

马尾松产脂量与树体因子关系研究

安 宁^{1,2}, 丁贵杰^{1*}, 谌红辉², 农 友², 黄德卫²

(1. 贵州大学 林学院/贵州省森林资源与环境研究中心, 贵州 贵阳 550025; 2. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

摘 要:采用长期定位观测, 定时、定株收获的方法, 研究了马尾松胸径、树高、冠幅和年龄对产脂量的影响。结果表明: 1) 产脂量随着径级的增大而增加, 二者呈正相关关系, 不同年龄同径级产脂量差异不显著; 2) 产脂量随着树高的增大而增加; 3) 产脂量与各树体因子相关性分析得出: 胸径>冠幅>树高>枝下高, 相关系数分别为 0.749、0.686、0.545 和 -0.147; 4) 产脂量随着年龄的增大而增加, 且 4 种年龄的产脂量存在显著差异。

关键词:马尾松; 产脂量; 胸径; 树高

中图分类号:S791.248 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)03-0106-05

Relationship between Resin Yield and Tree Factors of *Pinus massoniana*

AN Ning^{1,2}, DING Gui-jie^{1*}, CHEN Hong-hui², NONG You², Huang De-wei²

(1. College of Forestry/Institute for Forest Resources & Environment of Guizhou, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;
2. The Experimental Centre of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang, Guangxi 532600, China)

Abstract: Based on long-term positioning observation, timing and individual plant harvest, influences of diameter class, tree height, crown width and age were studied on resin yield of *Pinus massoniana*. The results showed that 1) resin yield increased with the increase of diameter class, resin yield of different ages had no significant difference in similar diameter class; 2) Resin yield increased with the increase of tree height; 3) The correlation analysis indicated that the impacts of tree body factors on resin yield were in the order of diameter class > crown width > tree height > height under branch, with correlation coefficients of 0.749, 0.686, 0.545 and -0.147, respectively; 4) Resin yield increased with the increase of tree age, and there were significant differences in resin yield among four age groups.

Key words: *Pinus massoniana*; resin yield; diameter class; tree height

松脂是松树针叶经过光合作用生成的糖类, 经过一系列复杂的生化反应, 在薄壁细胞中产生的代谢产物。主要由树脂酸和萜烯组成, 此外还含有少量杂质和水分。松脂经过蒸馏去杂质可制成松香和松节油, 二者均是重要的化学工业原料, 松香广泛应用于造纸、食品、医疗和电子等领域, 松节油可用于合成香料和溶剂等^[1]。影响产脂量大小的因素有气象因子、营林措施、采脂技术以及遗传特性等^[2-5]。

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国南方主要的造林树种, 具有分布广、面积大、速生丰产等特点, 同

时又是采割松脂的主要树种^[6]。近年随着南方珍贵树种的发展及病虫害的频发, 造成马尾松可采脂人工林面积的减少, 松脂产量已不能满足林产化工业的需求, 提高产脂林的经营技术水平及营建马尾松产脂原料林势在必行。以往对马尾松的研究都集中在栽培技术、生理生化以及遗传育种等方面^[7-14], 而在马尾松人工林产脂方面所做的研究相对薄弱^[15-18], 尤其在马尾松产脂量与测树因子之间的关系鲜有报道^[19], 在生产中发现, 马尾松不同单株产脂量存在显著差异, 因此, 有必要对产脂量的差异与

收稿日期: 2017-06-08 修回日期: 2017-10-24

基金项目: 热带马尾松高产脂及材脂兼用林培育技术研究(2015BAD09B0102-3); 八桂学者岗位项目“松树资源培育及产业化关键技术创新”; 广西友谊森林生态系统国家定位观测站基金资助。

作者简介: 安 宁, 男, 博士研究生, 工程师, 研究方向: 马尾松产脂林培育技术。E-mail: 14649372@qq.com

* 通信作者: 丁贵杰, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 森林培育和人工林稳定性。E-mail: gjdinggz@126.com

