

广西马尾松人工林林下木本植物径级结构特征^{*}

王永琪^{1,2}, 秦佳双^{1,2}, 马姜明^{1,2,3**}, 零天旺⁴, 欧军⁵, 蓝创造⁶, 颜培栋³

(1. 广西师范大学可持续发展创新研究院, 广西桂林 541006; 2. 广西师范大学生命科学院, 广西桂林 541006; 3. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西南宁 530002; 4. 横县镇龙林场, 广西南宁 530327; 5. 广西壮族自治区国有派阳山林场, 广西崇左 532200; 6. 环江毛南族自治县华山林场, 广西河池 547105)

摘要: 为了解广西马尾松 *Pinus massoniana* 人工林林下木本植物的径级结构特征, 采用样地调查法对马尾松人工林林下木本植物进行每木调查, 分析不同林龄、不同造林密度和不同气候条件的林下木本植物径级结构。结果表明: (1) 不同林龄马尾松人工林林下木本植物径级结构皆有不同, 随着近自然恢复的进行, 阔叶树密度、径级和木本植物个体之间分化程度呈先减小后增大的趋势, 过熟林林下木本植物个体生长分化程度最高; (2) 两种造林密度中, 高密度林林下木本植物株数更多, 胸径分化程度更大, 生境多样性更高; (3) 在不同气候条件下, 随着纬度的降低, 马尾松人工林中龄林和过熟林林下木本植物的平均胸径增大, 且生长分化程度变低。初步研究发现, 马尾松人工林随着近自然恢复的进行具有演替为地带性顶极群落的趋势。相对较大的造林密度有利于马尾松人工纯林林下木本植物生长, 不同气候条件对马尾松人工林林下木本植物的径级结构有着明显影响, 水热条件相对更丰富的北热带气候林下木本植物生长更好且个体分化程度更低。

关键词: 马尾松人工林 林下木本植物 径级结构 林龄 造林密度 气候条件

中图分类号: S718.5 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)06-0630-08

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20210119.005

0 引言

木本植物作为森林群落的重要组成部分, 在促进森林生态系统的物质循环、能量流动和信息交流, 维持生物多样性, 构造林下小生境和揭示森林演替信息等方面有着重要的作用^[1-3]。径级结构是指森林中乔木林个体按径级大小分布的株数情况, 反映了林分的胸径、干形、材积等基本状况^[4], 体现了群落中相互作

用的各个物种在协同进化中形成的群落结构, 可以很好地反映群落更新状态和物种-环境间的相互关系^[5,6]。目前, 很多学者采用胸径分割的方法, 分析不同人工林、不同天然林、不同生境条件、不同情景下的植物群落径级结构^[7-12], 揭示不同尺度下植物群落的生态学特征。探讨林下木本植物径级结构对了解林分群落发育动态、演替进程等具有重要意义。

广西横跨中亚热带、南亚热带和北热带 3 个气候

^{*} 广西创新驱动发展专项(桂科 AA17204087-7), 广西优良用材林资源培育重点实验室开放课题(2019-B-04-01), 桂林市科学研究与技术开发计划项目(20190205, 20180107-3)和广西研究生教育创新计划项目(XYCSZ2019081)资助。

【作者简介】

王永琪(1993—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事生态规划与评价、恢复生态学研究。

【**通信作者】

马姜明(1976—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事退化生态系统的恢复与重建研究, E-mail: mjming03@163.com。

【引用本文】

王永琪, 秦佳双, 马姜明, 等. 广西马尾松人工林林下木本植物径级结构特征[J]. 广西科学, 2020, 27(6): 630-637.

WANG Y Q, QIN J S, MA J M, et al. Diameter Structure Characteristics of Understory Woody Species in *Pinus massoniana* Plantations in Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(6): 630-637.

带, 多样的气候条件对于植物的生长有着不同的影响^[13]。马尾松 *Pinus massoniana* 在广西被广泛种植, 在我国森林资源构成中占有较大比例, 对维持生态系统平衡有着重要作用^[14,15], 经济和生态双重价值使得马尾松人工林的可持续发展研究一直是研究热点^[16,17]。马尾松作为亚热带常绿阔叶林次生演替前期阶段群落中常见的优势种^[18], 对其林下木本植物进行研究十分有必要。本研究分别对不同林龄、不同造林密度和不同气候条件的广西马尾松人工林林下木本植物径级结构特征进行研究, 拟为马尾松人工林近自然多目标可持续经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究样地为广西河池环江县的华山林场、南宁横县北部的镇龙林场、崇左宁明县的派阳山林场。华山林场地 理 坐 标 为 $108^{\circ}06' - 108^{\circ}38' E$, $25^{\circ}05' - 25^{\circ}31' N$, 属中亚热带气候, 年均气温 $19.8^{\circ}C$, 年均降雨量 $1402.1 mm$; 镇龙林场地 理 坐 标 为 $109^{\circ}08' - 109^{\circ}19' E$, $23^{\circ}02' - 23^{\circ}08' N$, 属南亚热带季风气候,

