

六盘山林区华北落叶松林测树因子相关性分析

王正安, 余治家*, 马杰, 余萍, 李颖, 贾宝光 (宁夏农林科学院固原分院, 宁夏固原 756000)

摘要 [目的]对宁夏林区华北落叶松人工林树高-胸径等林分特征结构进行相关性分析。[方法]采用野外观测的方法,得到华北落叶松人工林树高、胸径、冠幅等林分结构特征指标。[结果]冠幅-胸径存在极弱相关,树高-胸径最优曲线模型为 $H=2.411+1.425D-0.039D^2+0.000427D^3$ (H 为树高, D 为胸径),树高-冠幅最优曲线模型为 $H=0.299G^{0.814}$ (H 为树高, G 为冠幅),材积-胸径最优曲线模型为 $V=0.000204D^{2.406}$ (V 为材积, D 为胸径)。[结论]幂函数曲线模型能够很好地拟合胸径-材积相关性 ($R^2=0.957$),所选最优曲线模型 $V=0.000204D^{2.406}$ 可用于估算华北落叶松人工林胸径、材积的值,从而提高模型预测能力。

关键词 华北落叶松林;树高;胸径;曲线模型

中图分类号 S791.22 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)03-0112-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.03.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Correlation Analysis of *Larix principis-rupprechtii* Tree-measuring Factors in Liupan Mountain Area

WANG Zheng-an, YU Zhi-jia, MA Jie et al (Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Guyuan, Ningxia 756000)

Abstract [Objective] To study the regression equation of height-DBH relationship of *Larix principis-rupprechtii* plantation in Liupanshan, Ningxia. [Method] Based on the experimental method of field observation, the stand structure indexes of *L. principis rupprechtii* plantation were obtained, such as height, DBH and crown width. [Result] There was a very weak correlation between crown width and DBH. The optimal curve model of tree height and DBH was $H=2.411+1.425D-0.039D^2+0.000427D^3$ (H was tree height, D was DBH), $H=0.299G^{0.814}$ (H was tree height, G was crown width), and $V=0.000204D^{2.406}$ (V was volume, D was DBH). [Conclusion] The power function curve model can fit the DBH volume correlation well ($R^2=0.957$), and the curve model $V=0.000204D^{2.406}$ can be used to estimate the DBH and volume of *Larix principis-rupprechtii* plantation, so as to improve the prediction ability of the curve model.

Key words *Larix principis-rupprechtii*; Tree height; DBH; Curve model

树高、胸径和冠幅是表征林分生长健康状况数量和质量的重要指标,在森林资源调查和森林经营中是重要的测量因子^[1]。常用的研究树高与胸径等模型有线性模型、对数曲线模型、二次曲线模型、复合曲线模型、幂函数曲线模型和增长曲线模型等^[2]。目前,国内外专家及学者对华北落叶松树高-胸径等林分结构的研究已作了大量工作,并取得了一定成果。马小欣等^[3]对沿坝地区华北落叶松胸径-树高的生长状况研究认为华北落叶松在该地域最佳胸径-树高模型为 $H=1.929D^{0.734}$ 。何腾飞^[4]在对内蒙古旺业甸林场天然次生林华北落叶松解析木的研究中得到天然次生林华北落叶松的胸径、树高、材积最优模型分别为 $D=17.736e^{-39.426\alpha-1.359}$ 、 $H=14.931\times(1-e^{-0.094\alpha})^{2.455}$ 、 $V=0.108e^{-12.519\alpha-0.120\alpha}$ 。席常新等^[5]对木兰围场30年生的华北落叶松树高和胸径的研究表明,二者存在极显著相关,而12、15年生差异并不显著。田军^[6]通过对华北落叶松胸径与树高进行统计分析,得出胸径与树高的最佳线性回归方程为 $y=3.0425x^{0.4467}$ 。余杨春等^[7]通过研究得出华北落叶松的胸径、树高、材积总生长量随着林龄增长呈明显的上升趋势,胸径、树高连年生长量呈明显的波浪型增长趋势。国内对该区域华北落叶松的研究主要集中在土壤层^[8-10]、植被生物量及蒸散^[11-12]、林冠截留^[13]等方