树体因子之间是否存在相关性进行研究,研究结果将完善马尾松高产脂优树选择的技术指标,丰富马尾松产脂林培育技术体系。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在广西友谊关森林生态系统国家定位观测站区域内的伏波实验场,为人工营造的马尾松纯林,前茬杉木,主伐后明火炼山。地理位置 106°43'E,22°06N',海拔 500~550 m,低山地貌,年平均气温 19.5℃,年降水量 1 500 mm,属于南亚热带季风气候区。土壤为花岗岩发育成的红壤,土层厚度>1 m,腐殖质厚度>10 cm。

1.2 试验设计及方法

在 18 a 林分中将密度调控为 A:450 株·hm⁻²,B:600 株·hm⁻²,C:750 株·hm⁻²,D:900 株·hm⁻²,E:1 050 株·hm⁻²,重复 3 次,共 15 个小区,每个小区面积 600 m²。在 14、16、18、20 a 人工林选取立地条件相近的林分,密度调控为 900 株·hm⁻²,重复 3 次,共 12 个小区,每个小区面积 600 m²。在密度试验林及不同年龄试验林选取 14、16、18、20、22、24、26、28、30 径级进行产脂量对比试验。

收获时单株称重,采用“下降式”采脂法,具体方法见参考文献[18]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 软件对数据进行统计分析并绘制图表,运用 SPSS16.0 对数据进行方差分析^[20]。

2 结果与分析

2.1 胸径对产脂量的影响

由表 1 看出,单株年产脂量在 5 种密度和 4 个年龄中都随着径级的增大而增加,同径级产脂量在不同密度和不同年龄中差异不显著。密度 B(600 株·hm⁻²)从 14 径级到 30 径级,产脂量依次为 0.70、1.58、2.30、2.53、3.19、3.71、4.23、5.01 kg 和 5.97 kg,产脂量随着径级增大而增加,在其他密度中存在同样规律;14 径级在 5 种密度年产脂量分别为 0.79、0.70、0.72、0.78 kg 和 0.73 kg,之间差异不显著,产脂量在其他径级存在同样规律;不同年龄产脂量在同径级中差异不显著。呈现此规律是因为,在相同的采割负荷率下采脂,同径级割破的树脂道数量基本相同,因而产脂量差异不显著;而径级越大,割破的树脂道数量越多,因而产脂量越大。

表 1 不同密度和不同年龄各径级产脂量
Table 1 Resin yield of different diameter classes in different density and different ages kg

径级	密度					年龄/a			
	A	B	C	D	E	14	16	18	20
14	0.79±0.01	0.70±0.02	0.72±0.04	0.78±0.03	0.73±0.03	0.64±0.06	0.71±0.07	0.73±0.05	—
16	1.49±0.12	1.58±0.11	1.52±0.03	1.33±0.17	1.79±0.12	1.43±0.10	1.52±0.09	1.55±0.13	—
18	2.27±0.15	2.30±0.19	2.40±0.05	2.25±0.11	1.89±0.23	1.94±0.17	2.15±0.15	2.18±0.18	2.01±0.22
20	2.39±0.20	2.53±0.13	2.43±0.12	2.65±0.22	2.61±0.21	2.23±0.21	2.47±0.28	2.56±0.17	2.42±0.22
22	3.42±0.17	3.19±0.25	2.53±0.18	3.31±0.09	3.32±0.14	3.11±0.24	3.39±0.19	3.05±0.13	3.65±0.13
24	3.89±0.18	3.71±0.22	3.68±0.17	3.90±0.23	3.57±0.19	3.71±0.20	3.65±0.17	3.72±0.24	3.90±0.29
26	4.15±0.23	4.23±0.15	4.08±0.19	4.46±0.09	3.91±0.15	4.09±0.19	4.37±0.23	4.15±0.19	4.73±0.11
28	4.36±0.22	5.01±0.29	4.47±0.26	4.82±0.11	5.19±0.27	4.62±0.29	4.73±0.31	4.83±0.21	4.98±0.28
30	6.32±0.17	5.97±0.25	5.82±0.22	6.13±0.29	5.56±0.23	5.83±0.16	6.16±0.27	5.84±0.18	6.23±0.21

不同密度各径级产脂量进行方差分析得出(表 2):各径级产脂量存在显著差异(Sig=0.000<<0.05),相关分析得出:18 径级与 20 径级差异不显著(Sig=0.821>0.05),其他径级之间均存在显著