表 1 广西马尾松人工林样地基本概况

Table 1 Basic situation of *P. massoniana* plantations plot in Guangxi

样地 Sample plot	造林年份 Planting year	造林密度 Planting density (trees · hm ⁻²)	当前林分密度 Current stand density (trees · hm ⁻²)	气候条件 Climatic conditions	坡向 Slope aspect	坡位 Slope position	平均树高 Average height (m)	海拔 Altitude (m)
华山林场中龄林 Middle-aged forest of Huashan Forest Farm	2000	2 500	925	中亚热带 Central subtropics	SE	中 Middle	13.0	315
镇龙林场中龄林 Middle-aged forest of Zhenlong Forest Farm	1999	2 500	1 367	南亚热带 South subtropics	SE	中上 Mid-uphill	10.9	378
镇龙林场成熟林 Mature forest of Zhenlong Forest Farm	1986	2 500	392	南亚热带 South subtropics	N	中上 Mid-uphill	22.3	262
镇龙林场过熟林 Overripe forest of Zhenlong Forest Farm	1960	2 500	242	南亚热带 South subtropics	SE	上 Uphill	25.1	258
派阳山林场过熟林 Overripe forest of Paiyangshan Forest Farm	1958	2 500	258	北热带 North tropics	NE	中上 Mid-uphill	36.6	425
高密度林 High density forest	1997	6 000	1 156	南亚热带 South subtropics	SW	上 Uphill	18.6	435
低密度林 Low density forest	1997	2 500	820	南亚热带 South subtropics	SW	上 Uphill	19.1	435

1.3 群落结构分析

依据孟祥楠等^[21]和郝建锋等^[22]对乔木树种胸径(DBH)的划分方法, 划分林下木本植物立木个体的径级。每 2.00 cm 为一个径级, 每个径级的范围是前闭后开的数值区间, 分别统计不同龄林、不同造林

年均气温为 $21.5^{\circ}C$, 年均降雨量为 $1477.8 mm$; 派阳山林场地 理 坐 标 $106^{\circ}30' - 107^{\circ}15' E$, $21^{\circ}15' - 22^{\circ}30' N$, 林场地处北回归线以南, 属北热带季风气候, 年均气温 $21.8^{\circ}C$, 年均降雨量 $1250 - 1700 mm$ 。以上林场详细信息参见秦佳双^[19]的研究。

1.2 样地设置与调查

于 2018 年对镇龙林场 1999 年、1986 年和 1960 年种植的 3 种不同龄林马尾松人工林进行林下木本植物径级结构研究, 以镇龙林场的高密度林(株行距 $1.0 m \times 1.6 m$)和低密度林(株行距 $2.0 m \times 2.0 m$)两种密度林进行不同造林密度林下木本植物径级结构研究; 以华山林场(中龄林)、镇龙林场(中龄林、成熟林和过熟林)和派阳山林场(过熟林)4 种人工林进行不同气候条件中龄林、成熟林和过熟林林下乔木层木本植物径级结构研究。共计 7 种马尾松人工林样地类型(表 1), 每种样地各设置 3 个 $20 m \times 20 m$ 的样方, 均为广西林业科学研究院已经建立的长期固定监测样地^[20], 对样方内林下木本植物立木进行每木调查, 测量活立木的胸径。

密度和不同气候条件 3 个方面各个样地各径级的林木个体数, 并绘制径级结构图。

乔木物种重要值(IV_{tree}) = (相对多度 + 相对显著度 + 相对频度) / $3 \times 100\%$, 重要值计算公式参考马姜明等^[23]和李林等^[24]的研究。

2 结果与分析

2.1 不同林龄林下木本植物径级结构特征

由表 2 和图 1 可知,不同林龄林下木本植物呈现出不同的径级结构。中龄林平均胸径为(12.97 ± 5.64) cm,胸径变异系数为 0.43,径级结构呈三峰型,在 6—8 cm 出现第一峰值(13 株),在 12—14 cm

出现第二峰值(8 株),在 18—20 cm 出现第三峰值(11 株)。各径级植株数量分布不均匀,波动较大。林下木本植物重要值排前五的树种中,山乌柏 *Sapium discolor* 在 6—26 cm 的 10 个径级都均分布,且在 16—26 cm 的 5 个径级仅山乌柏有分布;物种分布最多的是 6—8 cm 径级。

表 2 不同林龄林下木本植物胸径测定

Table 2 Measure of DBH of understory woody species at different forest ages

样地 Sample plot	胸径区间 DBH range (cm)	中位值 Median value (cm)	均值 Mean value (cm)	标准差 Standard deviation (cm)	变异系数 Coefficient of variation
镇龙林场中龄林 Middle-aged forest of Zhenlong Forest Farm	3.80—25.50	13.00	12.97	5.64	0.43
镇龙林场成熟林 Mature forest of Zhenlong Forest Farm	3.00—20.00	8.15	9.36	3.89	0.42
镇龙林场过熟林 Overripe forest of Zhenlong Forest Farm	4.00—37.30	11.20	13.07	7.06	0.54

