹, 王福升¹, 董丽娜^{2*}, 时培建¹

(1. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学竹类研究所, 江苏南京 210037; 2. 中山陵园管理局, 江苏南京 210014)

摘要 在紫金山毛竹纯林选取 30 个 10 m × 10 m 的样地, 调查每株毛竹个体胸径的大小, 使用正态分布函数和威布尔分布函数判定其分布类型, 先对毛竹平均胸径和立株度数据对数转置后进行线性回归, 探究毛竹平均生物量和竹林密度是否遵从自疏法则。结果表明: 紫金山毛竹胸径符合威布尔分布函数, 毛竹的平均胸径服从自疏法则, 当立株度增加时, 毛竹平均胸径趋于减少。从立株度和平均胸径关系综合来看, 当紫金山毛竹平均胸径为 9.5 cm, 竹林密度为 3 276 株/hm² 时, 紫金山毛竹林布局合理, 具有较高的观赏价值。

关键词 分布函数; 经济价值; 线性回归; 毛竹; 自疏法则

中图分类号 S795 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)07-0106-03

Relationship between the Mean Diameter of Breast Height (DBH) and the Number Per Unit Area of Moso Bamboo Stands in Zijin Mountain

WANG Ping, LIN Shu-yan, FAN Ting-ting et al (Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Bamboo Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract In this study, 30 sites each 10 m × 10 m in the moso bamboo pure forests were investigated in Zijin Mountain, and the DBH of every bamboo was measured. The Normal and Weibull distribution functions were used to judge the distribution type of pooled bamboos' DBHs. After log-transforming the data of mean DBH and corresponding density, the linear regression to examine whether the DBHs of moso bamboo follow the self-thinning law was used. The results showed that the DBHs of moso bamboo in Zijin Mountain follow the Weibull distribution function, with a median of 9.1 cm. There was a significant self-thinning relationship between the mean DBH and spatial density (namely the number per unit area), that was, with spatial density increasing, the mean DBH continuously decreases. When the mean DBH was predicted to be 9.5 cm, and the spatial density reached 3 276 hm². Such a standard of density arrangement was recommended in this area because bamboo was then of high ornamental value based on the trade-off between the number per unit area and the mean DBH.

Key words Distribution function; Economic value; Linear regression; Moso bamboo; Self-thinning law

毛竹隶属于禾本科竹亚科刚竹属, 是我国重要的笋材两用林, 主要分布在我国南方省份。据不完全统计, 我国现有毛竹林总面积超过 3 000 000 hm², 占全世界竹林总面积的 20% 左右, 是我国竹林中分布最广、面积最大的竹种, 占全国竹林总面积的 70% 左右^[1]。自 2009 年, 毛竹纯林面积以每年 3% 左右的速度递增^[2]。紫金山毛竹林为人工起源, 原有竹林面积约 15 hm², 1964 年从浙江莫干山引种定植于此^[3]。1992 年以来, 紫金山管理局通过人工扩鞭、栽竹, 扩大竹林面积达到 106.7 hm², 形成著名的“竹海公园”景点。近年来, 紫金山毛竹林笋产量降低, 生产力下降, 生长呈衰退趋势。目前对毛竹的研究区域主要在福建省与浙江省等竹产业大省, 研究集中于毛竹的繁殖和培育、加工利用、造林技术、生态功能等方面, 对于竹林密度的研究较少。密度是竹林生产力的重要影响因素, 建立合理密度是培育丰产竹林的重要技术措施之一^[4]。研究立竹密度的意义, 在于利用竹林的密度效应规律, 根据经营目的及时调整竹林的密度, 改善竹林结构, 进而提高竹林生产力^[5-6]。关于密度对胸径的影响研究, 结论较为一致, 即当林分密度达到林木间开始有竞争的密度以上时, 胸径随密度的增加而减小^[7-8]。自疏现象是植物种内竞争的结果, 是植物种群生态的一大特征。-3/2 方自疏法则则是 Yoda 等^[9] 1963 年提出的植物种群特有的植物个体平均重量(w)与密度(d)之间的函数关系。笔者通过研究不同密度