差异;对不同年龄各径级产脂量方差分析得出(表 2):各径级产脂量存在显著差异(Sig=0.000<<0.05),18 径级与 20 径级差异不显著(Sig=0.207>0.05),而其他径级之间均存在显著差异。

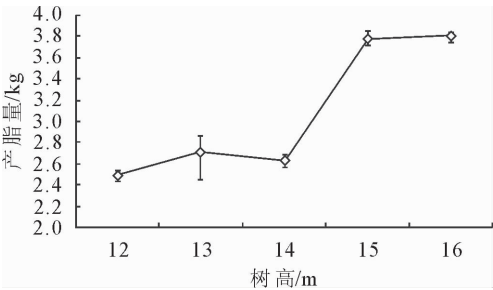
表 2 不同密度和不同年龄各径级产脂量方差分析及相关分析
Table 2 Variance analysis and correlation analysis of resin yield of different diameter classes in different density and different ages

方差分析			相关分析		
	密度(A~E)	年龄(14~20 a)		密度(A~E) 18~20 径级	年龄(14~20 a) 18~20 径级
F	253.58	482.31	MD	-0.300 0	-0.330 0
Sig	0.000	0.000	Sig	0.821	0.207

注:表中相关分析仅列出差异不显著的对比。

2.2 树高对产脂量的影响

年龄相同的林分,取树高 12.0~16.9 m 进行分析,12~16 m 年产脂量依次为 2.49、2.71、2.63、3.78 kg 和 3.79 kg,整体规律为产脂量随着树高的增大而增加(图 1)。这是因为在树体因子中,胸径对产脂量的影响最大,在其他因素一致的情况下,树越高,说明树木营养健康状况更好,生长越旺盛,作为新陈代谢产物的松脂产量也越大。



注:12 m(12.0~12.9 m),13 m(13.0~13.9 m),14 m(14.0~14.9 m),15 m(15.0~15.9 m),16 m(16.0~16.9 m)。

图 1 不同树高马尾松产脂量

Fig.1 Resin yield of different tree heights

2.3 冠幅对产脂量的影响

由表 3 得出,剔除胸径、树高和枝下高的影响,产脂量与冠幅相关系数为 0.308, Sig = 0.04 < 0.05,说明不同冠幅产脂量有差异,但未达到显著水平。冠幅大小能反映树木的营养状况,冠幅越大,说

明个体竞争力更强,能获得更多的光照,进而新陈代谢产物的产脂量也越大。

产脂量与胸径、树高、冠幅和枝下高的相关性由大到小为:胸径>冠幅>树高>枝下高,相关系数依次为:0.749、0.686、0.545 和 -0.147。胸径在各树体因子中对产脂量的影响最大,胸径、树高和冠幅两两相关系数也都>0.400,说明各因子之间关系密切。而产脂量与枝下高呈负相关,相关系数为 -0.147。说明枝下高越高,产脂量反而越低,这是因为在同样树高情况下,枝下高越高,冠高越小,能有效进行光合作用的树冠表面积就越小,因此产脂量也越低。

2.4 年龄对产脂量的影响

从图 2 和图 3 中可以看出,单位面积(hm²)年产脂量和单株年产脂量都随着年龄的增大而增加,呈正相关关系。14 a 每公顷年产脂量为 1173.84 kg,16、18、20 a 相比 14 a 分别增长了 47.03%、45.67%和 56.21%;从 14~20 a,单株年产脂量依次为:1.67、2.87、2.84 kg 和 3.05 kg。这是因为在立地条件相一致的环境中,年龄越大,树木生长量越大,林分平均径级越大,在相同的采割负荷率下,割破的树脂道越多,因而产脂量也越大;同时年龄越大,林分平均树高越高,可接受更好的光照,光合作用越旺盛,树木的生长势越强,作为代谢产物的松脂产量也越多。

表 3 产脂量与胸径、树高、冠幅和枝下高的相关分析

Table 3 The correlation analysis of resin yield with diameter class,tree height,crown width and height under branch