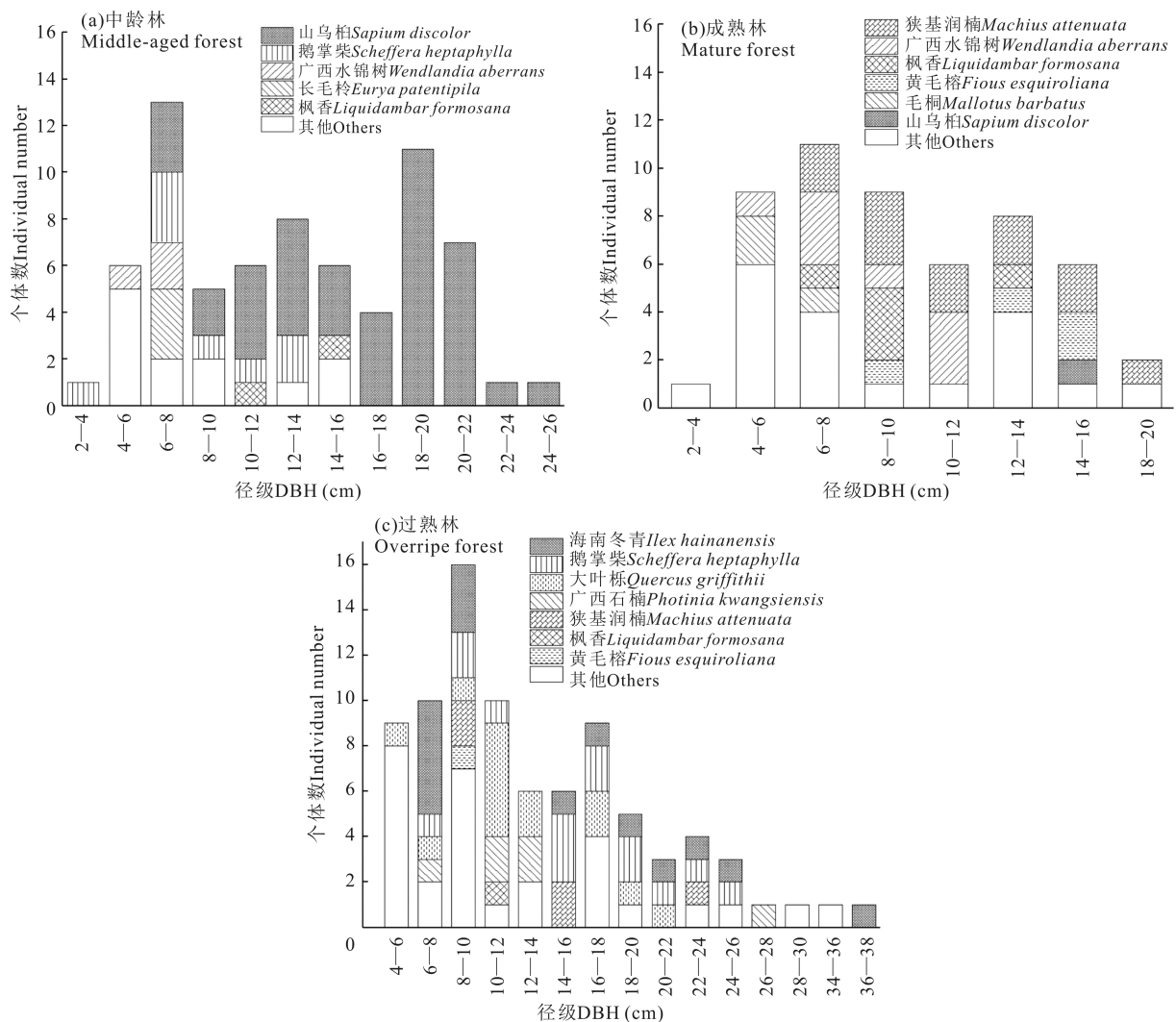


图 1 不同林龄林下木本植物径级结构

Fig. 1 Diameter structure of understory woody species at different forest ages

成熟林平均胸径(9.36 ± 3.89) cm, 胸径变异系数为 0.42, 径级结构呈双峰型, 在 6—8 cm 出现第一峰值(11 株), 在 12—14 cm 出现第二峰值(8 株)。径级株数分布不均匀, 波动较大。林下木本植物重要值排前五的树种中, 狭基润楠 *Machilus attenuata* 在 6—20 cm 的 6 个径级都有分布; 中龄林林下木本植物重要值前五的树种中, 山乌柏主要分布在 14—16 cm 径级, 枫香主要分布在 6—10 和 12—14 cm 径级。

