

细叶云南松天然林和人工林的生材性质研究

秦丽红¹, 刘晓玲², 蓝柳凤¹, 符韵林², 杨丽梅²

(1. 广西壮族自治区国有雅长林场, 广西 百色 533000, 2. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530004)

摘 要:为研究细叶云南松天然林和人工林木材生材性质。采用体积法和质量法测定树皮率, 排水法测定木材体积, 并对测定得到的数据进行分析。结果表明, 天然林树皮体积百分率随着树高的增加而减小, 树皮质量百分率变异规律不明显; 人工林树皮体积百分率和质量百分率随着树高的增加均变化不大。天然林和人工林的树皮体积百分率的均值分别为 15.18% 和 14.73%, 树皮质量百分率均值分别为 9.25% 和 11.7%。天然林和人工林心材基本没有形成, 心材率平均值分别为 1.04% 和 0.18%。天然林和人工林南北向生材密度从髓心向外逐渐增加, 生材密度随着树高增加均呈现较为波动的趋势, 天然林和人工林生材密度均值分别为 $1.022 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.928 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。天然林南北向的基本密度从髓心向外均逐渐增加, 人工林南北向差异较大, 南向呈现逐渐减小, 而北向先增大后减小。天然林和人工林的基本密度随着树高增加基本无变化。天然林和人工林基本密度的均值分别为 $0.481 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.472 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。天然林生材含水率随着树高的增加先增大, 再减小的趋势, 人工林生材含水率则逐渐增大。天然林南北向的生材含水率从髓心向外逐渐减小; 而人工林南北向则逐渐增大。天然林和人工林生材含水率均值分别为 119.19% 和 107.12%。

关键词:细叶云南松; 天然林; 人工林; 生材性质

中图分类号: S727.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-7461(2015)03-0217-07

Green Wood Properties of *Pinus yunnanensis* var. *tenuifolia*

QIN Li-hong¹, LIU Xiao-ling², LAN Liu-feng¹, FU Yun-lin², YANG Li-mei²

(1. Yachang Forest Farm of Guangxi, Baise, Guangxi 533000, China;

2. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China)

Abstract: Properties of the green woods of *Pinus yunnanensis* var. *tenuifolia* both from natural forests and plantations were examined. The bark percentage was determined by the volume and the mass methods. The volume was determined by the drainage method. The data obtained were analyzed. The bark volume percentage of natural forests decreased with tree height, and no significant variation regularities were observed. For plantations, the bark volume percentage and bark mass percentage were stable with the increase of tree height. The averages of bark volume percentage for natural forests and plantations were 15.18% and 14.73%, respectively, while the averages of bark mass percentage were 9.25% and 11.7%, respectively. The heartwoods of natural forests and plantations were not formed basically, and the averages of heartwood percentages were only 1.04% and 0.18%, respectively. The changes of green density of south and north increased gradually from the pith to the sapwood, and the density was fluctuated with the increase of tree height. The averages of green density of natural forests and plantations were 1.022 and 0.928 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, respectively. The basic density of south and north of natural forests increased from pith to sapwood gradually. For plantations however, significant differences in basic density were observed: in south direction, it decreased from pith to the sapwood, while in north direction, it increased first, and

then decreased. The changes of basic density of natural forests and plantations were not significant, with the averages of $0.481\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and $0.472\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, respectively. The moisture content of green woods of natural forests increased first, and then decreased with the tree height. For plantations, it increased gradually with tree height. From pith to sapwood of south and north, the moisture content of natural forests decreased gradually, while it increased for plantations. Averages of moisture content for natural forests and plantations were 119.19% and 107.12%, respectively.

Key words: *Pinus yunnanensis* var. *tenuifolia*; natural forest; plantation; green wood property