面。对于树高、胸径等林分结构的研究报道较少。华北落叶松林是宁夏六盘山及周边林区最大的人工营造涵养林之一,对华北落叶松人工林生长规律进行探讨,确定华北落叶松不同经营期的合理密度,为其合理经营管理提供理论依据尤为重要。结合野外实测数据,以31年生人工华北落叶松林为研究对象,拟对各生长指标(树高、胸径、冠幅和材积)的生长过程、生长规律进行分析研究,了解华北落叶松人工林生长动态,以期华北落叶松合理经营措施及其森林资源动态监测提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区域地处六盘山区(106°09'~106°30'E,35°15'~35°41'N),位于我国西北地区东部、黄土高原西部,在我国宁夏回族自治区行政区域内,横跨泾源、固原、隆德三县,山脉狭长,山是一座土石质山地,地势呈东南高西北低的趋势;平均海拔在2500m以上,最高峰为位于泾源县境内的米缸山,其海拔为2942m,两侧山脉的海拔变化较大,为1700~2300m。从整个地区的地貌类型来看,具有从六盘山中心的林区到其北侧的边缘地带表现为从石质山地到土石山区再到黄土高原丘陵区的过渡特点。气候类型为中温带半湿润向半干旱过渡带,具有大陆性季风气候特点,春低温少雨,夏短暂多雹,秋阴涝霜早,冬严寒绵长,光照资源丰富。由于地形和森林植被的作用,六盘山年降雨量600~800mm,年平均相对湿度60%~70%,年径流深100~300mm,年均产水量 $20.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$,年径流总量为 $2.1\times 10^8\text{ m}^3$ 。六盘山地处温带草原区的南部森林草原地带,地带性植被为草甸草原和落叶阔叶林,主要树种有华北落叶松、

基金项目 国家重点研发计划项目(2017YFC0504602);宁夏回族自治区财政林业补助资金项目(宁林发[2020]26号);宁夏回族自治区重大专项(QCYL-2018-12);宁夏回族自治区财政林业补助资金项目(宁林发[2018]171号)。

作者简介 王正安(1989—),男,甘肃天水人,研究实习员,从事森林生态水文研究。*通信作者,正高职高级工程师,从事森林生态与生态水文学及森林培育研究。

收稿日期 2020-06-25;修回日期 2020-07-21

油松、华山松、辽东栎、白桦、山桃等。土壤类型呈现出一定的垂直分布规律,其中灰褐土分布最广,约占总面积的94%,在六盘山边缘地区则表现为森林土与黄土相互镶嵌的分布格局。森林覆盖率由过去的28%提高到现在的70%以上,六盘山成为黄土高原名副其实的“绿岛”,为泾河、渭河、清水河等重要的黄河支流提供了充足的水源保障,这里是我国西北地区十分典型和重要的水源涵养林区。

1.2 样地设置 2019年8—11月,选取5个区域具有代表性的典型地段,设置面积均为20 m×20 m的标准样地,对样地内华北落叶松林进行每木检尺,测定其株数、冠幅、胸径、林龄、树高、郁闭度等指标,同时测量并记录各样地的坡度、坡向、海拔等立地特征和草本植被情况,各样地植被生长情况见表1。