过熟林平均胸径为(13.07 ± 7.06) cm, 胸径变异系数为 0.54, 径级结构呈左偏峰型, 在 8—10 cm 径级出现峰值(16 株), 并向两侧呈递减趋势。物种在各径级分布不均匀, 林下木本植物重要值排前五的树种中, 海南冬青 *Ilex hainanensis* 径级分布最广, 在 6—10, 14—26 和 36—38 cm 径级都有分布; 中龄林和成熟林林下木本植物各自重要值前五的树种中, 狭基润楠(分布于 8—10, 14—16 和 22—24 cm 径级)、枫香 *Liquidambar formosana* (分布于 10—12 cm 径级)、黄毛榕 *Ficus esquiroliana* (分布于 8—10 cm 径级) 和鹅掌柴(分布于 6—12 和 14—26 cm 共 9 个径级) 仍存在于过熟林中。胸径变异系数过熟林 >

中龄林 > 成熟林, 表明过熟林林下木本植物林木生长胸径分化程度最大。

2.2 不同造林密度林下木本植物径级结构特征

由表 3 和图 2 可知, 高密度林林下木本植物平均胸径为(9.93 ± 5.94) cm, 胸径变异系数为 0.60, 径级结构呈双峰型, 在 4—6 cm 出现第一峰值(6 株), 在 8—10 cm 出现第二峰值(7 株)。各径级株数分布较为不均匀, 林下木本植物重要值排前五的树种中, 狭基润楠在 4—6 和 8—16 cm 的 5 个径级都有分布, 野漆 *Toxicodendron succedaneum* 仅分布于 4—6 cm 径级, 乌柏 *Sapium sebiferum* 仅分布于 6—8 cm 径级, 胸径最大的树种为山乌柏。低密度林林下木本植物平均胸径(7.56 ± 2.37) cm, 胸径变异系数为 0.31, 径级结构呈双峰型, 4—8 cm 的 2 个径级株数最多(9 株), 向右侧逐渐降低; 林下木本植物重要值排前五的树种中, 狭基润楠、鹅掌柴 *Schefflera heptaphylla* 在 4 个径级都有分布。胸径变异系数高密度林 > 低密度林, 表明高密度林林下木本植物胸径分化程度较高。

表 3 不同造林密度林下木本植物胸径测定

Table 3 Measure of DBH of understory woody species at different planting densities

林分类型 Forest type	胸径区间 DBH range (cm)	中位值 Median value (cm)	均值 Mean value (cm)	标准差 Standard deviation (cm)	变异系数 Coefficient of variation
高密度林 High density forest	2.50—30.40	8.85	9.93	5.94	0.60
低密度林 Low density forest	4.20—14.00	8.85	7.56	2.37	0.31

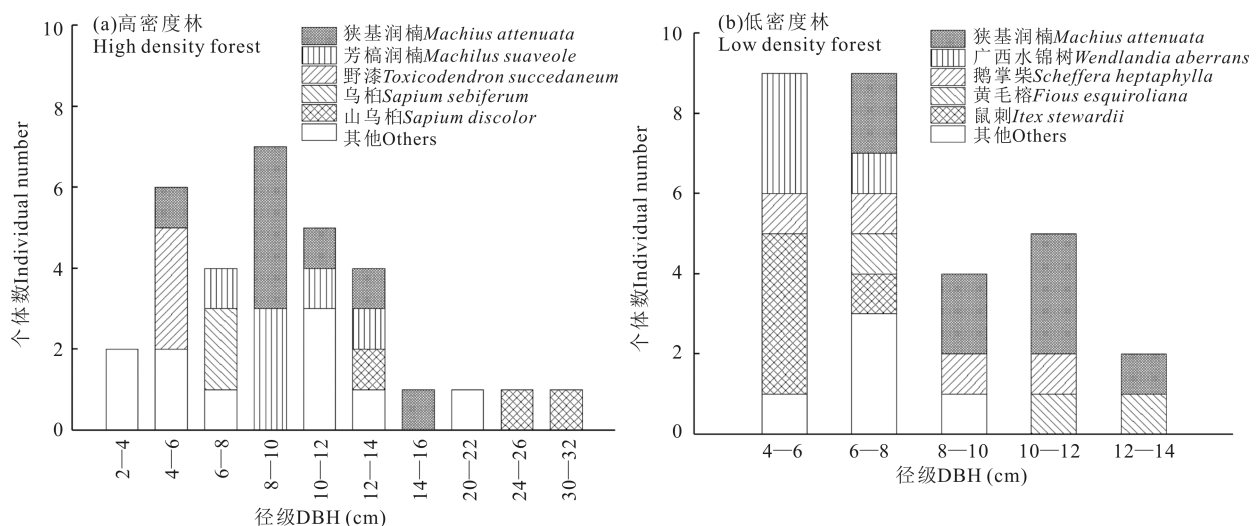


图 2 不同造林密度林下木本植物径级结构

Fig. 2 Diameter structure of understory woody species at different planting densities

