

# 柚木育苗密度与苗木产量和质量的关系\*

邝炳朝 郑淑珍 罗明雄

**摘要** 采用生物数学方法,研究了柚木育苗密度与小棒槌苗的生长、棒槌状主根段的形成、单位面积苗木产量与质量等关系。用指数函数、幂函数、对数函数等10种曲线方程,建立了35个数学模型以描述其复杂的关系。经分析揭示出:(1)在一定的育苗密度下,土壤肥力较高的尖峰点,苗木地上、地下部分生长与产苗量远不如土壤肥力低的广州点,其差距随密度的增大而增大,主因是点间水热协调性质与日照长短的差异所致;(2)依不同地点生态因素的差异来调控育苗密度,以提高苗木产量和质量远比在同一地点延长育苗时间更为有效;(3)调控好育苗的最适密度,就可取得最好的苗木产量与质量。尖峰点和广州点适宜的育苗密度分别为100~200株/m<sup>2</sup>与300~400株/m<sup>2</sup>。两地相差约3~4个密度级(50株/m<sup>2</sup>为I级)。

**关键词** 柚木小棒槌苗、育苗密度、苗木产量

我国柚木(*Tectona grandis* L. f.)传统的分床移植育苗法着眼于地上部分的生长,以1年生苗高达100 cm以上,根颈直径大于2.5 cm为国家I级苗标准<sup>[1,2]</sup>,而柚木人工林分的质量并不随苗木径级的增大而提高<sup>[3,4]</sup>。世界热带区各国营造柚木人工林多用小棒槌苗(stump)<sup>1)</sup>。其培育技术着重于促进棒槌状主根段的形成,单位面积产苗量相当我国传统分床苗的4~6倍,经济效益提高5.2倍<sup>[3]</sup>。本文旨在我国的自然条件下,研究育苗密度对小棒槌苗生长、苗木产量与质量的影响。

## 1 苗圃的自然条件

### 1.1 海南省乐东县尖峰岭(简称JF)

位于18°42' N,108°49' E,海拔69 m。属热带季风气候带。年均温24.1~25.0℃,≥10℃积温8 549~9 110℃,年雨量1 300~2 000 mm。土壤为砖红壤冲积土、沙壤质,下层含沙砾与卵石,pH5.7~5.8,腐殖质含量0.8%~1.9%,代换盐基总量6.1~7.5 cmol(+)kg<sup>-1</sup>,盐基饱和度77.2%~83.7%。

### 1.2 广东省广州市龙眼洞(GZ)

位于23°06' N,113°18' E,海拔49 m。属南亚热带季风气候带。年均温21.8℃,≥10℃积温7 741℃,年雨量1 638 mm。花岗岩发育的赤红壤,轻粘壤土,pH4.5,腐殖质含量1.6%~2.5%,代换盐基总量0.93~1.82 cmol(+)kg<sup>-1</sup>,盐基饱和度12.5%~16.4%。

1994-08-22 收稿。

邝炳朝研究员,郑淑珍,罗明雄(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

\* 本文为“七五”攻关项目“柚木种源选择研究”课题配套技术试验内容之一。林明平、孙玉香、陈美红等同志分别参与部分育苗与调查工作;潘一峰先生协助作计算机运算,谨致谢意。

1)stump 是国外柚木造林使用的栽植材料,是根颈以下状若棒槌的小段主根,与我国传统的切干苗有很大区别,故译为小棒槌苗。

## 2 研究方法

### 2.1 种子处理

用石灰水浸沤法处理种子,按常规准备圃地。设 25~450 株/m<sup>2</sup> 的 9 个育苗密度级,4 重复、随机排列。1985 年 5 月播种;1991 年又在广州补做了 200~600 株/m<sup>2</sup> 的 4 个密度级。以公斤粒=1 250、场圃发芽率 60%、成苗率 95% 等参数计算播种量。考察指标为苗高( $H$ ),根颈直径( $D_0$ ),主根长度( $MRL$ ),棒槌状主根段直径( $Dst$ ),主根重( $MRW$ ),棒槌苗重( $StpW$ )占全根重( $RTW$ )与全苗重( $sdw$ )的百分率,单位面积产苗量( $Y_N$ )、合格苗百分率( $Y_P$ )和苗木质量( $Gst=Dst/D_0$ ,即棒槌发达程度)。对根系各指标的测定,是从各密度级( $Den$ )中按  $D_0$  径级取样,每 1 径级样品不少于 10 株,进行全根挖掘、冲洗与测量。

### 2.2 数据处理

用生物数学法进行归纳、拟合、建模,对模型进行回归方程的方差分析与  $\chi^2$  检验。

### 2.3 苗期管理

采取:(1)密度调节,按设计要求于胚苗期进行疏密补稀;(2)节制水肥,育苗全过程不施肥,当苗高达 5~10 cm 后节制淋水,以晴天午后不出现较重的萎蔫为度;(3)剪梢,仅施于极少数的“霸王苗”,以解救被其压制的苗木。

## 3 试验结果

### 3.1 育苗密度与苗高和根颈直径的关系

此类关系表现为带截距  $CO$  的幂函数、指数函数 II 型和幂函数回归方程:

$$y = a \cdot x^b + CO \quad (1)$$

$$y = a \cdot e^{b/x} \quad (2)$$

$$y = a \cdot x^b \quad (3)$$

以苗高、根颈直径为  $y$  变量,密度为  $x$  变量,经实测数据拟合得 3 组模型(表 1),其适合性  $F$  值与卡方检验见表 6(下同)。分析表明:①苗高、根颈直径随密度的增大而降低,并与地点间的“环境容纳量”有关; $Den=100\sim 150$  株/m<sup>2</sup> 视作各模型的环境容纳量渐趋饱和的起点,此前苗

