

秃杉林与杉木连栽林的土壤理化性质 及林木生长量比较

黄承标¹ 曹继钊² 吴庆标¹ 韦家国³ 蒙跃环³ 李保平¹

(1. 广西大学林学院 南宁 530005 ; 2. 广西林业科学研究院 南宁 530001 ; 3. 广西南丹县山口林场 南丹 547200)

摘 要：选择在杉木1代林采伐迹地上营造的8,11和14年生秃杉林及8,11和14年生杉木连栽2代林进行土壤理化性质及林木生长量对比试验。结果表明：8,11和14年生秃杉林地土壤密度依次为0.893~1.112,0.797~1.256和0.598~1.211 g·cm⁻³,比杉木林下降0.9%~6.9%；3个林龄秃杉林地土壤总孔隙度依次为45.69%~65.33%,46.45%~68.74%和39.82%~68.26%,比杉木林提高6.6%~8.7%；3个林龄秃杉林地土壤通气度依次为3.43%~11.43%,4.15%~19.73%和2.28%~12.23%,比杉木林提高14.2%~24.4%；3个林龄秃杉林地土壤饱和持水量依次为46.89%~66.50%,40.90%~68.09%和42.36%~98.15%,比杉木林提高12.4%~14.9%；3个林龄秃杉林地土壤pH值依次为4.30~5.10,4.40~4.80和4.13~4.55,比杉木林降低1.3%~6.3%；3个林龄秃杉林地土壤有机质含量依次为46.03~71.45,34.96~68.67和25.59~79.38 g·kg⁻¹,8年生比杉木林略低,11和14年生比杉木林提高23.4%~77.1%；3个林龄秃杉林地土壤全氮含量依次为1.78~3.55,1.97~3.04和2.01~3.12 g·kg⁻¹,水解氮含量依次为146.9~355.3,185.0~370.5和136.6~365.9 mg·kg⁻¹,均表现为8年生秃杉林比杉木林略低,11和14年生秃杉林比杉木林提高20.1%~35.6%；3个林龄秃杉林地土壤速效磷含量依次为0.5~2.7,0.6~1.5和0.6~2.8 mg·kg⁻¹,比杉木林提高11.1%~54.5%；3个林龄秃杉林地土壤速效钾含量依次为15.4~137.5,34.5~115.5和18.7~89.1 mg·kg⁻¹,比杉木林降低23.6%~47.6%；3个林龄秃杉林分平均胸径依次为10.70,12.67和14.13 cm,比杉木林提高12.4%~36.7%；3个林龄秃杉林分平均树高依次为8.63,11.47和13.33 m,比杉木林提高11.7%~30.2%；3个林龄秃杉林分平均蓄积量依次为93.308,153.418和203.824 m³·hm⁻²,比杉木林提高37.7%~117.5%。

关键词：杉木连栽；秃杉引种；土壤理化性质；林木生长量；广西南丹县

中图分类号：S718.55 文献标识码：A 文章编号：1001-7488(2010)04-0001-07

Comparative Analysis on Soil Physi-Chemical Properties and the Tree Growth in *Taiwania flousiana* Plantations and Successive Rotation Plantations of *Cunninghamia lanceolata*

Huang Chengbiao¹ Cao Jizhao² Wu Qingbiao¹ Wei Jiaguo³ Meng Yuehuan³ Li Baoping¹

(1. Forestry College, Guangxi University Nanning 530005 ; 2. Guangxi Academy of Forestry Nanning 530001 ; 3. Shankou Forest Farm of Nandan County in Guangxi Nandan 547200)

Abstract: Soil physi-chemical properties and the tree growth were compared in successive rotation plantations of *Cunninghamia lanceolata* (CR Chinese Fir) in tree different ages(8-year-old, 11-year-old and 14-year-old), and *Taiwania flousiana* plantations with the same age pattern which were afforested in previous slash of Chinese Fir. The results showed that soil bulk densities were 0.893 - 1.112, 0.797 - 1.256 and 0.598 - 1.211 g·cm⁻³ respectively in 8, 11, 14-year-old *Taiwania flousiana* plantations soils (0~100 cm), which were lower 0.9% - 6.9% than those in CR Chinese Fir plantations. Total soil porosity in the three ages of *Taiwania flousiana* plantations was respectively 45.69% - 65.33%, 46.45% - 68.74% and 39.82% - 68.26% and all higher 6.6% - 8.7% than that in the CR Chinese Fir plantations. The soil ventilation degree was respectively 49.57% - 59.71%, 44.55% - 66.68% and 42.38% - 66.16% and also higher 14.2% - 24.4% than that in the CR Chinese Fir plantations. The soil saturation moisture capacity was respectively 3.43% - 11.43%, 4.15% - 19.73% and 2.28% - 12.23%, and higher 12.4% - 14.9% than that in the CR Chinese Fir plantations; The saturated water contents were 46.89% - 66.50%, 40.90% - 68.09% and 42.36% - 98.15% respectively, and higher 12.4% - 14.9% than that in the CR Chinese Fir plantations. pH values of forest soil (0 - 40 cm layer) were 4.30 - 5.10, 4.40 - 4.80 and 4.13 - 4.55 respectively in 8, 11, 14-years-old of *Taiwania flousiana* plantations, which were lower 1.3% - 6.3% than that in the CR Chinese Fir