2.3 不同气候条件林下木本植物径级结构特征

由表 4 和图 3 可知, 中龄林林下木本植物在不同气候条件下呈现出不同的径级结构。中亚热带气候条件下平均胸径为 (7.87 ± 5.37) cm, 胸径变异系数为 0.68。径级结构不规则分布, 4—6 cm 径级株数最多(5 株); 林下木本植物重要值排前五的树种均仅在单一径级分布, 芳槁润楠 *Machilus suaveolens* 胸径最大。南亚热带气候条件下平均胸径为 $(12.97 \pm$

表 4 不同气候条件林下木本植物胸径测定

Table 4 Measures of DBH of understory woody species at different climatic conditions

林分类型 Forest type	胸径区间 DBH range (cm)	中位值 Median value (cm)	均值 Mean value (cm)	标准差 Standard deviation (cm)	变异系数 Coefficient of variation
中亚热带中龄林 Middle-aged forest of central subtropics	2.00—16.70	8.00	7.87	5.37	0.68
南亚热带中龄林 Middle-aged forest of south subtropics	3.80—25.50	13.00	12.97	5.64	0.43
南亚热带过熟林 Overripe forest of south subtropics	4.00—37.30	11.20	13.07	7.06	0.54
北热带过熟林 Overripe forest of north tropics	5.50—35.70	14.15	15.10	5.58	0.40

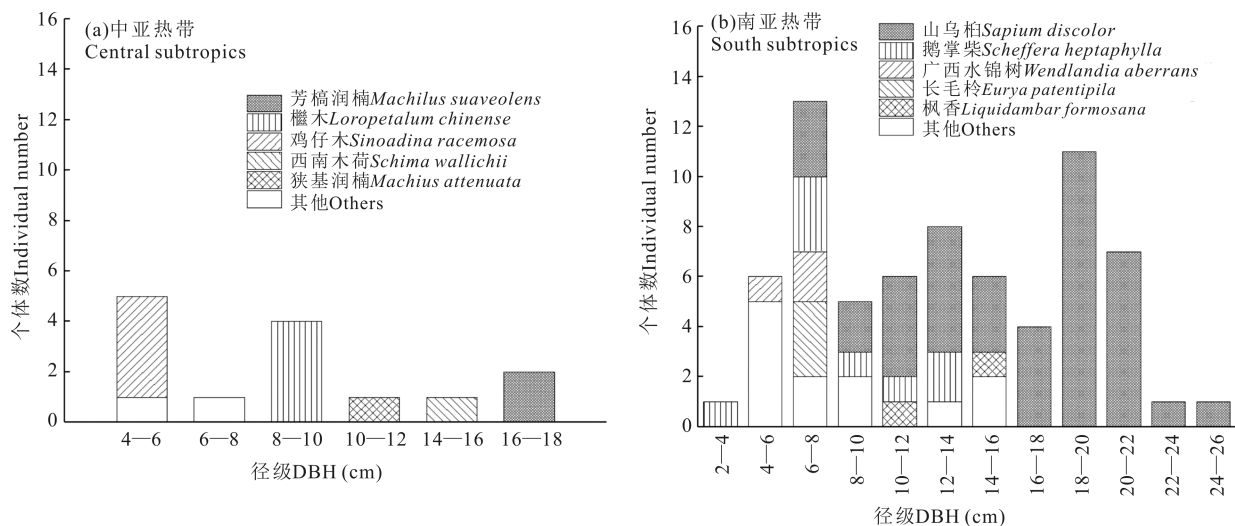


图 3 不同气候条件下中龄林林下木本植物径级结构

Fig. 3 Diameter structure of understory woody species in middle-aged forests at different climatic conditions

由表 4 和图 4 可知, 过熟林林下木本植物在不同气候条件下呈现出不同的径级结构。南亚热带气候条件下平均胸径为 (13.07 ± 7.06) cm, 胸径变异系数为 0.54, 径级结构呈三峰型, 在 8—10 cm 出现第一峰值(16 株), 在 16—18 cm 出现第二峰值(9 株), 在 22—24 cm 出现第三峰值(4 株); 各径级株数分布不均匀, 主要集中于 20 cm 以下; 林下木本植物重要值排前五的树种中, 海南冬青径级分布范围最广。北热带气候条件下平均胸径为 (15.10 ± 5.58) cm, 胸

径变异系数为 0.43, 径级结构呈三峰型分布, 在 6—8 cm 出现第一峰值(13 株), 在 12—14 cm 出现第二峰值(8 株), 在 18—20 cm 出现第三峰值(11 株); 林下木本植物重要值排前五的树种中, 山乌柏胸径分布范围最广, 为 6—26 cm 的 10 个径级。胸径变异系数中亚热带 > 南亚热带, 表明南亚热带中龄林林下木本植物个体之间胸径分化程度较低。