下毛竹胸径的变化规律, 揭示毛竹的最适立竹密度, 旨在为毛竹林的长期管理、可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 紫金山坐落于江苏省南京市东郊 (118°53'04" E, 32°16'15" N), 总面积 3 008.8 hm², 最高峰海拔 448.9 m。南京属于亚热带地区, 依据 1951—2012 年气候资料 (数据来源: 国家气象科学数据共享服务平台 <http://data.cma.cn/>), 南京年平均降水量 (1 058 ± 237.5 mm), 年平均气温 (15.6 ± 0.7) °C, 年平均最低气温 8.6 °C, 年平均最高气温 37.4 °C, 平均相对湿度 75.7%, 平均年日照时数 (2 038 ± 190) h^[10]。毛竹林主要分布在紫金山西北坡, 面积达 106.7 hm²。紫金山土壤类型主要为黄棕壤和黄褐土类^[11]。

1.2 研究方法 2017 年 10 月 8 日在紫金山毛竹林中设置 30 个标准样地, 每个样地大小 10 m × 10 m, 海拔高度在 34 ~ 81 m。在 30 个样地中分别调查立竹数、胸径 (DBH), 统计每个样地的立竹度和平均胸径, 分析竹林的合理密度。立竹度^[12] 表示单位面积的毛竹株数, 一般用 1 hm² 竹林中立竹数表示。通常认为, 生物量是衡量生产力的一种标准^[13]。干重和湿重都可以用作植物生物量的指标, 它们是呈比例关系^[14]。由于在实际调查中不便于测量所有竹子生物量, 该研究使用 DBH 代表其生物量。然而, 任何一个地块的毛竹胸径都存在个体差异^[15]。因此, 使用平均 DBH 作为竹生物量的代表。胸径是毛竹生长的关键形态指标, 毛竹林平均 DBH 在一定程度上反映了竹林立地条件、群落结构和经营管理水平, 是评价毛竹林生产力的重要指标之一^[16]。

为了检验毛竹胸径是否符合正态 (Normal) 分布函数或威布尔 (Weibull) 分布函数, 使用 Kolmogorov - Smirnov 检验

基金项目 国家自然科学基金青年基金项目 (31400348); 江苏高校优势学科建设工程项目; 江苏省林业三省工程项目 (LYSX [2016]04)。

作者简介 王平 (1994—), 女, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向: 森林生态学。* 通讯作者, 工程师, 硕士, 从事森林管理工作。

收稿日期 2017-11-16

方法进行检验。

正态分布函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

威布尔分布函数为

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp\left(-\frac{x}{b}\right)^a \quad (2)$$

平均生物量与密度的自疏关系公式为

$$w = \alpha d^\beta \quad (3)$$

式中, w 为平均生物量; d 为毛竹密度; α 、 β 为常数。使用平均 DBH 代表平均生物量^[13]。把式(3)两边取对数可得

$$\ln(w) = \ln(\alpha) + \beta \ln(d) \quad (4)$$

式(4)可以表示为

$$y = \gamma + \beta x \quad (5)$$

可根据调查数据计算出 γ 的估计值和 β 的估计值。

该研究的数据分析和绘图均使用 R 统计软件进行^[17]。

2 结果与分析

30 个 10 m × 10 m 样地中, 共有毛竹 1 687 株, 其平均 DBH 为 8.30 ~ 9.99 cm (图 1)。各样地毛竹数量存在显著差异, 样地立竹度为 2 400 ~ 9 000 株/hm²。样地毛竹平均 DBH 的标准差为 1.45 ~ 2.53。由图 1 可以看出, 大部分样地的胸径范围比较分散, 少数样地的胸径范围比较聚集。