plantations, and the organic matter contents were 46.03–71.45, 34.96–68.67 and 25.59–79.38 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and lower than that in CR Chinese Fir plantations in the 8-year-old, however higher 23.4%–77.1% than that in the 11, 14-years-old. Total nitrogen and hydrolysis nitrogen contents were 1.78–3.55, 1.97–3.04, 2.01–3.12 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 146.9–355.3, 185.0–370.5, 136.6–365.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and slightly lower than that in 8-year-old is and higher 20.1%–35.6% in the 11, 14-years-old. Available P contents were 0.5–2.7, 0.6–1.5 and 0.6–2.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectively, and higher than that 11.1%–54.5% in the CR Chinese Fir plantations. Available K contents were 15.4–137.5, 34.5–115.5 and 18.7–89.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and lower 23.6%–47.6% than that in the CR Chinese Fir plantations. In the 8, 11, 14 years-old of *Taiwania flousiana* plantations, the average diameter was 10.70, 12.67 and 14.13 cm respectively, and higher 12.4%–36.7% than that in the CR Chinese Fir plantations. The average tree height were 8.63, 11.47 and 13.33 m respectively, and higher 11.7%–30.2% than that in the CR Chinese Fir plantations. Tree stands volumes were 93.308, 153.418 and 203.824 $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ respectively, higher 37.7%–117.5% than that in the CR Chinese Fir plantations.

Key words: continuous planting *Cunninghamia lanceolata*; *Taiwania flousiana* introduction experiments; soil physicochemical properties; tree growth; Nandan County of Guangxi

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)连栽导致土壤物理性质变差、地力衰退以及林分生产力下降等问题早已被学术界和林业生产部门所证实。方晰等(2009)研究了连栽第2代杉木林和撂荒对第1代杉木林采伐迹地土壤养分的影响,结果显示撂荒地土壤有机质、养分含量普遍高于连栽杉木林地,且腐殖质碳、有效磷及全磷含量的差异均达到极显著水平。孙启武等(2003)对不同栽植代数杉木林土壤理化性质进行测定,得出第2代土壤密度比第1代大,土壤孔隙度、持水量、pH值、有机质及主要养分含量均低于第1代。俞元春等(2000)和杨玉盛等(1998)对不同栽植代数杉木林土壤理化性质和林分生长量进行测定,发现林地土壤密度随着杉木栽植代数的增加而增大,土壤持水能力及渗透性能下降,林分蓄积量降低。杨玉盛等(2000)对杉木林取代杂木林后及随杉木多代连栽代数的增加,土壤保水和供水能力下降,全量养分含量减少,土壤供肥、保肥能力及林分生产力下降。王清奎等(2004)研究了杉木连栽对土壤有机质含量等的影响,得出杉木连栽林地有机质含量和质量均低于混交林,且随栽植代数的增加呈明显下降趋势。罗云建等(2006)研究发现,随着杉木连栽代数的增加,林分生物量和土壤有机碳贮量均明显下降。国外 Dell等(1995)、Dosskey等(1997)和 James等(1994)对碳循环的研究十分关注。因此,寻求适宜种植于杉木连栽迹地的树种,已成为当务之急。

秃杉(*Taiwania flousiana*)系杉科(Taxodiaceae)台湾杉属(*Taiwania*),天然分布在贵州、云南等地,垂直分布海拔800~2500 m,是第三纪古热带植物区系中古老子遗植物和世界稀有珍贵树种。20世纪70年代末,广西山口林场针对本地区因杉木连栽引发的地力衰退、

生物生产力下降等不良现状,先后从云南和贵州引种秃杉优良种源进行育苗造林试验,经引种后发现该树种比同龄同立地的杉木生长迅速,以后便陆续开展此项研究工作。吴庆标等(2008)研究得出秃杉的经济效益优于同等立地的杉木2代林;何斌等(2008;2009)研究了秃杉人工林各组分营养元素含量及凋落物储量;梁宏温等(2008)研究了秃杉人工林木物理力学性质。广西南丹县山口林场已引种栽植秃杉1562.1 hm^2 并取得了较显著的经济、生态和社会效益。本研究选择在杉木1代林采伐迹地上营造的8,11和14年生秃杉林及8,11和14年生杉木连栽第2代林,进行土壤理化性质及林木生长量对比试验,为寻找杉木连栽迹地替代树种、丰富速生丰产林造林树种提供参考。