径变异系数为 0.40, 径级结构呈双峰型, 在 10—12 cm 出现第一峰值(9 株), 在 14—16 cm 出现第二峰值(10 株), 并向两侧呈递减趋势; 林下木本植物重要值排前五的树种中, 毛八角枫 *Alangium kurzii* 和鹅掌柴径级分布较广, 皆为 5 个径级, 且鹅掌柴是胸径最大的阔叶树种。胸径变异系数南亚热带 > 北热带, 表明北热带过熟林林下木本植物个体之间径级结构分化程度较低。

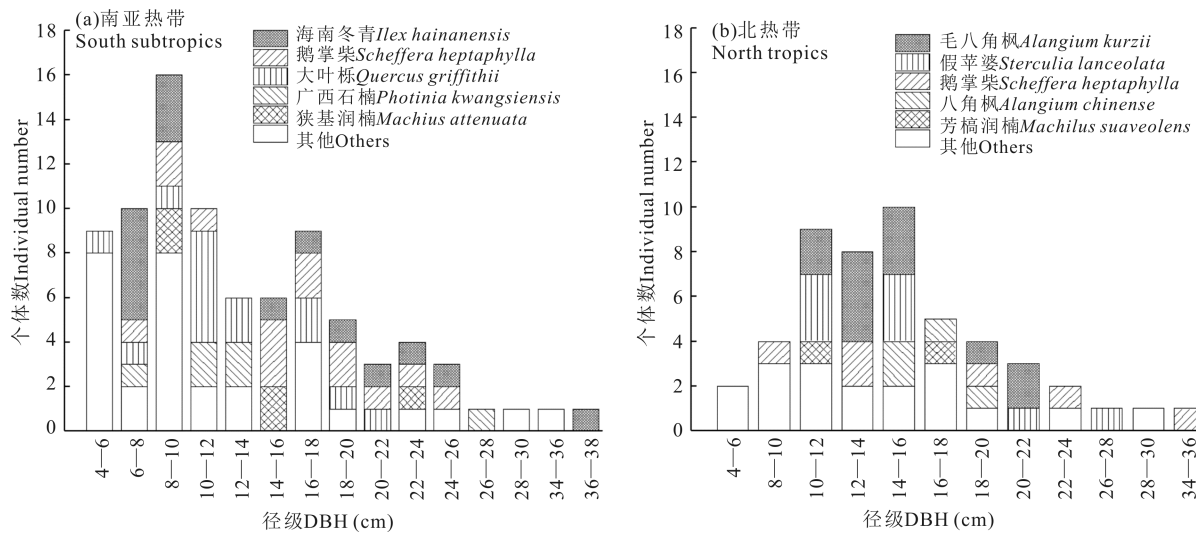


图4 不同气候条件下过熟林林下木本植物径级结构

Fig. 4 Diameter class structure of understory woody species in overripe forest at different climatic conditions

3 讨论

林下木本植物是马尾松人工林演替发展的结果,本研究采用划分径级结构的方法从广西不同龄林、不同造林密度和不同气候条件3个方面分析马尾松人工林林下木本植物径级结构特征。

不同林龄林下木本植物林木数量和径级数先减小后增大,过熟林林下木本植物类型、立木数量和径级数最多,林下木本植物个体之间生长分化程度最大,可能是因为林下生境形成过程中不断有新的适物种进入^[25]。本研究中,马尾松人工林林下木本植物演替过程中,重要值较大的有山乌柏、鹅掌柴、狭基润楠、广西水锦树 *Wendlandia aberrans*、枫香、海南冬青、大叶栎 *Quercus griffithii* 等7种阔叶树种,马尾松人工林良好演替过程中的物种数量增减,是阳生先锋物种衰退与中性或偏阴物种进入并发展的结果^[26]。阳生物种如山乌柏在中龄林林下木本植物中数量最多,且在16—26 cm径级仅有山乌柏分布,成熟林中山乌柏减少,在过熟林不存在山乌柏,这是马尾松人工林向常绿阔叶林演替的结果^[27],林下生境不再适宜山乌柏等阳生物种的生存。中性或耐阴树种如鹅掌柴、海南冬青和大叶栎在过熟林林下木本植物中重要值最高,说明马尾松人工林演替进程在不断地进行,这与李海防等^[26]、王献溥等^[27]的研究结果类似。过熟林林下木本植物耐阴树种占据优势地位,且在各个径级都有分布,林下群落结构组成趋向优化^[27,28],说明马尾松人工林在近自然恢复的过程中具有演替为地带性顶极群落的趋势。