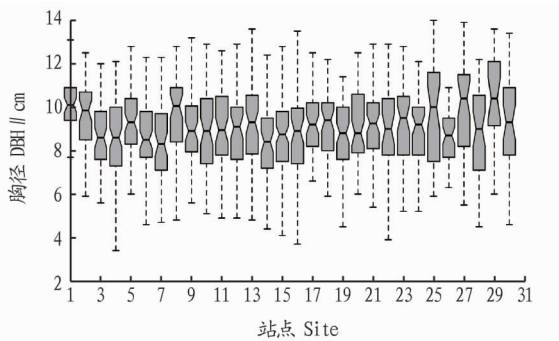


图 1 毛竹胸径箱线图

Fig. 1 Boxplot of DBHs of moso bamboo

图 2 展示了 2 种分布函数对毛竹胸径描述能力。在 30 个样地 1 687 株毛竹中, DBH 为 9 ~ 10 cm 时, 出现的频率最高, 约为 0.21。即在 1 687 株毛竹中, 共有 354 株毛竹的 DBH 落在 9 ~ 10 cm。在紫金山毛竹林中, DBH 极低和极高 2 种极端现象出现的频率较少, 毛竹胸径超过 8 cm, 具有较高的观赏价值。综合考虑毛竹林的总生产力, 毛竹胸径在 8 ~ 11 cm, 紫金山毛竹林的经济价值和生态效益较高。

正态分布函数 2 个参数的估计值分别为 $\mu = 8.95$, $\sigma = 1.929$ 。 $P = 0.011 < 0.05$, 表明正态分布函数不能用于描述毛竹胸径, 即毛竹胸径分布规律不符合正态分布函数。威布尔分布函数 2 个参数的估计值分别为 $\hat{a} = 5.387$, $\hat{b} = 9.699$ 。 $P = 0.518 > 0.05$, 表明毛竹胸径服从威布尔分布函数。

对毛竹密度和平均胸径自疏法则关系拟合结果见表 1、图 3。根据对毛竹的平均生物量与密度的关系公式拟合得到 $\hat{\gamma} = 2.13133$, $\hat{\beta} = -0.10751$ [式(5)]。 $P = 0.00261 < 0.05$,

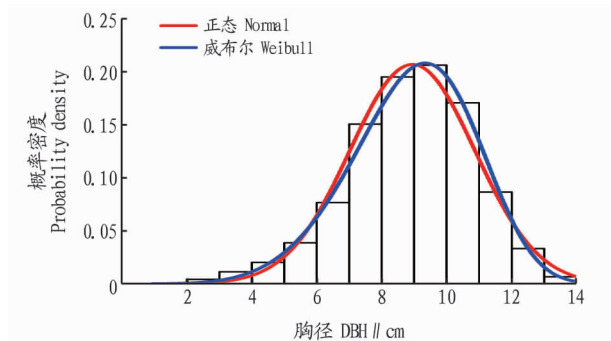


图 2 2 种概率密度函数的比较

Fig. 2 Comparison between two probability density function

表明毛竹平均胸径与空间密度的自疏法则关系成立。随着密度的不断增大, 毛竹的平均胸径随之变小, 总体生物量降低, 竹林生产力下降。由表 2 可知, 毛竹林密度为 0.327 6 株/m² (3 276 株/hm²), 毛竹胸径是 9.5 cm, 此时竹林生产力最高。毛竹胸径 9.0 ~ 9.5 cm, 密度为 0.327 6 ~ 0.541 8 株/m² (3 276 ~ 5 418 株/hm²) 时, 南京紫金山毛竹林的密度设置较为合理。

表 1 线性回归的结果

Table 1 Fitted results of the linear regression

指标 Index	估计值 Estimate	标准差 Standard deviation	t	P $Pr(> t)$	R^2
截距 Intercept	2.131 33	0.021 66	98.381	<2e-16	0.28
斜率 Slope	-0.107 51	0.032 54	-3.304	0.002 61	

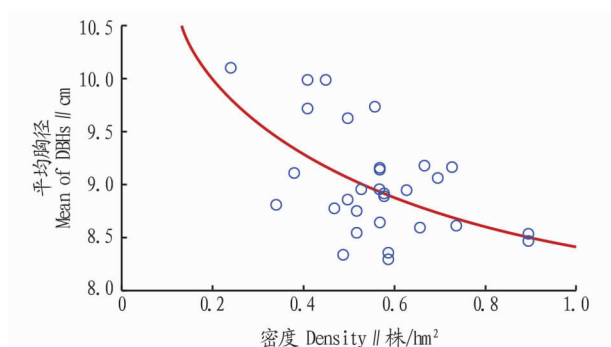


图 3 密度与平均胸径之间的关系

Fig. 3 The relationship between density and the mean of DBHs

表 2 根据密度预测毛竹的平均胸径

Table 2 Predicted values for mean DBH according to the density

序号 No.	密度 Density // 株/m ²	平均胸径 Mean of DBH // cm
1	1.620 3	8.0
2	0.922 0	8.5
3	0.541 8	9.0
4	0.327 6	9.5
5	0.203 3	10.0