控制变量		产脂量	胸径	树高	冠幅	枝下高
产脂量		1.000	0.749	0.545	0.686	-0.147
	Sig.	—	0.000	0.000	0.000	0.168
	df	0	87	87	87	87
胸径		0.749	1.000	0.651	0.674	0.001
	Sig.	0.000	—	0.000	0.000	0.990
	df	87	0	87	87	87
树高		0.545	0.651	1.000	0.425	0.214
	Sig.	0.000	0.000	—	0.000	0.044
	df	87	87	0	87	87
冠幅		0.686	0.674	0.425	1.000	-0.272
	Sig.	0.000	0.000	0.000	—	0.010
	df	87	87	87	0	87
枝下高		-0.147	0.001	0.214	-0.272	1.000
	Sig.	0.168	0.990	0.044	0.010	—
	df	87	87	87	87	0
胸径 & 树高 & 枝下高	产脂量	1.000			0.308	
	Sig.	—			0.04	
	df	0			84	
冠幅		0.308			1.000	
	Sig.	0.04			—	
	df	84			0	

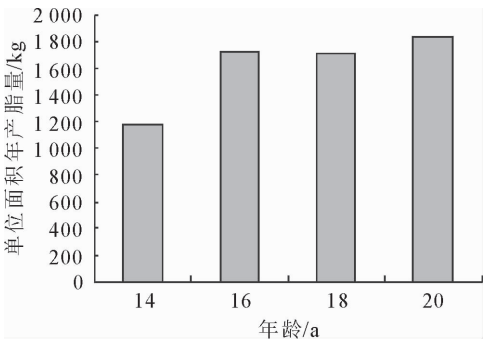


图 2 不同年龄单位面积年产脂量

Fig. 2 Annual resin yield of per hectare of different ages

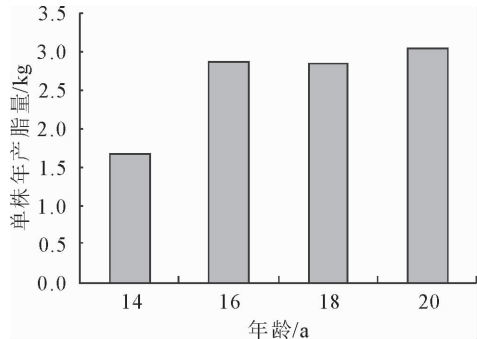


图 3 不同年龄单株年产脂量

Fig. 3 Annual resin yield of per plant of different ages

表 4 不同年龄多重比较检验

Table 4 Multiple comparison of different ages

林龄	14~16 a	14~18 a	14~20 a	16~18 a	16~20 a	18~20 a
MD	-183.98*	-178.63*	-219.99*	5.35	-36.01	-41.36*
Sig.	0.000	0.000	0.000	0.823	0.158	0.000

注：* 表示存在显著差异。

并未考虑树冠的均匀性对产脂量的影响,需要在以后的试验中进行验证。对 4 种树体因子进行相关系分析,相关性由大到小依次为:胸径>冠幅>树高>枝下高,相关系数依次为:0.749、0.686、0.545 和 -0.147,胸径对产脂量的影响最大,反映出在生产中产脂林合理保留密度的重要性,同时,胸径、冠幅、树高和枝下高均可作为马尾松高产脂优树选择的参考指标。

马尾松产脂量与采脂年龄呈正相关,随着年龄的增大而增加。年龄对产脂量的影响,是通过对胸径、树高、冠幅等方面的影响实现的。因为马尾松年龄越大,意味着生长量更大,树体各项指标越好,因而产脂量也越高^[4]。在生产实际中,采脂年龄过小进行采割松脂对树木影响较大,往往不能获得较高的松脂效益,反而会造成林木生长的衰退,甚至死亡。综合考虑生产成本及经济效益,目前一致认为马尾松采脂林在 18 a 开始采割松脂为宜^[25]。

从表 4 分析得出:不同年龄的产脂量存在显著差异($Sig=0.000<<0.05$)。多重比较结果可知,16 a 与 18 a、16 a 与 20 a 产脂量差异不显著,其他年龄之间均产脂量均存在显著差异。16 a 与 18 a 在单位面积产脂量和单株产脂量上都无明显差异,原因是中等立地及相同的抚育措施下,二者生长量数据相近,因而产脂量也差异很小。