1 研究区概况

研究区位于广西南丹县山口林场(107°29′—107°55′E, 24°24′—25°37′N),海拔600~1200 m,坡度25~40°,土壤为砂岩发育形成的山地黄壤,土层厚80~130 cm。根据引种区南丹县气象站(海拔697.9 m)气象资料,研究区年均气温16.9℃,最冷月(1月)均温7.4℃,极端低温-5.5℃;最热月(7月)均温24.6℃,极端高温35.5℃,年均降雨量1497.9 mm,其中4—10月占全年降水量的87.5%,年均蒸发量1134.8 mm,年均相对湿度83%,年均日照时数1257.0 h,≥10℃年积温5244.0℃;年均霜期9.3天,年均风速1.5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,属中亚热带湿润气候型。

2 研究方法

2.1 试验设计

秃杉种源来自云南省腾冲县天然母树种源基地。采种后,在引种试验区内进行播种育苗。造林试验地

选择在海拔 850 ~ 1 150 m 的地段上,造林试验地为杉木 1 代林,经过皆伐炼山清理后进行穴垦整地,种植穴规格为 0.4 m × 0.4 m × 0.3 m,秃杉与杉木均采用 1 年生裸根苗造林。造林时间分别为 1999 年 3 月(8 年生)、1996 年 3 月(11 年生)和 1993 年 3 月(14 年生)。造林后当年 5—6 月进行带状铲草抚育 1 次;造林后第 2—4 年,每年 5—6 月和 9—10 月各铲草抚育。造林时,每个年龄段分别设置 3 个不同坡向,每个坡向设置上坡、中坡和下坡 3 个坡位,每个坡位分别设置面积为 20 m × 20 m 的样地 3 个。

2.2 土壤理化性质测定

2006 年 7—8 月,在样地内,按对角线设置 3 个土壤剖面,按 0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 100 cm 3 个土层,用 100 cm³ 不锈钢环刀取原状土样(每土层 3 个重复)带回室内,按中国林业标准——森林土壤分析方法(中国科学院南京土壤研究所,1978),分别测定 3 个土层的土壤密度、孔隙度、通气度和持水量等,并测定 0 ~ 20 和 20 ~ 40 cm 土层的 pH 值和养分含量。pH 值采用电位法测定;有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定;全氮采用浓 H₂SO₄-HClO₄法-凯氏半微量法测定;全磷采用氢氧化钠碱溶-钼锑抗比色法测定;全钾采用火焰光度计法测定;水解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用 EDTA 浸提法测定;速效钾采用乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法测定。

2.3 林分生长量测定

在样地内进行每木检尺。胸径用围卷尺测量,树高用测高杆测量,单株蓄积量按广西林业勘测设计院等(1996)的回归公式 $V = 0.65671 \times 10^{-4} \times D^{1.769412} \times H^{1.069769}$ 计算。式中:V 为单株平均立木蓄积量(m³),D 和 H 分别为平均胸径(cm)和平均树高(m),单株平均立木蓄积量乘以单位面积株数为林分蓄积量。采用 EXCEL、SPSS 13.0 软件处理数据,对秃杉林和杉木林 2 种林分的测定数据进行差异显著检验,对 2 种林分 3 个年龄段不同坡位的测定数据进行方差分析。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性质

3.1.1 土壤密度 由表 1 可看出,8、11 和 14 年生秃杉林土壤密度依次为 0.893 ~ 1.112, 0.797 ~ 1.256 和 0.598 ~ 1.211 g·cm⁻³,其中 0 ~ 20 cm 土层密度随着林龄的增大呈现下降趋势,相应比同龄杉木林下降,平均值下降 3.0%。差异显著检验结果表明,8、11 和 14 年生 2 种林分土壤密度的 *t* 值统计量依次为 $1.098 < t_{0.05} = 2.131$, $0.170 < t_{0.05} =$

2.131 和 $0.422 < t_{0.05} = 2.145$ 。由此说明,杉木 1 代林引种秃杉可疏松林地土壤,降低土壤密度,但与同龄杉木林地的差异不显著。2 种林分 3 种坡位土壤密度的方差分析表明, $F = 0.296 \sim 2.175 < F_{0.05} = 3.634$,显示出土壤密度的坡位差异不显著。