表1 样地基本情况

Table 1 Basic characteristics of the sample plots

编号 No.	地点 Place	地理坐标 Geographical coordinates	立地条件 Site conditions				乔木状况 Status of trees				灌木概况 Overview of shrub			草本概况 Overview of herbs			枯落物 厚度 Litter thickness cm
			海拔 Altitude m	坡度 Slope °	坡向 Slope direction	坡位 Slope position	郁闭度 Canopy density %	树木 年龄 Age of trees	胸径 DBH cm	树高 Tree height m	盖度 Cover- age %	高度 Height m	主要 种类 Main types	盖度 Cover- age %	高度 Height cm	主要 种类 Main types	
1	六盘山林 业局王化 南林场	35°22'01.74"N、 106°20'36.06"E	2 241	15	西北坡	中部	0.87	38	20.0	19.9	0.2	2.1	木姜 子等	90	8	苔草+ 冰草	6.2
2	六盘山林 业局二龙 河林场	35°21'28.01"N、 106°18'42.73"E	2 061	—	—	坡底	0.86	36	19.9	19.9	—	—	—	—	—	—	5.5
3	六盘山林 业局西峡 林场	35°30'59.47"N、 106°13'27.48"E	2 336	15	西南坡	坡底	0.77	37	19.4	16.9	—	—	—	100	8	苔草+ 冰草	6.0
4	六盘山林 业局和尚 铺林场	35°40'01.42"N、 106°13'5.41"E	2 325	12	—	坡底	0.78	37	16.3	18.1	0.1	1.5	天目琼 花、金 花忍冬	90	15	苔草+ 冰草	4.5
5	六盘山林 业局挂马 沟林场	35°52'33.64"N、 106°20'50.71"E	2 034	13	—	中部	0.75	35	15.4	13.5	0.1	1.3	刺玫等	—	—	—	4.5

1.3 数据收集和研究方法 通过样地调查,每个区域各设置4个重复样地,采用野外现场调查法对华北落叶松的林分结构指标进行调查。随机抽取六盘山林区中的5个区域,以5个区域作为大林班单元,在5个大班中各设置4个小班,总计20块标准样地,共测树887株样本,得到基本试验数据。使用测树钢围尺于树干1.3 m处量取直径作为胸径;树高使用塔尺测量;使用卷尺分别量取树木东西、南北向的垂直投影,并取平均值作为树木的冠幅。数据采用SPSS 23.0和Excel 2010进行统计分析,得到树高-胸径、冠幅-胸径、树高-冠幅和材积-胸径的相关性。

2 结果与分析

2.1 测树因子统计分析 通过野外现场调查,共测华北落叶松887棵,对华北落叶松测树因子进行统计分析,结果如表2所示。

表2 华北落叶松测树因子统计信息

Table 2 Statistical information on tree-measuring factors of *Larix principis-rupprechtii*

测树因子 Tree-measuring factor	胸径 DBH cm	树高 Tree height m	冠幅 Crown width m
最大值 Maximum	33.7	24.5	6.8
最小值 Minimum	5.6	2.0	0.5
平均值 Average	17.98	17.45	3.22
标准差 Standard deviation	4.78	3.51	1.03

2.2 树高-胸径相关性 从树高-胸径的关系散点图(图1)可以看出,六盘山林区华北落叶松树高与胸径存在着正相关,即胸径随着树高的增加而增长。通过SPSS 23.0的Pearson相关性分析可知, $P=0.000<0.05$, $R^2=0.613^{**}$,表明树高-胸径具有相关性,通过生长模拟曲线(表3)对华北落叶松树树高-胸径的关系进行拟合,所有模型的 R^2 均在0.3~0.4,表明华北落叶松树树高-胸径具有弱相关,且通过回归模型以3次模型拟合效果好于其他模型,表达式为 $H=2.411+1.425D-0.039D^2+0.000427D^3$ (H 为树高, D 为胸径)。