细叶云南松(*Pinus yunnanensis* var. *tenuifolia*)是云南松的一个变种,广泛分布在南盘江下游两岸海拔 300~1 600 m 的丘陵山地,对气候和土壤的适应性都很强。产于贵州西南部、云南及广西百色西部等地,沿河谷形成纯林。细叶云南松为常绿乔木,针叶灰绿色,细柔下垂。为减少水分丢失,保证在干燥环境下生存,松针外层包裹角质和腊质外膜^[1],树干通直,出材率高,结构适中细腻,且耐瘠薄较好,在土壤肥力不高的林区能良好生长,并可达南方速生丰产林的要求,是一种重要的南方材脂两用树种^[2]。广西松科植物资源丰富,除马尾松外,细叶云南松也是广西松树人工林的主要研究对象。目前,学者对云南松的研究主要包括地理分布和环境的关系、分布区土壤的肥力特性、遗传多样性分析,细叶云南松群系、松针挥发油的化学成分、生长规律研究、干形研究、材性与生长性状相关性研究和表面疏水性研究^[1-9]。有关云南松人工林木材材性的研究也较多^[10-15],但对细叶云南松生材性质的研究报道尚少。为此,通过对细叶云南松天然林和人工林生材含水率、密度、心材率和树皮百分率的比较分析,掌握两者在生材性质方面的基本特征和差异,为提高细叶云南松人工林的生产培育及协调可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材采集

细叶云南松天然林和人工林试材均于 2013 年 5 月采集于广西百色市雅长林场(林场位于广西西北部老革命区百色市的西北面,106°08′—106°23′E、24°37′—25°00′N),据木材物理力学试材采集方法^[16],共采集样木 10 株,其中 28 年生人工林 6 株(1~6 号),72 年生天然林 4 株(7~10 号)。选定样木后,测量胸径,用指南针定出北向并用蜡笔或喷漆在树干上标出北向线,样木伐倒后测量并记录全树高与枝下高,分别在离样木基部 0、1.3 m 和 3.3 m 等处锯取厚度为 5 cm 的圆盘。圆盘锯制后,立即用保鲜膜包好待用(表 1)。

1.2 树皮率测定

树皮体积百分率是用树皮体积除以所在树干部位树皮与木质部体积之和,树皮质量百分率是用树皮重量除以所在树干部位树皮与木质部重量之和^[17]。

1.2.1 树皮体积百分率 树皮体积百分率是通过测量体积得出,先检量圆盘的带皮直径,计算得出带皮半径 $R_{\text{皮}}$,再检量圆盘的去皮直径,计算得出去皮半径 $R_{\text{木}}$ 。每个圆盘随机检量 5 组数据,对于形状规整的圆盘,在任意方向分别检量带皮直径、去皮直径,并求出其平均带皮半径 $R_{\text{皮}}$ 和去皮半径 $R_{\text{木}}$;对于不规整的圆盘,在上述检量方法的基础上,再增加检量一个长径和一个短径,最后求出其半径平均值。

$$\text{树皮体积百分率: } V_{\text{体}}/\% = (\pi R_{\text{皮}}^2 H - \pi R_{\text{木}}^2 H) / \pi R_{\text{皮}}^2 H \times 100 \quad (1)$$

1.2.2 树皮质量百分率 先称圆盘的带皮重量 $G_{\text{皮}}$,去皮后,再称圆盘的去皮重量 $G_{\text{木}}$ 。

$$\text{树皮质量百分率: } V_{\text{质}}/\% = (G_{\text{皮}} - G_{\text{木}}) / G_{\text{皮}} \times 100 \quad (2)$$

1.3 心材率的测定

心材率是心材面积所占圆盘面积的比重。用钢尺分别量出圆盘的带皮直径及圆盘心材部分直径,每个圆盘随机测定 4~6 次,检量方向与上述树皮率检量方向相同,最后计算出平均值。

1.4 密度测定

1.4.1 生材密度测定 树皮率测定完成后将试样制成约 10 mm×10 mm×10 mm 的试样,将试样分为南向和北向的髓心部分、中间部分、边材部分(即每个圆盘取 6 个试样)测定后计算出平均值再进行统计分析。试样称重得到生材质量 $W_{\text{生}}$,采用排水法测定出生材体积 $V_{\text{生}}$ 。

$$\text{生材密度: } \rho_{\text{生}} = W_{\text{生}} / V_{\text{生}} \quad (3)$$

1.4.2 基本密度测定 用排水法测定生材体积后,将试样置于(103±2)℃烘箱中干燥,恒重后称重得到 $W_{\text{干}}$,利用生材体积 $V_{\text{生}}$ 。

$$\text{基本密度: } \rho_{\text{基}} = W_{\text{干}} / V_{\text{生}} \quad (4)$$

1.5 生材含水率测定

测定 $W_{\text{生}}$ 及 $W_{\text{干}}$ 。

$$\text{生材含水率}/\% = (W_{\text{生}} - W_{\text{干}}) / W_{\text{干}} \times 100 \quad (5)$$