3.1.2 土壤孔隙度 土壤孔隙度是土壤中养分、水分、空气和微生物等的迁移通道、贮存库和活动场地,其数量上的大小及分配是土壤物理性质的基础,也是评价土壤结构特征的重要指标。由测定结果可知(表 1) 8、11 和 14 年生秃杉林土壤非毛管孔隙度依次为 3.55% ~ 13.10%, 4.43% ~ 21.88% 和 6.70% ~ 22.30%,随林龄的增大呈现递增趋势以及随土层深度的增加而减小,相应比同龄杉木林地提高 13.9% ~ 23.4%。差异显著检验结果表明:8、11 和 14 年生 2 种林分土壤非毛管孔隙度的 *t* 值统计量依次为 $0.561 < t_{0.05} = 2.120$, $0.881 < t_{0.05} = 2.131$ 和 $0.549 < t_{0.05} = 2.120$,均未达到显著水平。8、11 和 14 年生秃杉林土壤毛管孔隙度依次为 42.91% ~ 53.71%, 39.31% ~ 51.80% 和 33.12% ~ 47.91%,随林龄的增大呈现递减趋势,相应比同龄杉木林地提高 5.1% ~ 5.5%。差异显著检验结果表明:8、11 和 14 年生 2 种林分土壤毛管孔隙度的 *t* 值依次为 $1.701 < t_{0.05} = 2.120$, $1.098 < t_{0.05} = 2.120$ 和 $0.884 < t_{0.05} = 2.120$,均未达到显著水平。

土壤总孔隙度是非毛管孔隙度与毛管孔隙度的综合表现,8、11 和 14 年生秃杉林土壤总孔隙度依次为 45.69% ~ 65.33%, 46.45% ~ 68.74% 和 39.82% ~ 68.26%,相应比同龄杉木林地高。差异显著检验结果表明:8、11 和 14 年生 2 种林分土壤总孔隙度的 *t* 值依次为 $1.272 < t_{0.05} = 2.132$, $0.978 < t_{0.05} = 2.120$ 和 $0.787 < t_{0.05} = 2.120$,均未达到显著水平。2 种林分 3 个坡位总孔隙度的方差分析结果表明: $F = 0.035 \sim 2.653 < F_{0.05} = 3.634$,说明土壤总孔隙度的坡位差异均不显著。

3.1.3 土壤通气度 土壤通气度与土壤孔隙度密切相关,两者一般呈正相关关系。从测定结果可看出(表 1):8 年生秃杉林地土壤通气度为 3.43% ~ 11.43%,比同龄杉木林地平均提高 14.2%, $t = 0.6184 < t_{0.05} = 2.120$;11 年生为 4.15% ~ 19.73%,比同龄杉木林地平均提高 17.6%, $t = 0.990 < t_{0.05} = 2.120$;14 年生为 2.28% ~ 12.23%,比同龄杉木林地平均提高 24.4%, $t = 0.874 < t_{0.05} = 2.120$ 。2 种林分土壤通气度在不同坡位表现为下坡 > 中坡 > 上坡。2 种林分 3 个坡位土壤通气度的方差分析结果表明: $F = 8.223 \sim 8.665 > F_{0.01} = 6.226$,说明土壤通气度的坡位差异均达到极显著水平。

表 1 秃杉和杉木林地土壤物理性质

Tab. 1 Soil physical properties comparison of *Cunninghamia lanceolata* and *Taiwania flousiana* plantation