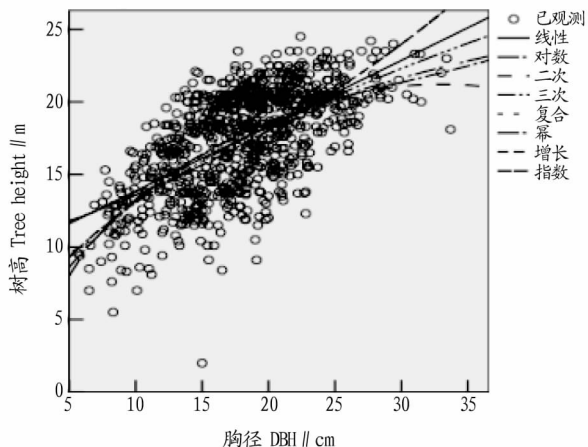


图1 树高-胸径相关模拟曲线

Fig. 1 Simulation curve of tree height-DBH correlation

表3 树高与胸径8种曲线拟合结果

Table 3 8 kinds of curve fitting results of tree height-DBH

序号 No.	模型类型 Model type	R^2	回归方程 Regression equation	F	P
1	线性模型	0.376	$H=9.361+0.450D$	532.873	0.000
2	对数曲线模型	0.395	$H=-4.230+7.607\ln D$	580.021	0.000
3	二次曲线模型	0.395	$H=4.710+1.000D-0.015D^2$	288.711	0.000
4	三次曲线模型	0.396	$H=2.411+1.425D-0.039D^2+0.000427D^3$	192.948	0.000
5	复合曲线模型	0.342	$H=10.218 \times (1.029D)$	459.162	0.000
6	幂函数曲线模型	0.371	$H=4.237D^{0.488}$	522.275	0.000
7	生长曲线模型	0.342	$H=EXP(2.324+0.028D)$	459.162	0.000
8	指数曲线模型	0.342	$H=10.218EXP(0.028D)$	459.162	0.000

注: H 为树高, D 为胸径
Note: H was tree height, D was DBH

2.3 冠幅-胸径相关性 从冠幅-胸径关系散点图(图2)可以看出,六盘山林区华北落叶松树冠幅与胸径呈正相关。通过SPSS 23.0的Pearson相关性分析可知 $P=0.000 < 0.05$, $R^2=0.589^{**}$,表明冠幅和胸径具有相关性,通过生长模拟曲线(表4)对华北落叶松树冠幅-胸径的关系进行拟合,所有模型的 R^2 均在0.4~0.5,表明华北落叶松树冠幅-胸径呈中度相关,其中以幂函数曲线模型拟合较好,表达式为 $G=0.299D^{0.814}$ (G 为冠幅, D 为胸径)。

2.4 树高-冠幅相关性 图3为华北落叶松林树高-冠幅相关模拟曲线散点图。通过SPSS 23.0的Pearson相关性分析可知 $P=0.000 < 0.05$, $R^2=0.217^{**}$,表明冠幅和树高具有相关性,通过生长模拟曲线(表5)对华北落叶松树树高-冠幅的关系进行拟合,所有模型的 R^2 均在0.1~0.2,表明华北落叶松树树高-冠幅呈极弱相关或无相关。