表 1 试材采集情况记录表
Table 1 Collection of testing samples

样本编号	胸高直径/cm			树高/m		试材					
	最大	最小	平均值	全高	枝下高	编号	截取 高度/m	长度/m	小头去皮直径/cm		
									最大	最小	平均值
1	18.4	17.8	18.1	11.9	5.0	1—1	1.3~3.3	2	15.4	15.0	15.20
						1—3	5.3~7.3	2	13.0	12.3	12.65
2	17.4	15.5	16.45	11.8	4.5	2—1	1.3~3.3	2	13.4	12.5	12.95
						2—3	5.3~7.3	2	9.1	8.4	8.75
3	32.4	28.2	30.3	18.4	11	3—1	1.3~3.3	2	25.2	22.8	24.00
						3—3	5.3~7.3	2	21.8	21.3	21.55
						3—5	9.3~11.3	2	17.6	16.8	17.20
						3—7	13.3~15.3	2	10.2	9.6	9.90
4	20.8	20.2	20.2	13.5	7.7	4—1	1.3~3.3	2	16.6	15.8	16.20
						4—3	5.3~7.3	2	13.3	13.1	13.20
						4—5	9.3~11.3	2	7.5	7.4	7.45
						5—1	1.3~3.3	2	21.4	20.8	21.10
5	28.0	25.2	26.6	15.9	5.0	5—3	5.3~7.3	2	16.5	15.3	15.90
						5—5	9.3~11.3	2	10.5	10.3	10.40
						6—1	1.3~3.3	2	23.0	21.6	22.30
						6—3	5.3~7.3	2	19.2	17.8	18.50
6	29.0	26.2	27.6	19.5	9.05	6—5	9.3~11.3	2	15.5	14.2	14.85
						6—7	13.3~15.3	2	9.6	8.5	9.05
						7—1	1.3~3.3	2	47.1	44.2	45.65
						7—3	5.3~7.3	2	42.4	38.6	40.50
7	60.0	52.8	56.4	26.3	9.3	7—5	9.3~11.3	2	39.8	35.3	37.55
						7—7	13.3~15.3	2	30.8	28.6	29.70
						7—9	17.3~19.3	2	20.8	20.7	20.75
						7—11	21.3~23.3	2	11.6	10.7	11.15
8	23.1	22.2	22.65	17.5	7.0	8—1	1.3~3.3	2	19.4	18.8	19.10
						8—3	5.3~7.3	2	15.8	15.2	15.50
						8—5	9.3~11.3	2	11.6	11.3	11.45
						8—7	13.3~15.3	2	4.2	4.1	4.15
9	34.2	30.5	32.35	17.3	4.33	9—1	1.3~3.3	2	26.0	25.8	25.90
						9—3	5.3~7.3	2	23.9	22.7	23.30
						9—5	9.3~11.3	2	15.9	14.8	15.35
						9—7	13.3~15.3	2	3.1	3.0	3.05
10	63.0	55.0	59.0	25.5	5.4	10—1	1.3~3.3	2	48.3	43.2	45.75
						10—3	5.3~7.3	2	43.1	40.3	41.70
						10—5	9.3~11.3	2	40.3	37.5	38.90
						10—7	13.3~15.3	2	34.0	33.0	33.50
						10—9	17.3~19.3	2	22.7	22.1	22.40
						10—11	21.3~23.3	2	15.3	14.7	15.00

2 结果与分析

2.1 树皮率变异

细叶云南松天然林树皮体积百分率随着树高的增加总体减小;人工林变化不大,呈现平稳的趋势。与天然林相比,人工林树皮体积百分率较为平稳,这是由于天然林生态环境比较复杂而人工林生长环境比较单一造成的。树皮体积百分率均值相差不大,天然林和人工林均值分别为 15.18%、14.73%(图 1)。

细叶云南松天然林树皮质量百分率随着树高的增加波动较大,变异规律不明显;人工林树皮质量百分率与树皮体积百分率变化规律一致,较为平稳。

天然林和人工林树皮质量百分率均值分别为 9.25%、11.7%(图 2)。

2.2 心材率变异

随着树高的增加,细叶云南松天然林和人工林心材率都呈现增大—减小—增大—减小的变化趋势。总体来看,细叶云南松的心材很小,基本未形成,虽然随着树高增加而变化,但是无明显的变化规律。天然林在 5.3 m 高处心材率最大,为 2.1 %,人工林在 13.3 m 高处心材率最大,为 0.5%。天然林心材率平均值为 1.04 %,人工林心材率平均值为 0.18%(图 3)。