林型 Forest type	林龄 Age/ a	坡位 Slope position	土层 Soil layer/cm	密度 Density/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity/%	毛管孔隙度 Capillary porosity/%	总孔隙度 Total porosity/%	通气度 Venting quality/%	饱和持水量 Saturation moisture capacity/%	
秃杉 <i>Taiwania flousiana</i>	8	上 Up	0~20	0.893	11.62	53.71	65.33	11.43	66.08	
			20~40	0.899	4.18	49.13	53.31	8.89	66.50	
			40~100	1.103	3.55	47.66	51.21	4.15	62.34	
		中 Middle	0~20	0.901	13.10	45.25	58.35	8.73	66.08	
			20~40	0.911	8.42	46.04	54.46	7.28	54.93	
			40~100	1.108	6.93	45.09	52.02	4.56	46.89	
		下 Down	0~20	0.916	9.63	49.88	59.51	11.43	62.57	
			20~40	0.923	5.73	45.09	50.82	8.73	54.93	
			40~100	1.112	2.78	42.91	45.69	3.43	50.89	
		上 Up	0~20	0.986	21.65	47.09	68.74	10.79	61.34	
			20~40	1.048	9.75	46.04	55.79	9.75	43.52	
			40~100	1.256	4.43	42.53	46.96	4.15	40.90	
	11	中 Middle	0~20	0.814	19.45	48.75	68.20	18.67	68.09	
			20~40	0.862	9.14	44.24	53.38	14.05	60.16	
			40~100	1.148	7.20	41.80	49.00	9.75	58.07	
		下 Down	0~20	0.797	21.88	51.80	73.68	19.73	97.08	
			20~40	0.814	11.48	39.31	50.79	18.48	52.10	
			40~100	0.997	6.72	39.73	46.45	13.09	46.45	
		上 Up	0~20	0.598	21.97	46.24	68.21	9.88	98.15	
			20~40	0.799	10.34	45.09	55.43	6.70	58.53	
			40~100	0.994	6.34	41.34	47.68	2.28	50.99	
		14	中 Middle	0~20	0.753	20.35	47.91	68.26	6.82	67.23
				20~40	0.979	9.78	42.13	51.91	4.41	61.45
				40~100	1.211	7.56	41.76	49.32	4.38	46.78
下 Down	0~20		0.747	22.30	44.25	66.55	18.63	89.16		
	20~40		0.897	13.60	35.64	49.24	12.23	66.60		
	40~100		1.181	6.70	33.12	39.82	9.41	42.35		
8	上 Up	0~20	0.906	9.30	50.13	59.43	7.00	65.85		
		20~40	0.903	3.50	45.61	49.11	3.75	44.71		
		40~100	1.117	2.80	42.98	45.78	2.45	40.90		
	中 Middle	0~20	0.912	12.40	44.72	57.12	12.00	64.49		
		20~40	0.926	7.71	43.77	51.48	10.71	43.00		
		40~100	1.122	5.87	43.03	48.90	5.75	37.46		
	下 Down	0~20	0.928	8.92	48.33	57.25	8.89	63.87		
		20~40	0.944	4.28	42.30	46.58	7.15	60.37		
		40~100	1.106	2.80	41.77	44.57	2.45	42.52		
	上 Up	0~20	0.992	20.42	47.33	67.75	9.78	60.35		
		20~40	0.997	9.12	45.34	54.46	9.11	42.00		
		40~100	1.124	4.88	41.23	46.11	4.23	39.70		
11	中 Middle	0~20	0.824	11.23	43.62	54.85	12.79	64.52		
		20~40	0.892	8.13	41.10	49.23	12.04	58.23		
		40~100	1.136	5.34	39.00	44.34	5.76	44.77		
	下 Down	0~20	0.802	16.78	49.21	65.99	16.88	67.23		
		20~40	0.877	9.55	37.88	47.43	15.78	49.88		
		40~100	1.033	5.23	36.78	42.01	11.08	42.87		
14	上 Up	0~20	0.667	18.67	45.04	63.71	8.00	62.02		
		20~40	0.908	8.72	44.76	53.48	5.58	53.63		
		40~100	1.187	6.11	40.41	46.52	2.52	46.78		
	中 Middle	0~20	0.799	18.79	44.12	62.91	6.70	58.53		
		20~40	0.974	9.23	37.09	46.32	5.88	56.12		
		40~100	1.222	6.42	40.24	46.66	2.53	50.99		
下 Down	0~20	0.824	19.67	42.67	62.34	10.31	58.58			
	20~40	1.006	9.99	32.76	42.75	9.88	56.17			
	40~100	1.183	6.90	32.01	38.91	8.76	50.39			

3.1.4 土壤饱和持水量 8,11 和 14 年生秃杉林地土壤饱和持水量依次为 46.89% ~ 66.50% , 40.90% ~ 68.09% 和 42.36 ~ 98.15% (表 1), 相应比同龄杉木林地提高 14.9% ,12.4% 和 14.2%。差异显著检验结果表明:8,11 和 14 年生 2 种林分土壤饱和持水量的 t 值依次为 $1.634 < t_{0.05} = 2.160$, $0.969 < t_{0.05} = 2.160$ 和 $1.525 < t_{0.05} = 2.262$,均未达到显著水平。2 种林分 3 个坡位土壤饱和持水量的方差分析结果表明: $F = 1.834 \sim 2.269 < F_{0.05} = 3.634$,说明土壤饱和持水量的坡位差异均不显著。

3.2 土壤化学性质

3.2.1 土壤 pH 值 由表 2 可看出:8,11 和 14 年生秃杉林地 0~40 cm 土层的 pH 值依次为 4.30 ~ 5.10 ,4.40 ~ 4.80 和 4.13 ~ 4.55 ,相应比同龄杉木林下降 1.3% ~ 6.3% ,并随着林龄增大逐渐减小。存在这一现象的原因可能与这 2 种林分的凋落物性质以及土壤中交换性盐基离子淋失等因素有关。2 种林分 3 个林龄土壤 pH 值的差异性显著检验结果表明: $t = 0.695 < t_{0.05} = 2.035$,差异不显著。2 种林分 3 个坡位土壤 pH 值的方差分析结果表明: $F = 0.163 \sim 0.242 < F_{0.05} = 3.682$,差异也不显著。

表 2 秃杉和杉木林地土壤化学性质

Tab. 2 Soil chemical properties comparison of *Cunninghamia lanceolata* and *Taiwania flousiana* plantation