不同造林密度下,马尾松人工林林下木本植物呈现不同的径级结构,低密度林林下乔木层在4—14 cm径级存在数量更多的木本植物。高密度林林下乔木层木本植物中,占优势地位的狭基润楠和芳槁润楠,为马尾松人工林向地带性常绿阔叶林演替进程后期的代表性物种^[27]。高密度林林下乔木层木本植物胸径变异系数相对更大,可能是因为林龄相同时林分乔木枯损株数与自然稀疏强度随着造林密度的增大而增大^[29]。高密度林造林后的前期阶段,山乌柏较早进入,郁闭度相对较高,林下生境复杂,适合更多的物种进入扎根生长。相同或不同物种之间的生存竞争^[30,31],林下树种在夹缝中利用营养生长,也会导致林木个体之间生长差异较大。高密度林林下木本植物立木数量($269 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$)大于低密度林林下木本植物立木数量($244 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$),结合胸径因子分析,相对较高造林密度有利于林下木本植物生长。

不同气候条件下,中亚热带中龄林林下木本植物的生长分化程度比南亚热带中龄林更大,但是南亚热带中龄林林下木本植物林木数量更多,林木胸径更粗。秦佳双等^[32,33]对中亚热带和南亚热带马尾松中龄林的研究表明:中亚热带马尾松中龄林林下乔木层Shannon-Wiener指数更大,地上生物量更高,由此可知,两种气候条件下,南亚热带气候条件对于中龄林林下木本植物的生长更好。本研究中南亚热带和北热带过熟林样地坡向存在差异,在一定程度上反映南亚热带过熟林林下木本植物林木数量比北热带过熟林更多,生长差异更明显,但是相对而言,北热带过熟林林木胸径更粗壮。结合不同气候条件下中龄林和

过熟林林下木本植物胸径因子可以看出,林下木本植物在水热条件相对更丰富的条件下生长更好,个体之间分化程度更低。

致谢:

感谢华山林场、镇龙林场和派阳山林场工作人员在野外采样中给予的帮助,感谢广西师范大学生命科学院学生秦佳双、宋尊荣、管瑞、潘小梅等在数据采集过程中的协助。

参考文献

- [1] 刘彤,胡丹,魏晓雪,等.红松人工林林下植物物种多样性分析[J].东北林业大学学报,2010,38(5):28-29,53.
- [2] 邓东周,蒋小林,武碧先,等.岷山中段高山峡谷区主要森林群落林下植物多样性研究[J].西南林业大学学报:自然科学版,2017,37(2):88-94.
- [3] 戴冬,彭楚才,黄鑫,等.鄂中地区马尾松人工林群落演替特征研究[J].林业科学研究,2019,32(6):48-55.
- [4] 孟宪宇.测树学[M].3版.北京:中国林业出版社,2006.
- [5] 刘艳会,刘金福,何中声,等.基于戴云山固定样地黄山松群落物种组成与结构研究[J].广西植物,2017,37(7):881-890.
- [6] 谢峰淋,周全,史航,等.秦岭落叶阔叶林25 ha森林动态监测样地物种组成与群落特征[J].生物多样性,2019,27(4):439-448.
- [7] 尤根彪,叶和军,焦洁洁,等.浙江丽水白云山红豆树人工林的径级结构和空间分布格局[J].广西植物,2017,37(6):799-805.
- [8] 董莉莉,赵济川,汪成成,等.抚育间伐后蒙古栎阔叶混交林径级结构及生长动态研究[J].西南林业大学学报:自然科学版,2019,39(6):98-104.
- [9] 黄梅,戴晓勇,杨成华,等.阔柄杜鹃典型植物群落的结构及其多样性特征分析[J].西部林业科学,2020,49(2):113-120,136.
- [10] 王志鸣,郭秋菊,艾训儒,等.恩施州不同海拔马尾松天然次生林林分结构特征研究[J].西南林业大学学报:自然科学版,2019,39(1):114-122.
- [11] 何海洋,龙凯旋,唐永彬.人为干扰对雅安莲花山马尾松人工林群落结构和物种多样性的影响[J].四川林业科技,2018,39(4):59-63.
- [12] 马双娇,王庆成,崔东海,等.抚育间伐对水曲柳天然林群落结构及植物多样性的影响[J].东北林业大学学报,2019,47(2):1-7.
- [13] 涂方旭,苏志,刘任业.广西气候带的划分[J].广西科学,1997,4(3):196-199.
- [14] 周政贤.中国马尾松[M].北京:中国林业出版社,2000.
- [15] 孟祥江,何邦亮,马正锐,等.我国马尾松林经营现状及近自然育林探索[J].世界林业研究,2018,31(3):63-67.
- [16] 邓伦秀,李茂.马尾松人工林研究现状及展望[J].安徽农业科学,2009,37(7):2968-2971.
- [17] 张胜三,伍力,杨全平,等.马尾松人工林近自然化改造不同阶段森林凋落物持水特性研究[J].湖北林业科技,2008(6):8-12.
- [18] 丁圣彦,宋永昌.常绿阔叶林演替过程中马尾松消退的原因[J].植物学报,1998,40(8):755-760.
- [19] 秦佳双.不同马尾松人工林群落特征及近自然恢复状态评价[D].桂林:广西师范大学,2019.
- [20] 范志伟,杨章旗.不同密度马尾松人工林水源涵养能力的比较[J].广西林业科学,2012,41(1):19-22.
- [21] 孟祥楠,赵雨森,郑磊,等.嫩江沙地不同年龄樟子松人工林种群结构与林下物种多样性动态[J].应用生态学报,2012,23(9):2332-2338.
- [22] 郝建锋,王德艺,唐永彬,等.人为干扰对江油地区马尾松人工林群落结构和物种多样性的影响[J].生态环境学报,2014,23(5):729-735.
- [23] 马姜明,占婷婷,莫祖英,等.漓江流域岩溶区櫟木群落不同恢复阶段主要共有种生态位变化[J].西北植物学报,2012,32(12):2530-2536.
- [24] 李林,魏识广,练璐愉,等.亚热带不同纬度植物群落物种多样性分布规律[J].生态学报,2020,40(4):1249-1257.
- [25] 杨枝林,刘君昂,周国英,等.南方马尾松人工林植被群落演替特征[J].林业资源管理,2012(1):42-47.
- [26] 李海防,黄勇,范志伟,等.马尾松人工林演替进程中生物多样性变化研究[J].西部林业科学,2012,41(1):83-87.
- [27] 王献溥,蒋高明.广西马尾松林分类、分布和演替的研究[J].植物研究,2002,22(2):151-155.
- [28] 方炜,彭少麟.鼎湖山马尾松群落演替过程物种变化之研究[J].热带亚热带植物学报,1995,3(4):30-37.
- [29] 湛红辉,丁贵杰.马尾松造林密度效应研究[J].林业科学,2004,40(1):92-98.
- [30] 邹春静,徐文铎.沙地云杉种内、种间竞争的研究[J].植物生态学报,1998,22(3):269-274.
- [31] 谢春平.南京仙林地区次生林马尾松种群结构分析[J].四川农业大学学报,2012,30(2):156-160.
- [32] 秦佳双,王永琪,马姜明,等.广西不同气候条件下马尾松人工林木本植物组成及多样性特征[J].广西科学,2020,27(2):154-164.
- [33] 秦佳双,李玉凤,马姜明,等.广西不同气候条件下马尾松人工林生物量模型构建及分配格局[J].广西科学,2020,27(2):165-174.