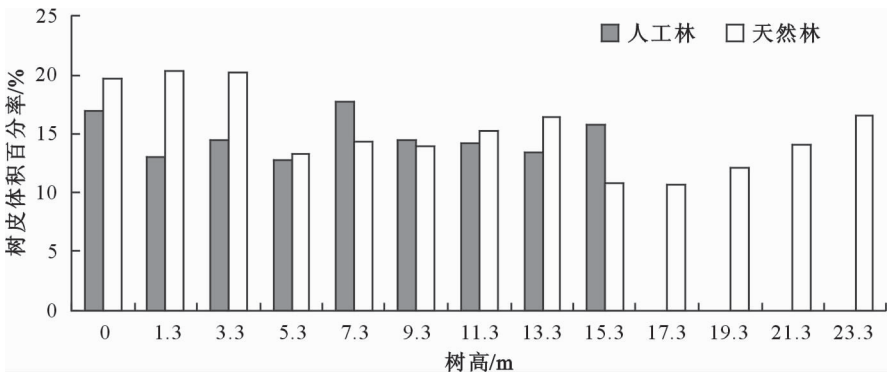


图 1 细叶云南松天然林和人工林树皮体积百分率纵向变化规律

Fig. 1 Longitudinal variation of bark volume percentage

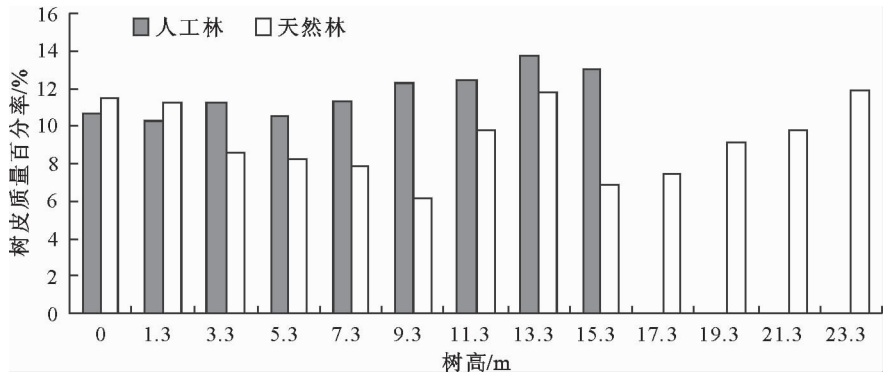


图 2 细叶云南松天然林和人工林树皮质量百分率纵向变化规律

Fig. 2 Longitudinal variation of bark mass percentage

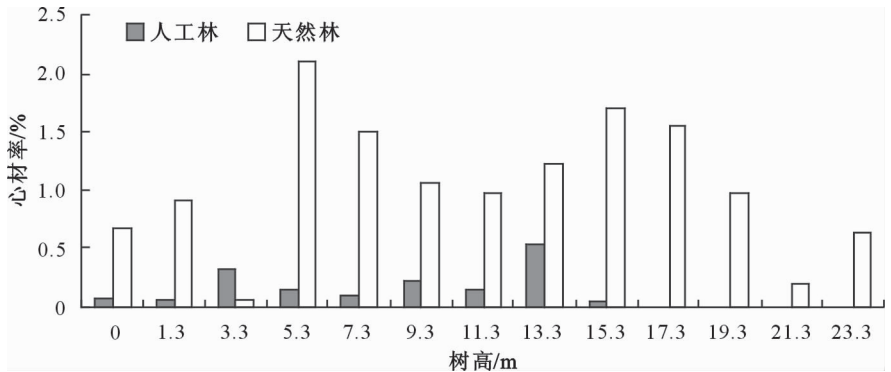


图 3 细叶云南松天然林和人工林心材率与树高的关系

Fig. 3 Relationship between heartwood percentage and height of wood

2.3 密度变异

细叶云南松天然林南向和北向生材密度从髓心向外均增加,靠近髓心和边材部分南北向差异不大,但中间部分差异较大;人工林南向和北向生材密度变化规律基本一致,从髓心向外均逐渐增加。天然林南向平均生材密度为 $1.024\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;北向为 $1.020\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,南北向均值差异不大;人工林南向平均生材密度为 $0.930\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;北向为 $0.926\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (图 4)。