林型 Forest type	林龄 Age/a	坡位 Slope position	土层 Soil layer/cm	pH	有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	全 N Total nitrogen contents/ (g·kg ⁻¹)	水解 N Hydrolysis nitrogen contents/ (mg·kg ⁻¹)	速效 P Available P contents/ (mg·kg ⁻¹)	速效 K Available K contents/ (mg·kg ⁻¹)
秃杉 <i>Taiwania flousiana</i>	8	上	0~20	4.30	71.45	3.55	355.3	2.7	137.5
		Up	20~40	4.48	46.03	1.78	146.9	0.5	31.9
		中	0~20	5.10	67.52	3.04	349.9	2.5	108.9
		Middle	20~40	4.88	35.55	1.83	149.5	1.5	34.1
		下	0~20	4.55	59.90	2.75	336.2	2.2	38.5
		Down	20~40	4.42	39.70	1.91	216.0	0.6	15.4
	11	上	0~20	4.80	68.28	3.02	296.5	1.5	115.5
		Up	20~40	4.73	34.96	1.98	185.0	0.9	44.0
		中	0~20	4.40	67.42	3.01	370.5	1.1	66.0
		Middle	20~40	4.52	46.08	2.39	264.9	0.6	26.4
		下	0~20	4.68	68.67	3.04	268.2	1.2	91.4
		Down	20~40	4.52	36.45	1.97	217.8	0.7	34.5
14	上	0~20	4.55	67.43	3.07	348.6	1.3	55.0	
	Up	20~40	4.41	25.59	2.20	202.7	0.6	20.9	
	中	0~20	4.16	65.34	3.03	307.7	1.1	48.4	
	Middle	20~40	4.32	24.35	2.12	136.6	0.4	18.7	
	下	0~20	4.38	79.38	3.12	365.9	2.8	89.1	
	Down	20~40	4.37	44.06	2.01	215.8	1.6	40.7	
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	8	上	0~20	4.85	71.45	3.62	362.5	0.8	84.7
		Up	20~40	4.72	46.03	1.75	132.8	0.6	30.8
		中	0~20	5.10	67.52	3.07	325.3	1.8	189.2
		Middle	20~40	5.05	35.55	1.96	188.4	0.7	91.3
		下	0~20	5.12	59.90	2.63	340.1	1.8	198.2
		Down	20~40	4.78	39.70	1.88	220.2	0.9	104.9
	11	上	0~20	4.67	68.28	2.47	239.4	1.0	46.2
		Up	20~40	4.87	34.96	1.97	203.3	0.7	23.1
		中	0~20	4.76	67.42	2.47	239.4	1.1	46.2
		Middle	20~40	4.89	46.08	2.11	203.3	0.8	23.1
		下	0~20	4.35	68.67	2.12	239.4	1.0	46.2
		Down	20~40	4.47	36.45	1.67	203.3	0.7	23.1
14	上	0~20	4.57	67.43	2.24	256.6	1.7	132.7	
	Up	20~40	4.31	25.59	1.34	107.9	0.3	37.4	
	中	0~20	4.57	65.34	2.25	256.6	1.7	135.4	
	Middle	20~40	4.31	24.35	1.56	107.9	0.3	42.5	
	下	0~20	4.46	79.38	2.31	282.1	1.0	123.5	
	Down	20~40	4.34	44.06	1.76	184.6	0.6	36.6	

3.2.2 土壤有机质 由表 2 可看出:8,11 和 14 年

生秃杉土壤有机质含量依次为 46.03 ~ 71.45 ,

34.96 ~ 68.67 和 25.59 ~ 79.38 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与同龄杉木林土壤有机质含量相比, 8 年生秃杉比杉木林地略低, 而 11 和 14 年生则分别比杉木林提高 6.4% 和 22.9%。2 种林分 3 个林龄土壤有机质含量的差异性显著检验结果表明: $t = 0.740 < t_{0.05} = 2.035$ 。2 种林分 3 个坡位土壤有机质含量的方差结果表明: $F = 0.012 \sim 0.120 < F_{0.05} = 3.682$, 说明研究区土壤有机质含量的坡位差异均不显著。

3.2.3 土壤氮素 由表 2 可看出: 8, 11 和 14 年生秃杉林土壤全氮含量依次为 1.78 ~ 3.55, 1.97 ~ 3.04 和 2.01 ~ 3.12 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与杉木林土壤全氮含量相比较, 8 年生秃杉林比杉木林略低, 而 11 和 14 年生则分别比杉木林提高 20.1% 和 35.6%, 与土壤有机质含量的变化趋势相一致。2 种林分 3 个林龄土壤全氮含量的差异显著检验结果表明: $t = 1.968 < t_{0.05} = 2.032$, 差异不显著。2 种林分 3 个坡位土壤全氮含量的方差结果表明: $F = 7.379 \sim 9.120 > F_{0.01} = 4.026$, 说明研究区土壤全氮含量的坡位差异极显著。