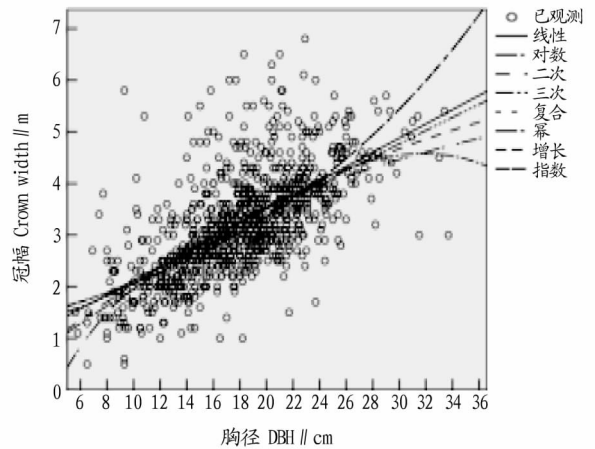


图2 冠幅-胸径相关模拟曲线

Fig. 2 Simulation curve of crown width-DBH correlation

表4 冠幅与胸径8种曲线拟合结果

Table 4 8 kinds of curve fitting results of crown width-DBH

序号 No.	模型类型 Model type	R^2	回归方程 Regression equation	F	P
1	线性模型	0.407	$G=0.745+0.138D$	606.446	0.000
2	对数曲线模型	0.400	$G=-3.193+2.251\ln D$	590.322	0.000
3	二次曲线模型	0.410	$G=0.210+0.201D-0.020D^2$	306.595	0.000
4	三次曲线模型	0.412	$G=1.315-0.030D+0.010D^2+0.000205D^3$	206.109	0.000
5	复合曲线模型	0.431	$G=1.278 \times (1.049D)$	669.716	0.000
6	幂函数曲线模型	0.451	$G=0.299D^{0.814}$	727.937	0.000
7	生长曲线模型	0.431	$G=EXP(0.245+0.048D)$	669.716	0.000
8	指数曲线模型	0.431	$G=1.278EXP(0.048D)$	669.716	0.000

注: G 为冠幅, D 为胸径
Note: G was crown width, D was DBH

通过常见回归模型对华北落叶松林树高-冠幅进行拟合可知,所有模型的 $R^2 < 0.2$,表明华北落叶松树树高-冠幅两因素回归模拟效果较差,使用意义不大。

2.5 材积-胸径相关性 图4显示的是华北落叶松树材积-胸径关系散点图,由图可以初步得知六盘山华北落叶松树材积-胸径呈显著正相关。通过SPSS 23.0的Pearson相关性

分析可知 $P=0.000 < 0.05$, $R^2=0.972^{**}$,表明材积-胸径具有很强的相关性,通过生长模拟曲线(表6)对华北落叶松树材积-胸径的关系进行拟合,所有模型的 R^2 均在0.7以上,根据 $R^2=0.957$,表明华北落叶松树材积-胸径呈极强相关,其中以幂函数曲线模型拟合效果最优,表达式为 $V=0.000204D^{2.406}$ (V 为材积, D 为胸径)。

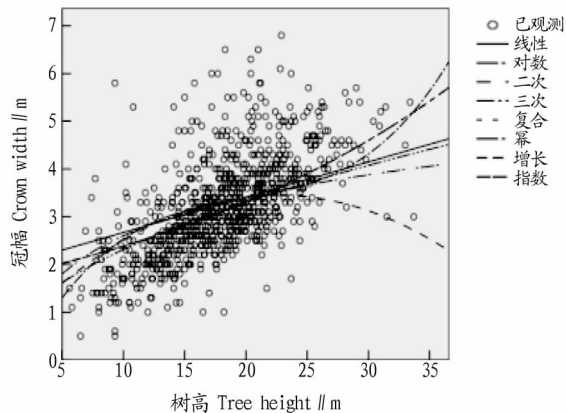


图3 树高-冠幅相关模拟曲线

Fig. 3 Simulation curve of tree height-crown correlation

3 讨论与结论

通过野外调查,共测得华北落叶松 887 棵,对华北落叶松测树因子进行统计分析,胸径的最大值和最小值分别为 33.7、5.6 cm,树高的最大值和最小值分别为 24.5、2.0 m,冠幅的最大值和最小值分别为 6.8、0.5 m。大量研究表明在曲线拟合过程中要有较高的相关系数和较少的参数且符合生物学特性^[14]。该研究选用常用的 8 种树高-胸径、树高-冠幅、冠幅-胸径和材积-胸径模型来模拟六盘山林区主要树种华北落叶松人工林的生长曲线规律,8 种方程中拟合效果最差的为树高-冠幅($R^2 < 0.3$),模拟曲线效果最优的为材积-胸径($R^2 > 0.795$),且通过 Pearson 相关性分析可知 $P = 0.000 < 0.05$, $R^2 = 0.972^{**}$,表明材积-胸径具有很强的相关性,根据胸径计算材积时,幂函数曲线模型是一个不错的选择。