3 讨论与结论

从 20 世纪 90 年代起, 我国进行了大量关于毛竹合理密度和密度效应模型的研究。影响毛竹密度的因素多样, 不同立地条件不同经营目的, 毛竹林合理密度也有所不同。陈存及^[18]研究得出, 在一般经营管理条件下, 闽北地区毛竹立竹

密度以 2 700 ~ 3 000 株/hm² 为宜;潘金灿^[19] 在 2000 年通过研究认为,在闽南毛竹分布区的毛竹林的合理经营密度为 1 200 ~ 1 650 株/hm²;赖玉玲^[20] 于 2016 年对不同密度毛竹林分各指标进行综合评价,得出密度(2 500 ± 100)株/hm² 为湖北省毛竹材用林合理密度;余林^[4] 通过试验得出,2 400 株/hm² 为皖南地区毛竹林最优的经营密度。南京与其他省份毛竹合理密度不相同,南京紫金山属北亚热带和中亚热带过渡季风气候区,气温低于福建、浙江等南方地区是造成毛竹生长差异的重要因素。种植经营目的不同也是毛竹林合理密度不同的主要原因。南京紫金山毛竹林属于景观竹林,主要用作观赏,密度不宜过低。-3/2 自疏法则则是 Yoda 等^[9] 在 1963 年提出,用来描述植物种群平均重量与密度的关系。-3/2 自疏法则揭示的是植物作为构件有机体在可塑性生长过程中,外形几何结构保持相对稳定性的生长特点^[21]。也有学者认为,-3/2 自疏法则要求在植物种群在郁闭的条件下达种群最大密度,部分植物种群并不适用。Enquist 等^[22] 在 1998 年提出了 -4/3 自疏法则,广泛地适用于动植物种群。Liu 等^[23] 在 2016 年使用地径代替生物量来研究 50 个不同的竹种是否服从自疏法则,在他的研究中,使用地径而不是胸径代替生物量,原因是一些地被竹不能达到 1.3 m 的株高,无法进行比较。在该研究使用单一竹种毛竹进行调查,且毛竹竹秆生长快,生长量大,因此使用胸径代替生物量。Shi 等^[10] 在 2015 年根据 4 种箬竹空间密度与每株竹子的总叶片面积的平均值之间的关系进行自疏法则研究。根据以上对竹子自疏法则的探究,生物量的指标根据不同植物类型的特征而变化。自疏法则反映了植物平均生物量与空间密度的关系,而后者又源于植物空间分布模式与土壤养分空间分布异质性之间的关联关系,自疏法则本身体现了植物种内之间激烈的竞争关系,而这种竞争又受自疏法则反作用,竞争能力的差异进一步制约于植物空间的分布模式,从而构成了一个制约影响的循环流^[24]。

参考文献

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [2] 蒋英英,季艳萍,刘刚. 毛竹林可持续经营方式探讨[J]. 世界竹藤通讯,2009,7(6):18-20.

(上接第 93 页)

4.4 多斑块——绿色公园斑块 “绿色斑块”指均衡分布在县城中的各类公园绿地,即规划改扩建和新建的 57 个城市公园及街旁绿地,包括 2 个综合公园、6 个专类公园、14 个社区公园、35 个街旁绿地。公园绿地建设中应注重利用植物的配置形成县城的植物景观特色,调整县城内部小气候,同时注重公园的休闲游憩和避灾功能。公园服务半径覆盖整个县城,最终形成完善的公园绿地系统。