由表 2 可看出: 8, 11 和 14 年生秃杉林土壤水解氮含量依次为 146.9 ~ 355.3, 185.0 ~ 370.5 和 136.6 ~ 365.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与杉木林相比, 8 年生秃杉林比杉木林地略低, 而 11 和 14 年生则分别比杉木林提高 20.7% 和 32.0%, 与土壤全氮含量的变化趋势相吻合。2 种林分 3 个林龄土壤水解氮含量的差异性显著检验结果表明: $t = 1.390 < t_{0.05} = 2.032$, 差异不显著。2 种林分 3 个坡位土壤水解氮含量的方差分析结果表明: $F = 0.810 \sim 1.145 < F = 3.684$, 差异不显著。

3.2.4 土壤磷素 由表 2 可看出: 8, 11 和 14 年生

秃杉林土壤速效磷含量依次为 0.5 ~ 2.7, 0.6 ~ 1.5 和 0.6 ~ 2.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 相应比杉木林提高 11.1% ~ 54.5%。2 种林分 3 个林龄速效磷含量的差异性显著检验结果表明: $t = 1.632 < t_{0.05} = 2.048$, 差异不显著。2 种林分 3 个坡位土壤速效磷含量的方差分析结果表明: $F = 3.755 \sim 6.632 > F_{0.05} = 2.657$, 达到显著水平。

3.2.5 土壤钾素 钾是林木生长过程吸收量最多的营养元素之一, 其中土壤速效钾是土壤钾素的现实供应指标。由表 2 可看出: 8, 11 和 14 年生秃杉林土壤速效钾含量依次为 15.4 ~ 137.5, 34.5 ~ 115.5 和 18.7 ~ 89.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 随林龄增大呈波浪式下降趋势, 相应比杉木林降低 23.6% ~ 47.6%。2 种林分 3 个林龄土壤速效钾含量的差异性显著检验结果表明: $t = 1.387 < t_{0.05} = 2.045$, 差异不显著。2 种林分 3 个坡位土壤速效钾含量的方差分析结果表明: $F = 5.979 \sim 9.423 > F_{0.01} = 4.456$, 达到极显著水平。

3.3 林分生长量

3.3.1 胸径生长量 由表 3 可知: 8, 11 和 14 年生秃杉林平均胸径依次为 10.7, 12.7 和 14.1 cm, 年平均生长量为 1.01 ~ 1.34 cm, 均达到速生标准, 相应比 8, 11 和 14 年生杉木林(7.8, 11.3 和 11.7 cm)依次提高 36.7%, 12.4% 和 20.4%, 平均值提高 21.7%。2 种林分 3 个林龄平均胸径的差异性显著检验结果表明: $t = 2.603 > t_{0.05} = 2.131$, 差异达到显著水平。2 种林分 3 个坡位平均胸径的方差分析结果表明: $F = 0.264 \sim 0.458 < F = 5.143$, 差异不显著。

表 3 秃杉和杉木林 2 种林分的生长量

Tab. 3 Growth comparison of *Cunninghamia lanceolata* and *Taiwania flousiana* plantation

林龄 Age/a	坡位 Slope position	秃杉 <i>Taiwania flousiana</i>			杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i>		
		DBH/	树高	蓄积量	DBH/	树高	蓄积量
		cm	Tree height/m	Stand volume/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	cm	Tree height/m	Stand volume/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
8	上 Up	9.8	7.9	71.408	7.0	5.1	25.826
	中 Middle	10.6	8.0	83.153	8.6	7.3	54.559
	下 Down	11.7	10.0	125.725	7.9	7.5	48.326
	平均 Mean	10.7	8.6	93.429	7.8	6.6	42.904
11	上 Up	12.7	11.4	153.418	10.3	9.4	98.604
	中 Middle	12.8	10.9	147.313	11.3	9.9	111.357
	下 Down	12.5	12.1	159.522	12.2	10.3	124.201
	平均 Mean	12.7	11.5	153.418	11.3	9.9	111.387
14	上 Up	13.5	12.4	184.206	10.6	10.4	114.589
	中 Middle	13.8	12.9	189.170	12.2	11.2	129.601
	下 Down	14.9	14.7	238.097	12.3	11.3	145.560
	平均 Mean	14.1	13.3	203.824	11.7	11.0	129.917