Diameter Structure Characteristics of Understory Woody Species in *Pinus massoniana* Plantations in Guangxi

WANG Yongqi^{1,2}, QIN Jiashuang^{1,2}, MA Jiangming^{1,2,3}, LING Tianwang⁴, OU Jun⁵, LAN Chuangzao⁶, YAN Peidong³

(1. Institute for Sustainable Development and Innovation, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning, Guangxi, 530002, China; 4. Zhenlong Forest Farm of Hengxian, Nanning, Guangxi, 530327, China; 5. State-owned Paiyangshan Forest Farm of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Chongzuo, Guangxi, 532200, China; 6. Huashan Forest Farm of Huanjiang Maonan Autonomous County, Hechi, Guangxi, 547105, China)

Abstract: In order to understand the diameter structure characteristics of understory woody species in *Pinus massoniana* plantations in Guangxi, the method of sample plot investigation was used to investigate the understory woody species in *P. massoniana* plantations for each tree to analyze the diameter structure of understory woody species at three aspects of different forest ages, different planting densities and different climatic conditions. The results showed that: (1) the diameter structure of understory woody species at different forest ages of *P. massoniana* plantations was different. With the progress of near-natural restoration, the density of broad-leaved trees, the number of diameter classes and degree of differentiation among understory woody species showed a trend of decreasing first and then increasing, and the individual growth diversity of understory woody species reached the highest level in overripe forests. (2) Among two planting densities of *P. massoniana* plantations, the number of understory woody species under high density forest was more, the degree of differentiation of the diameter DBH, was greater, and the diversity of habitat was higher. (3) Under different climatic conditions, the average DBH of understory woody plants increased and the degree of growth and differentiation decreased in the middle-aged and overripe forests of *P. massoniana* plantations as the latitude decreased. It was initially found that the *P. massoniana* plantations had a tendency to succeed to zonal climax communities as the near-natural restoration progress. *P. massoniana* plantations with relatively large planting density were beneficial to accelerate the growth of understory woody species. Different climatic conditions had obvious effects on the diameter structure of understory woody species of *P. massoniana* plantations. The northern tropical climate with more abundant hydrothermal conditions made the understory woody species grow better and the individual differentiation degree lower.

Key words: *Pinus massoniana* plantations, understory woody species, diameter structure, forest ages, planting densities, climatic conditions