5 结语

通过实地调研,结合城市规划理论、系统论、景观生态学理论、可持续发展理论等相关理论知识,展开了对广南县城绿地系统的规划研究,重点提出了“两轴、六廊、四楔、多斑

- [3] 董丽娜,徐海兵,居峰,等. 南京紫金山国家森林公园植物多样性现状及保护对策[J]. 江苏林业科技,2011,38(1):30-35.
- [4] 余林. 皖南毛竹林密度效应研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2011.
- [5] 胡超宗,潘孝政. 毛竹笋用林立竹密度的研究[J]. 竹子研究汇刊,1983(2):53-61.
- [6] 周芳纯. 毛竹林丰产原因分析[J]. 竹类研究,1982,1(2):14-18.
- [7] 童书振,盛炜彤,张建国. 杉木林分密度效应研究[J]. 林业科学研究,2002,15(1):66-75.
- [8] ZHANG J W, OLIVER W W, RITCHIE M W. Effect of stand densities on stand dynamics in white fir (*Abies concolor*) forests in northeast California, USA[J]. Forest ecology and management,2007,244(1/2/3):50-59.
- [9] YODA K, KIRA T, OGAWA K H, et al. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions[J]. Journal of biology, 1963,14:107-129.
- [10] SHI P J, XU Q, SANDHU H S, et al. Comparison of dwarf bamboos (*Indocalamus* sp.) leaf parameters to determine relationship between spatial density of plants and total leaf area per plant[J]. Ecology and evolution, 2015,5(20):4578-4589.
- [11] 朱军,许颀巍,丁雨龙,等. 紫金山毛竹风景林生长现状及经营建议[J]. 江苏林业科技,2015,42(6):32-34.
- [12] 周芳纯. 竹林培育学[M]. 北京:中国林业出版社,1998.
- [13] CHENG X F, SHI P J, HUI C, et al. An optimal proportion of mixing broad-leaved forest for enhancing the effective productivity of moso bamboo[J]. Ecology and evolution,2015,5(8):1576-1584.
- [14] SHI P J, MEN X Y, SANDHU H S, et al. The “general” ontogenetic growth model is inapplicable to crop growth[J]. Ecological modelling, 2013,266:1-9.
- [15] SANDHU H S, SHI P, YANG Q. Intraspecifics patial niche differentiation: Evidence from *Phyllostachys edulis*[J]. Acta ecological sinica,2013,33(5):287-292.
- [16] 何东进,洪伟,吴承帆. 毛竹林林分平均胸径模拟预测模型的研究[J]. 林业科学,2000,36(S1):148-153.
- [17] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing[M]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing,2015.
- [18] 陈存及. 毛竹林分密度效应的初步研究[J]. 福建林学院学报,1992,12(1):98-104.
- [19] 潘金灿. 闽南毛竹林合理经营密度的研究[J]. 经济林研究,2000,18(2):20-22.
- [20] 赖玉玲. 崇阳县毛竹立地类型、生长特性及密度效应研究[D]. 武汉:华中农业大学,2016.
- [21] 吴冬秀,张彤,白永飞,等. -3/2 方自疏法则的机理与普适性[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1081-1084.
- [22] ENQUIST B J, BROWN J H, WEST G B. Allometric scaling of plant energetics and population density[J]. Nature,1998,395:163-165.
- [23] LIU G H, SHI P J, XU Q, et al. Does the size-density relationship developed for bamboo species conform to the self-thinning rule? [J]. Forest ecology and management,2016,361:339-345.
- [24] SHI P J, SANDHU H S, REDDY G V P. Dispersal distance determines the exponent of the spatial Taylor's power law [J]. Ecological modelling, 2016,335:48-53.

块”的中观规划区绿地系统布局模式,从而构建城乡一体化的永续生态绿地系统,把广南县建设成为具有稳定绿色生态空间的山水园林县城。

参考文献

- [1] 段晓梅. 城乡绿地系统规划[M]. 北京:中国农业大学出版社,2017:2.
- [2] 杨若琪. 富源县绿地系统规划研究[D]. 昆明:西南林业大学,2012:1-10.
- [3] 王健. 小城镇绿地规划与可持续发展[J]. 当代建设,2002(5):38-39.
- [4] 吴良镛. 中国城市发展的科学问题[J]. 城市发展研究,2004(1):9.
- [5] 刘纯青. 市域绿地系统规划研究[D]. 南京:南京林业大学,2008:32.
- [6] 刘滨谊,贺伟,刘頌. 基于绿地与城市空间耦合理论的城市绿地空间评价与规划研究[J]. 中国园林,2012,28(5):42-46.
- [7] 刘滨谊. 城乡绿道的演进及其在城镇绿化中的关键作用[J]. 风景园林,2012(3):62-65.
- [8] 刘滨谊,卫丽亚. 基于生态能级的县域绿地生态网络构建初探[J]. 风景园林,2015(5):44-52.