3.3.2 树高生长量 由表 3 可知: 8, 11 和 14 年生

秃杉林平均树高依次为 8.63, 11.47 和 13.33 m, 年

平均生长量为 0.95 ~ 1.08 m, 也达到速生标准。比相同环境条件 8、11 和 14 年生杉木林分(6.63、9.90 和 11.93 m) 依次提高 30.2%、15.9% 和 11.7%。3 个年龄平均值提高 17.4%。2 种林分 3 个林龄平均胸径的差异性显著检验结果表明: $t = 1.561 < t_{0.05} = 2.131$, 差异均不显著, 存在这一现象的原因, 可能与秃杉尚未进入高生长速生期有关。2 种林分 3 个坡位平均树高的方差分析结果表明: $F = 0.321 \sim 0.647 < F = 5.143$, 差异不显著。

3.3.3 林分蓄积量 由表 3 可知: 8、11 和 14 年生秃杉林平均立木蓄积量依次为 93.308、153.418 和 203.824 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 相应比杉木林分(42.904、111.387 和 128.917 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 依次提高 117.5%、37.7% 和 56.9%, 平均提高 58.6%。2 种林分 3 个林龄平均蓄积量的差异性显著检验结果表明: $t = 2.493 > t_{0.05} = 2.131$, 达到显著水平。显然, 秃杉引种对提高林分生产力的效果相当显著。2 种林分 3 个坡位平均蓄积量的方差结果表明: $F = 0.260 \sim 0.417 < F = 5.143$, 差异不显著。

4 结论与讨论

在广西南丹县境内的杉木林采伐迹地上引种秃杉, 分别对 8、11 和 14 年生 3 个不同年龄的秃杉林与同立地相同年龄的杉木连栽林的土壤理化性质及林木生长量进行对比研究。结果表明: 在该区域引种秃杉, 对解决杉木连栽引发的地力衰退及生物生产力下降具有重要意义, 并可丰富造林树种。本研究仅在广西北部南丹县山口林场海拔 859 ~ 1123 m 进行秃杉引种对比试验, 存在一定的局限性。因此, 应扩大秃杉引种区域范围以及综合系统的研究, 例如在全区范围内进行不同地理区域以及垂直带谱的对比试验, 深入开展秃杉优树的选择与无性系的繁育、林木营养器官与土壤营养元素的同步跟踪监测、配方施肥试验与密度控制等系统研究, 筛选出广西地区的最适宜引种栽培区和适宜栽

培区。

参 考 文 献

- 方 晰, 田大伦, 秦国宣, 等. 2009. 杉木林采伐迹地连栽和撂荒对林地土壤养分与酶活性的影响. 林业科学, 45(12): 65-71.
- 广西林业勘测设计院, 广西农学院林学院. 1996. 森林调查手册. 南宁: 广西科学技术出版社, 22-29.
- 何 斌, 黄恒川, 黄承标, 等. 2008. 秃杉人工林营养元素含量、积累与分配特征的研究. 自然资源学报, 23(5): 903-910.
- 何 斌, 黄承标, 韦家国, 等. 2009. 不同林龄秃杉人工林凋落物储量及其持水特性. 东北林业大学学报, 37(3): 44-46.
- 梁宏温, 黄恒川, 黄承标, 等. 2008. 不同树龄秃杉与杉木人工林木材物理力学性质的比较. 浙江林学院学报, 25(2): 137-142.
- 罗云建, 张小全. 2006. 多代连栽人工林碳贮量的变化. 林业科学研究, 19(6): 791-798.
- 孙启武, 杨承栋, 焦如珍. 2003. 江西大岗山连栽杉木人工林土壤性质的变化. 林业科学, 39(3): 1-5.
- 吴庆标, 黄承标, 黄恒川, 等. 2008. 杉木连栽迹地改植秃杉的经济效益分析. 林业经济问题, 28(2): 95-98.
- 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 2004. 杉木人工林土壤有机质研究. 应用生态学报, 15(10): 1947-1952.
- 杨玉盛, 张其水, 黄宝龙. 2000. 杉木多世代连栽的土壤水分和养分变化. 南京林业大学学报, 24(2): 25-28.
- 杨玉盛, 邱仁辉, 何宗明, 等. 1998. 不同栽杉代数 29 年生杉木林净生产力及营养元素生物循环的研究. 林业科学, 34(6): 3-11.
- 俞元春, 邓西海, 盛炜彤, 等. 2000. 杉木连栽对土壤物理性质的影响. 南京林业大学学报, 24(6): 36-40.
- 中国科学院南京土壤研究所. 1978. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社.
- Dell B, Malajczuk N, Grove T. 1995. Nutrient disorders in plantation *Eucalypts*. Canberra: ACIAR Monograph 31.
- Dosskey M G, Bertsch P M. 1997. Transport of dissolved organic matter through a sandy forest soil. Soil Science Society of America, 61: 920-927.
- James W, McLaughlin J, Jeffrey C L, et al. 1994. Soil factors related to dissolved organic carbon concentrations in a black spruce swamp, Michigan. Soil Science, 158(6): 454-464.

(责任编辑 于静娴)