细叶云南松天然林和人工林生材密度随着树高增加均较为波动,除 5.3 m 处生材密度较小之外,

其他高度方向上生材密度差异不大,天然林生材密度都比人工林的大,这是由于天然林生材含水率较大造成的。天然林生材密度平均值为 $1.022\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,人工林为 $0.928\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (图 5)。

细叶云南松天然林南向和北向的基本密度从髓心向外变化规律基本一致,均逐渐增加,人工林南向和北向基本密度变化规律有较大差异,南向逐渐减小,而北向先增大后减小。天然林南向平均基本密度为 $0.477\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;北向为 $0.484\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;人工林南向平均基本密度为 $0.467\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;北向为 $0.477\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (图 6)。

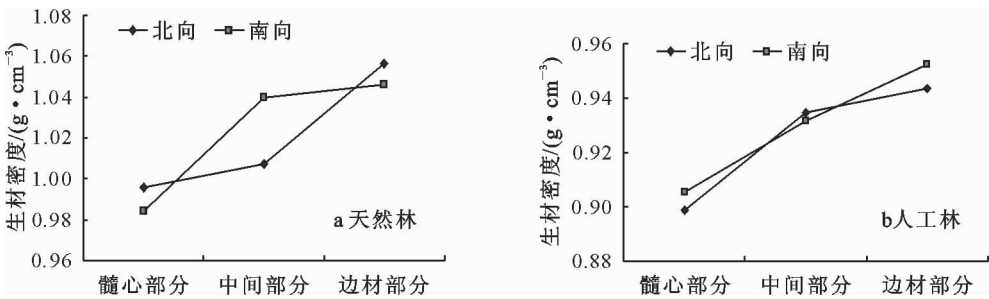


图 4 细叶云南松天然林和人工林生材密度径向变化规律

Fig. 4 Radial variation of green density of *P. yunnanensis* var. *tenuifolia*

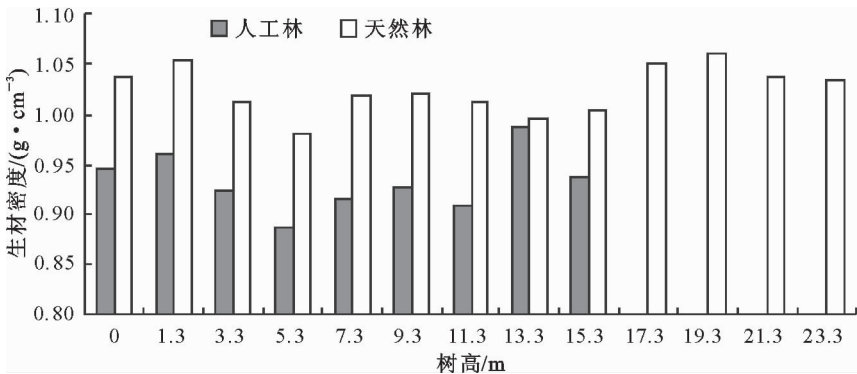


图 5 细叶云南松天然林和人工林生材密度纵向变化规律

Fig. 5 Longitudinal variation of green density of *P. yunnanensis* var. *tenuifolia*

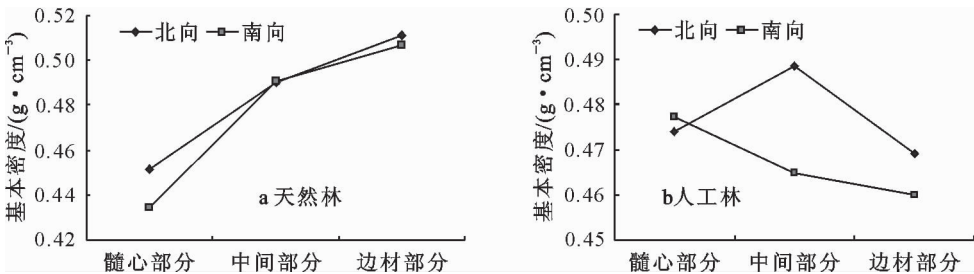


图 6 细叶云南松天然林和人工林基本密度径向变化规律

Fig. 6 Radial variation of basic density of *P. yunnanensis* var. *tenuifolia*

细叶云南松天然林基本密度随着树高增加先减小后增大,人工林则逐渐减小,变化趋势均不明显。天然林和人工林基本密度差异不大,天然林基本密度均值为 $0.481 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,人工林为 $0.472 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (图 7)。