表 5 树高-冠幅 8 种曲线拟合结果

Table 5 8 kinds of curve fitting results of tree height-crown width

序号 No.	模型类型 Model type	R^2	回归方程 Regression equation	F	P
1	线性模型	0.063	$H = 1.932 + 0.0745G$	59.545	0.000
2	对数曲线模型	0.068	$H = -0.072 + 1.162 \ln G$	65.031	0.000
3	二次曲线模型	0.071	$H = 0.409 + 0.269D - 0.006G^2$	33.710	0.000
4	三次曲线模型	0.073	$H = 2.411 + 1.425G - 0.039G^2 + 0.000427G^3$	23.054	0.000
5	复合曲线模型	0.108	$H = 1.715 \times (1.033^G)$	106.789	0.000
6	幂函数曲线模型	0.116	$H = 0.706G^{0.515}$	116.433	0.000
7	生长曲线模型	0.108	$H = \text{EXP}(0.540 + 0.033G)$	106.789	0.000
8	指数曲线模型	0.108	$H = 1.715 \text{EXP}(0.033G)$	106.789	0.000

注: H 为树高, G 为冠幅

Note: H was tree height, G was crown width

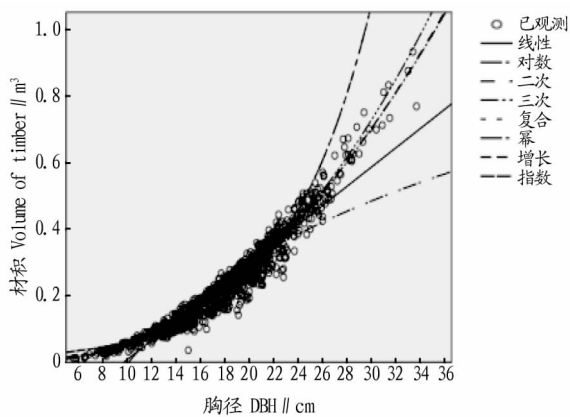


图4 材积-胸径相关模拟曲线

Fig. 4 Simulation curve of volume of timber-DBH correlation

相对于较多的其他研究而言,该研究采用传统的塔尺实测的做法保证了树高测量的精确性,继而保证了材积-胸径拟合关系的可靠性。同时该研究和以往研究相比较而言,采用较大尺度布点选取样木的方式,从不同的区域收集样本容量,因而该研究所得出的材积-胸径曲线有很好的指导作用,能够在该区域上为华北落叶松的生产与研究提供帮助。

该研究以宁夏六盘山区典型林分华北落叶松林为研究对象,对其测树因子树高、冠幅和胸径进行了分析,通过调查华北落叶松测树因子相关性的散点图可以初步判断华北落叶松树高与胸径存在明显的相关性。利用统计学原理,对人工华北落叶松的树高-胸径、冠幅-胸径、树高-冠幅和材积-胸径的相关性分别进行了 8 种曲线回归模型分析,得出冠幅-胸径存在极弱相关,树高-胸径最优回归方程

表 6 材积-胸径 8 种曲线拟合结果

Table 6 8 kinds of curve fitting results of volume of timber-DBH

序号 No.	模型类型 Model type	R^2	回归方程 Regression equation	F	P
1	线性模型	0.908	$V = -0.281 + 0.029D$	8 703.617	0.000
2	对数曲线模型	0.795	$V = -1.031 + 0.446 \ln D$	3 427.839	0.000
3	二次曲线模型	0.956	$V = 0.024 - 0.007D - 0.001D^2$	9 624.002	0.000
4	三次曲线模型	0.956	$V = 0.034 - 0.009D - 0.001D^2 - 0.000002D^3$	6 410.300	0.000
5	复合曲线模型	0.913	$V = 0.150 \times (1.153^D)$	9 256.608	0.000
6	幂函数曲线模型	0.957	$V = 0.000204D^{2.406}$	19 488.573	0.000
7	生长曲线模型	0.913	$V = \text{EXP}(-4.208 + 0.143D)$	9 256.608	0.000
8	指数曲线模型	0.913	$V = 0.015 \text{EXP}(0.143D)$	9 256.608	0.000