3 结论与讨论

松属群体家系间在胸径、树高、产脂力等方面都存在丰富的变异^[21-23],而产脂力与胸径、树高等生长性状间存在较高的正相关^[24]。同径级的产脂量不受密度和年龄的影响,即不同密度和不同年龄的马尾松,同径级的产脂量差异很小。产脂量与径级呈正相关,随着径级的增大而增加,与前人研究结果相一致^[25-28]。马尾松过小径级进行采割松脂会严重影响林木的生长,过大径级采割松脂又会造成资源的浪费。结合以往的研究确定马尾松采脂林达到 18 径级就可以进行采割松脂,实现松脂效益的最大化。树高对产脂量的影响要低于胸径和冠幅^[3],对产脂量的影响是伴随着胸径和冠幅的影响,产脂量随着树高的增高而增加。试验中只考虑了树冠的大小,

参考文献:

[1] 宋湛谦. 二十一世纪世界松香松节油产业发展趋势和对策[J]. 林产化工通讯, 2000, 34(1): 16-21.
SONG Z Q. Developing trend of rosin and turpentine industry in 21th century and strategy for its futher development[J]. Journal of Chemical Industry of Forest Products, 2000, 34(1): 16-21. (in Chinese)
[2] 王长新. 马尾松采脂量的相关因子分析[J]. 河南科技大学学报:农学版, 2004, 24(3): 22-25.
WANG C X. Correlative analysis between the factors and oleo-resin output of *Pinus massoniana* [J]. Journal of Henan University of Science and Technology: Agricultural Science, 2004, 24(3): 22-25. (in Chinese)
[3] 蔡树威, 龙伟, 杨章旗. 马尾松不同种源采脂量与树体因子关系的研究[J]. 广西林业科学, 2006(Supp. 1): 18-19.
[4] 李爱民, 全妙华, 牛友芽, 等. 马尾松松脂产量影响因素研究进展[J]. 湖南林业科技, 2008, 35(1): 58-59.
[5] 魏永成, 刘清华, 周志春, 等. 不同产脂量马尾松无性系木质部树脂道结构差异[J]. 林业科学, 2016, 52(7): 38-45.
WEI Y C, LIU Q H, ZHOU Z C, et al. Structural differences of xylem resin canals among *Pinus massoniana* clones with different resin yield [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(7): 38-45.

(in Chinese)

[6] 周政贤. 中国马尾松[M]. 北京:中国林业出版社,2001:14.

[7] 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.
CHEN H H,DING G J. Study on planting density effects for masson pine plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40 (1):92-98. (in Chinese)

[8] 丁贵杰. 马尾松人工纸浆材林采伐年龄初步研究[J]. 林业科学,2000,36(1):15-20.

[9] 周志春,李光荣,黄光霖,等. 马尾松木材化学组分的遗传控制及其对木材育种的意义[J]. 林业科学,2000,36(2):110-115.

[10] 姚瑞玲,丁贵杰. 不同密度马尾松人工林凋落物及养分归还量的年变化特征[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30 (5):83-86.
YAO R L,DING G J,WANG Y. The annual variation feature of litter and nutrient restitution in different density *Pinus massoniana* plantation[J]. Journal of Nanjing Forestry University, Natural Sciences Edition, 2006,30(5):83-86. (in Chinese)

[11] 姜鹏,孟京辉,陆元昌,等. 马尾松近自然改造初期的混交度与分布格局[J]. 西北林学院学报,2014,29(5):147-150,155.
JIANG P,MENG J H,LU Y C,*et al.* Minglings and spatial distribution of *Pinus massoniana* plantation in the initial stage of near-nature transformation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014,29(5):147-150,155. (in Chinese)

[12] 安宁,丁贵杰,湛红辉. 林分密度及施肥对马尾松产脂量的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2010,30(9):46-50.
AN N,DING G J,CHEN H H. The effect of stand density and fertilization on resin yield of *Pinus massoniana*[J]. Journal of Central South University of Forestry& Technology, 2010,30(9):46-50. (in Chinese)