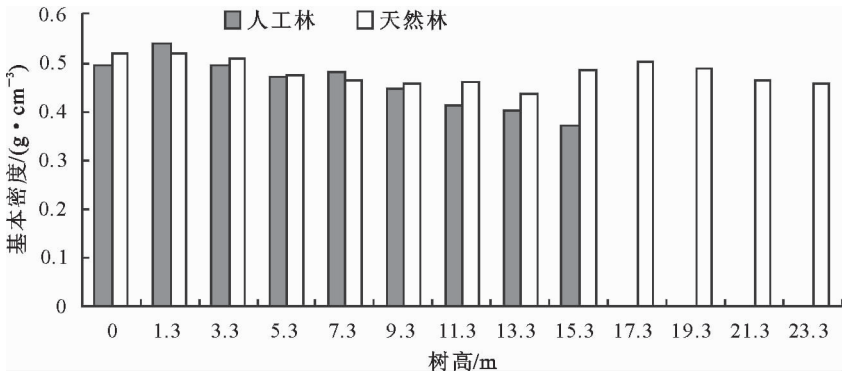


图 7 细叶云南松天然林和人工林基本密度纵向变化规律

Fig. 7 Longitudinal variation of basic density of *P. yunnanensis* var. *tenuifolia*

2.4 生材含水率变异

细叶云南松天然林南向跟北向的生材含水率从髓心向外变化规律基本一致,均减少;人工林南北向的则逐渐增大。天然林南向平均生材含水率为120.54%;北向为117.83%;人工林南向平均生材

含水率为109.59%;北向为104.66%(图8)。细叶云南松天然林生材含水率随着树高的增加先增大后减小,人工林则逐渐增大。天然林生材含水率平均值为119.19%,人工林为107.12%(图9)。

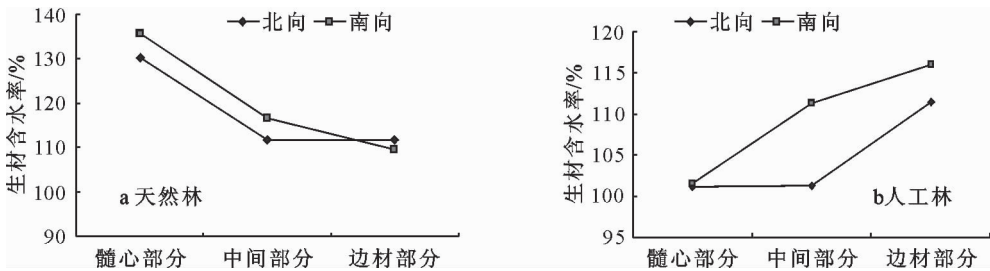


图8 细叶云南松天然林和人工林生材含水率径向变化规律

Fig. 8 Radial variation of moisture content of green wood of *P. yunnanensis* var. *tenuifolia*

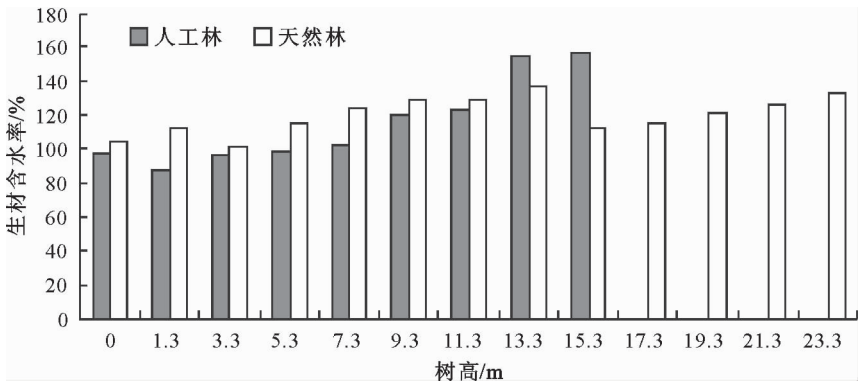


图9 细叶云南松天然林和人工林生材含水率纵向变化规律

Fig. 9 Longitudinal variation of moisture content of green wood of *P. yunnanensis* var. *tenuifolia*