注: V 为材积, D 为胸径

Note: V was volume of timber, D was DBH

以看出,旧割口越长,松树树脂分泌下降幅度越大,但旧割口长度在 21 cm 以上时,树脂月产量均在 100 g 以上,但超过 21 cm,树脂产量就急剧下降。通过询问林地主人知道 21 cm 割口长度以上云南松经过了 7~8 a 的割脂(因割口处的树皮有所生长,故比实际造成的割口短)。可以预见这一块云南松林的割脂年限比混交云南松林低。

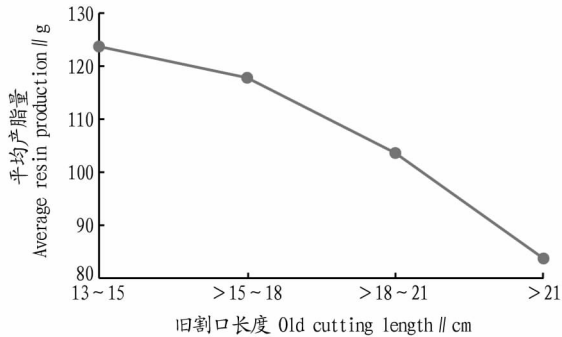


图 6 旧割口长度对云南松产脂的影响

Fig. 6 Effects of old cutting length on the resin production of *P. yunnanensis*

3 讨论

试验地的云南松林是 20 世纪 80 年代开始种植的一块人工林,当初的营造理念和手段相对低下,林分结构不合理,密度过大,后期的抚育管理也未跟上,这导致试验林地的生产力低下,产脂量相对较低,采脂年限也有所降低,这在云南省的云南松林中是一种比较常见的现象。对于低产云南松林,要严格把控松树生长状况指标进行采脂,当树高在 10 m 以上,胸径在 21 cm 以上,冠幅乘积在 100 m² 以上,树皮厚度在 0.6 cm 以上时进行采脂较为适宜。超过 40 a 树龄的云南松不适宜采脂,且要适当缩短采脂年限。

树脂是重要的一种化工原料,目前供不应求,这与云南

松松林培育、抚育不当,采脂不规范,不尊重云南松的产脂规律,不根据其生长状况科学采脂有很大的关系。科学营造林,科学采脂,选育高产脂树种,研发有效的营养型增脂剂是实现云南松树脂产业发展及云南松采脂可持续发展的重要手段。