[13] 陆晓辉,丁贵杰,陆德辉. 人工调控措施对马尾松凋落叶分解速率的影响[J]. 西北林学院学报,2017,32(1):25-29,53.
LU X H,DING G J,LU D H. Impact of different control measures on needle litter decomposition rate under pure *Pinus massmiana* forest[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017,32(1):25-29,53. (in Chinese)

[14] 丁波,丁贵杰,张耀荣. 密度调控对马尾松人工林生态系统碳储量的影响[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):197-203.
DING B,DING G J,ZHANG Y R. Effects of density regulation on carbon storage of *Pinus massoniana* plantation ecosystem[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31 (3):197-203. (in Chinese)

[15] 杨章旗. 马尾松不同年龄产脂量及松香组分分析[J]. 林业科学,2014,50(6):147-151.
YANG Z Q. Comparative study on the resin yield and rosin components of *Pinus massoniana* superior provenances among different ages[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(6):147-151. (in Chinese)

[16] 梁忠云,陈海燕,沈美英,等. 广西优良品种马尾松松脂的化学组成[J]. 林产化工通讯,2002,36(5):8-10.
LIANG Z Y,CHEN H Y,SHEN M Y,*et al.* Study on chemical constituents of oleoresin from high quality *Pinus massoniana* in Guangxi[J]. Journal of Chemical Industry of Forest Products. 2002,36(5):8-10. (in Chinese)

[17] 安宁,丁贵杰. 广西马尾松松脂的化学组成研究[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(3):59-62.
AN N,DING G J. Study on chemical constituents of oleoresin from *Pinus msssoniana* in Guangxi[J]. Journal of Central-South University of Forestry & Technology, 2012,32(3):59-62. (in Chinese)

[18] 祝志勇,于建云. 生态因子对马尾松产脂的影响初探[J]. 华东森林经理,2002,16(3):36-37.

[19] 陈广财,余济云,陆禹,等. 高峰林场马尾松产脂量的影响因子分析[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(6):40-45.
CHEN G C,SHE J Y,LU Y,*et al.* Correlative analysis between the factors and resin yield of *Pinus massoniana* in Gaofeng forest farm[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016,36(6):40-45. (in Chinese)

[20] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[21] ROBERDS,J H,STROM B L,HAIN F P,*et al.* Estimates of genetic parameters for oleoresin and growth traits in juvenile loblolly pine[J]. Can. J. for Res. ,2003,33 (12):2469-2476.

[22] TADESSE W,NANOS N,AUNON F J,*et al.* Evaluation of high resin yielders of *Pinus pinaster* Ait. [J]. For. Gen. , 2001,8(4):271-278.

[23] FRIES A,ERICSSON T,GREF R. High heritability of wood extractives in *Pinus sylvestris* progeny tests[J]. Can. J. for Res. ,2000,30(11):1707-1713.

[24] 刘青华,周志春,范辉华,等. 马尾松产脂力与生长性状的家系变异及优良家系早期选择[J]. 林业科学研究,2013,26(6):686-691.

[25] 舒文波,杨章旗. 马尾松不同采脂年龄和径级产脂量变化特点研究[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(11):39-43.
SHU W B,YANG Z Q. Changing law of *Pinus massoniana* with different resin tapping age and diameter[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011,31 (11):39-43. (in Chinese)

[26] 朱永安,刘海仓,刘菊花. 湿地松产脂量与直径的相关关系研究[J]. 湖南林业科技,2001,28(2):41-43.

[27] 翁海龙,贾红亮,陈宏伟,等. 思茅松高产脂优树产脂量相关因子分析[J]. 东北林业大学学报,2008,36(11):69-70.
WENG H L,JIA H L,CHEN H W,*et al.* Factors influencing resin yield of high yield rosin *Pinus kesiya* var. *langbianensis* [J]. Journal of Northeast Forestryun University, 2008, 36 (11):69-70. (in Chinese)

[28] 谢善高,郑小贤,刘洪,等. 马尾松产脂量密度效应的初步研究[J]. 福建林业科技,2009,36(1):31-34.