3 结论与讨论

细叶云南松天然林树皮体积百分率随着树高的增加而减小,人工林树皮质量百分率与树皮体积百分率均无明显变化。天然林和人工林树皮体积百分率均值分别为15.18%和14.73%,树皮质量百分率平均值分别为9.25%和11.7%。总体来看,细叶云南松的天然林和人工林心材基本没有形成,心材率平均值分别为1.04%和0.18%。

细叶云南松天然林和人工林南北向生材密度从髓心向外均呈现增加的趋势,随着树高增加,生材密度均呈现较为波动的趋势,天然林和人工林生材密度平均值分别为1.022 g·cm⁻³和0.928 g·cm⁻³。天然林南向和北向的基本密度从髓心向外均呈逐渐增加的趋势,人工林南向和北向基本密度变化规律有较大差异,南向逐渐减小,而北向先增大,再减小。天然林生材密度比人工林稍微偏大,可能是由于生长龄较大造成。天然林基本密度呈随着树高增加先减小,再增大,人工林则逐渐减小。天然林和人工林基本密度差异不大,平均值分别为0.481 g·cm⁻³

和0.472 g·cm⁻³。罗良才^[18]等研究表明,云南松基本密度达到了0.509 g·cm⁻³,比细叶云南松的基本密度稍微偏大,可能的原因是由于立地条件和环境不同造成的,也有可能是因为细叶云南松作为云南松的一个变种,产生了差异性。

细叶云南松天然林南向跟北向的生材含水率从髓心向外均减少;人工林南向跟北向的生材含水率刚好相反,均逐渐增大。天然林生材含水率随着树高的增加先增大,再减小,人工林则逐渐增大。天然林和人工林生材含水率平均值分别为119.19%和107.12%。天然林生材含水率比人工林大,是由于天然林生长环境湿度大造成的。

参考文献:

[1] 李治基,王献溥. 广西细叶云南松的地理分布和环境的关系[J]. 植物生态学与地植物学丛刊,1981,5(1):28-37.
[2] 杨炳强,李大南. 广西雅长细叶云南松分布区土壤的肥力特性[J]. 广西农学院学报,1988,7(3):27-33.
[3] 杨章旗,冯源恒,吴东山. 细叶云南松天然种源林遗传多样性的SSR分析[J]. 广西植物,2014,34(1):10-14
[4] 王献溥. 广西细叶云南松群系的初步研究[J]. 植物研究,1987,

7(1):127-150.

[5] 田玉红,李梓,梁才.拉雅松和细叶云南松松针挥发油的化学成分[J].中国实验方剂学杂志,2012,18(1):51-55.

[6] 吴敏,李春叶,秦武明,等. 72 年生细叶云南松天然林生长规律研究[J]. 广东农业科学,2014(2):61-65.

[7] 陆道调,李宏.广西国营雅长林场细叶云南松干形研究[J]. 云南林业调查规划设计,1997(1):15-20.

[8] 马永涛,郑晓,舒筱武. 云南松木材材性与生长性状相关性研究[J]. 云南林业科技,2002(1):68-70.

[9] 李英杰,田森林,郭治遥,等. 硅烷化对云南松木材表面疏水性和润湿性的影响[J]. 资源开发与市场,2009,25(1):1-3.

[10] 符韵林,万业靖,徐峰,等. 速生桉不同树龄的生材密度及树皮率变异研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):135-138. FU Y L, WAN Y J, XU F, *et al.* Variations of green density and bark percentage of fast-growing *Eucalyptus* with different ages [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010,25(4):135-138. (in Chinese)

[11] 韦善华,符韵林,韦鹏练,等. 灰木莲树皮率、心材率及木材密度研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):152-155. WEI S H, FU Y L, WEI P L, *et al.* Bark percentage, heartwood percentage and density for *Manglietia glauca* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011,26(3):152-155. (in Chinese)

[12] 邱炳发,符韵林,石敏任,等. 观光木的生材性质研究[J]. 福建林业科技,2011,38(2):95-106.

[13] 符韵林,黄松殿,韦鹏练,等. 擎天树树皮率、心材率及木材密度研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(9):5274-5277.