参考文献

- [1] 李青青,段焰青,叶辉,等. 针叶树对小昆虫的防御机制[J]. 中国森林病虫害,2007,26(6):21-24,44.
- [2] HUDGINS J W,CHRISTIANSEN E,FRANCESCHI V R. Induction of anatomically based defense responses in stems of diverse conifers by methyl jasmonate:A phylogenetic perspective[J]. Tree physiology,2004,24(3):251-264.
- [3] CHENG C H,ZHOU F Y,LU M,et al. Inducible pine rosin defense mediates interactions between an invasive insect-fungal complex and newly acquired sympatric fungal associates[J]. Integrative zoology,2015,10(5):453-464.
- [4] KARST J,ERBILGIN N,PEC G J,et al. Ectomycorrhizal fungi mediate indirect effects of a bark beetle outbreak on secondary chemistry and establishment of pine seedlings[J]. New phytologist,2015,208(3):904-914.
- [5] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2000 年版[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [6] 覃标,吴万方,韦树明. 树脂如何增产[J]. 中国林业,2007(1):58.
- [7] 刘莉,饶小平,宋湛谦,等. 我国松香改性产品及其应用的专利研究新进展[J]. 生物质化学工程,2015,49(2):53-58.
- [8] YU C L,CHEN C W,GONG Q H,et al. Preparation of polymer microspheres with a rosin moiety from rosin ester, styrene and divinylbenzene[J]. Polymer international,2012,61(11):1619-1626.
- [9] GU Y,CHEN Y,ZHAO Z,et al. Study on chromatocytic variation relationships of rosin under high temperature treatment[J]. Advanced materials research,2012,396/397/398:1157-1163.
- [10] 彭慧娟,桑军,王春华,等. 季铵盐的抑菌性及其对原皮防腐效果的研究[J]. 中国皮革,2015,44(9):19-23,38.
- [11] HAN G C,HAN Y,WANG X Y,et al. Synthesis of organic rectorite with novel Gemini surfactants for copper removal[J]. Applied surface science,2014,317(30):35-42.
- [12] 吴征镒,朱彦承,姜汉桥. 云南植被[M]. 北京:科学出版社,1987:17-419.
- [13] 左宋林. 林产化学工艺学[M]. 北京:中国林业出版社,2019.
- [14] 孟宪宇. 测树学[M]. 3 版. 北京:中国林业出版社,2006:23-115.
- [15] 关系研究[J]. 河北林果研究,2013,28(1):23-27.
- [16] 田军. 华北落叶松和樟子松树高与胸径的相关性研究[J]. 安徽农学通报,2011,17(22):72,76.
- [17] 余杨春,袁彩霞. 六盘山华北落叶松人工林生长规律研究[J]. 农业科学,2014,35(3):10-14.
- [18] 王正安,邸利,王彦辉,等. 六盘山叠叠沟小流域 4 种植被土壤层水文调节功能的综合评价[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(11):181-187.
- [19] 杜阿朋,于澎涛,王彦辉,等. 六盘山北侧叠叠沟小流域土壤物理性质空间变异的研究[J]. 林业科学研究,2006,19(5):547-554.
- [20] 张桐. 六盘山林区四种植被类型对土壤物理性质的影响研究[J]. 山西水土保持科技,2019(3):11-13,20.
- [21] 刘彬彬. 六盘山叠叠沟小流域两种典型植被的主要蒸散特征研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2015.
- [22] 刘延惠,王彦辉,于澎涛,等. 六盘山主要植被类型的生物量及其分配[J]. 林业科学研究,2011,24(4):443-452.
- [23] 刘建立,王彦辉,于澎涛,等. 六盘山叠叠沟小流域华北落叶松人工林的冠层降水再分配特征[J]. 水土保持学报,2009,23(4):76-81.
- [24] 耿胜慧,李亚光,蒋航,等. 云蒙山不同密度下橡树胸径与树高的关系研究[J]. 湖南农业科学,2011(13):143-144.

(上接第 115 页)

为 $H=2.411+1.425D-0.039D^2+0.000427D^3$ (H 为树高, D 为胸径), 树高-冠幅最优回归方程为 $H=0.299G^{0.814}$ (H 为树高, G 为冠幅), 材积-胸径最优回归方程为 $V=0.000204D^{2.406}$ (V 为材积, D 为胸径)。

参考文献

- [1] LEI X D,PENG C H,WANG H Y,et al. Individual height-diameter models for young black spruce(*Picea mariana*) and jack pine(*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada[J]. The forestry chronicle,2009,85(1):43-56.
- [2] 王晓林,郭斌. 柞树树高与胸径相关关系的研究[J]. 森林工程,2012,28(6):18-21.
- [3] 马小欣,姜鹏,马娇娇,等. 沿坝地区华北落叶松胸径-树高生长模型的研究[J]. 林业资源管理,2015(1):44-48,105.
- [4] 何腾飞. 华北地区三个主要树种生长模型研究[D]. 北京:北京林业大学,2015.
- [5] 席常新,郭万军,方旭,等. 燕山山地华北落叶松不同测树因子之间的