[14] 苏勇,符韵林,韦鹏练,等. 山白兰树皮率、心材率及木材密度研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(1):249-252. SU Y, FU Y L, WEI P L, *et al.* Bark and heartwood percentage and density of *Paramichelia baillonii* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1):249-252. (in Chinese)

[15] 曾辉,刘晓玲,符韵林,等. 顶果木树皮率、心材率及木材密度研究[J]. 西北林学院学报,2014,29(1):161-164. ZENG H, LIU X L, FU Y L, *et al.* Bark percentage, heartwood percentage and density for *Acrocarpus fraxinifolius* Wight ex Arn. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014,29(1):161-164. (in Chinese)

[16] GB/T1927-2009. 木材物理力学试材采集方法[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[17] 徐有朋. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,2006:146.

[18] 罗良才,徐莲芳. 云南松木材物理力学性质的研究[J]. 林业科学,1981(3):238-246. LUO L C, XU L F, Studies on the physico-mechanical properties of the timber of Yunnan pine [J]. Scientia Silvae Sinicae,1981(3):238-246.

(上接第 210 页)

[8] 辛转霞,李厚华,李玲,等. 夏堇花成色色素分析[J]. 西北林学院学报,2011,26(6):107-109. XIN Z X, LI H H, LI L, *et al.* Flower pigment analysis of *Torenia fournieri* flowers[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6):107-109. (in Chinese)

[9] LI H H. Metabolic engineering of flavonoid biosynthesis in apple by genetic transformation[D]. Germany:Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2008:51-54.

[10] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000:99-103.

[11] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京:化学工业出版社,2005:39.

[12] 吴敏,张杰,曾凡骏. 天然花青素稳定性研究现状[J]. 中国食品添加剂,2008(5):50-53.

[13] 赵秀林,王富荣,徐凌云,等. HPLC 法测定桃不同品种果实中花色苷组成和含量[J]. 食品科学,2013,34(8):208-211.

[14] 刘国柱. 中药中黄酮类化合物全定性分析策略[D]. 长沙:湖南师范大学,2010.

[15] 高艳,李厚华,李玲,等. 紫叶李叶片色素成分分析[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(3):481-487. GAO Y, LI H H, LI L, *et al.* Chromogenic pigments in *Prunus cerasifera* leaves[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2014, 31(3):481-487. (in Chinese)

[16] 于晓南,张启翔. 观赏植物的花色苷与花色[J]. 林业科学,2002,38(3):147-153. YU X N, ZHANG Q X. Anthocyanin in ornamental plant and color experss[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(3):147-153. (in Chinese)

[17] 李国选. 花青苷类物质稳定性的最新进展[J]. 食品科学,1989,25(3):36-41.

[18] 于晓南,张启翔. 彩叶植物多彩形成的研究进展[J]. 园艺学报,2000,27(Supp.):533-538.

[19] 刘石泉,余庆波,李小军,等. 观赏植物花色基因工程的研究进展[J]. 贵州林业科技,2004,32(2):13-18.

[20] 李义龙,肇涛澜,陈立超,等. 花色素苷生物合成及花色的调控[J]. 生命科学,2008,20(1):147-152. LI Y L, ZHAO T L, CHEN L C, *et al.* Regulation in pigment biosynthesis and color variation of flowers[J]. Chinese Bulletinof Life Sciences, 2008, 20(1):147-152. (in Chinese)

[21] 鲁仪增,廖校丽,李纪元,等. 山茶属红茶组植物花瓣色素及其应用的研究进展[J]. 上海农业科学,2007,23(2):114-118.

[22] 李崇晖,王亮生,舒庆艳,等. 迎红杜鹃花色色素组成及花色在开花过程中的变化[J]. 园艺学报,2008,35(7):1023-1030. LI C H, WANG L S, SHU Q Y, *et al.* Pigments composition of petals and floral color change during the blooming period in *Rhododendron mucronulatum*[J]. Acta Horticulture Sinica, 2008, 35(7):1023-1030. (in Chinese)

[23] 刘传菊. 杨梅中酚类物质的分离、分析、特性及应用研究[D]. 武汉:华中农业大学,2008.

[24] 缪少霞,王鹏,徐渊金,等. 植物源天然食用色素及其开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发,2012,33(7):211-216.