表 1 育苗密度与苗高、根颈直径生长的关系

模型 编号	地 点	苗木 生长 天数 (d)	Den (N/m <sup>2</sup> )											平 <sup>②</sup> 均值	数学模型 <sup>①</sup>
			25	50	100	150	200	250	300	400	500	600			
J <sub>01</sub>	JF	240	42.1	25.7	17.7	15.0	13.7	13.0	12.5	11.8	11.5	11.2	16.02	$Y=895.70x^{-1.03}+10$	
J <sub>02</sub>	JF	620	66.2	36.7	27.4	24.8	23.6	22.9	22.5	21.9	21.6	21.4	27.27	$Y=20.37e^{29.475/x}$	
G <sub>03</sub>	GZ	210	70.8	41.9	32.3	29.6	28.3	27.6	27.1	26.5	26.2	26.0	32.00	$Y=28.84e^{26.186/x}$	
			D <sub>0</sub> (cm)												
J <sub>04</sub>	JF	240	1.08	0.72	0.48	0.38	0.32	0.28	0.25	0.21	0.19	0.17	0.36	$Y=7.118x^{-0.585}$	
J <sub>05</sub>	JF	620	1.64	1.01	0.62	0.46	0.38	0.32	0.28	0.23	0.20	0.17	0.46	$Y=15.910x^{-0.706}$	
G <sub>06</sub>	GZ	210	1.58	1.07	0.72	0.57	0.49	0.43	0.39	0.33	0.29	0.26	0.54	$Y=9.673x^{-0.563}$	

注:①各方程的卡方检验与方差分析见表 6(下同);②各模型平均值包括  $Den=350、450、550$  三个未列表的数值(下同)。N=株数(以下表、图中亦同)。

高、根颈直径变化急剧,此后则变化缓慢; $Den \geq 300$  株/ $m^2$  时变化渐趋极限。②模型间的差异表明, $J_{01}$ 模型的环境容纳量较 $G_{03}$ 模型的为窄,密度对苗高、根颈直径的调控作用比 $G_{03}$ 模型少3~4个密度级;(3) $J_{02}$ 模型反映的是苗木生长时间比 $G_{03}$ 模型延长了近2倍,但其苗高、根颈直径的生长水平仍低于 $G_{03}$ 模型(表1、图1、2)。上述两点,揭示出在一定的育苗密度条件下,土壤肥力高的海南尖峰试点,苗木的高、径生长低于土壤肥力差的广州试点。主因是尖峰点春夏干旱、气温高和水热失调(管理上又节制淋水),土壤肥力未能充分利用;广州点则春夏期间水热比较协调,弥补土壤肥力的不足,且纬度较尖峰点高,日照延长,有利于苗木生长。若在苗期管理上对尖峰点的苗木进行适当灌溉,当可改变上述状况。

### 3.2 育苗密度与苗高、径增长率的关系

在广州、尖峰试点,不同的育苗时间相互比较时,苗高、根颈直径的增长率( $\Delta h/H_2, \Delta d/D_{02}$ )随密度呈逻辑斯谛(Logistic)方程<sup>[6]</sup>、对数函数和指数函数1型回归方程分布:

$$y = K/(1 + e^{-bx}) \text{ 或 } \ln(K - y)/y \quad (4)$$

$$y = a + b \cdot \ln x \quad (5)$$

$$y = a \cdot e^{bx} \quad (6)$$

式中 $K$ 是在 $x$ 相当大时, $y$ 所能达到的最大值。以苗高、径增长量为 $y$ 变量,密度为 $x$ 变量,以实测数拟合出如下模型(表2)。各模型反映出育苗密度、时间及地点间主生态因子与苗高、径增长率的复杂关系:(1) $JJ_{10}$ 模型的根颈直径增长率随密度的增大而下降,其余5种模型的高、径增长率则随密度的增大而增加;(2)当 $Den > 100$  株/ $m^2$ 时, $GJ_{09}$ 、 $GJ_{11}$ 模型便渐趋极限;而其余4组模型随密度的递增而增加,至 $Den > 250$  株/ $m^2$ 才开始减弱;(3) $GJ_{08}$ 、 $GJ_{11}$ 模型总体平均值为108.58%与52.83%,分别比 $JJ_{07}$ 、 $JJ_{10}$ 模型高出44.8%与213.7%,表明两地点的环境容纳量差异起了重要作用,而构成环境容纳量的主生态因素的差异已如3.1节中所述(表2,图3、4)。

表2  $H, D_0$  在两个地点(JF、GZ)与不同生长时间( $t$ )下增长率的比较

模型 编号	两种 模型的 比较	$Den$ ( $N/m^2$ )												数学模型
		25	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	平均	
$\Delta h/H_2$ (%)														
$JJ_{07}$	$J_{02}-J_{01}$	49.7	52.9	59.1	64.9	70.2	74.9	78.8	82.2	84.9	88.8	91.3	74.99	$Y = \frac{95}{1 + e^{0.0431 - 0.0054x}}$
$GJ_{08}$	$G_{03}-J_{01}$	67.4	73.0	83.8	93.8	102.6	110.0	116.1	120.8	124.5	129.4	132.0	108.58	$Y = \frac{135}{1 + e^{0.1670 - 0.0066x}}$
$GJ_{09}$	$G_{03}-J_{02}$	7.3	13.0	17.3	19.0	19.1	20.5	20.9	21.2	21.4	21.7	21.9	19.01	$Y = 22.9620e^{-28.600/x}$
$\Delta d/D_{02}$ (%)														
$JJ_{10}$	$J_{05}-J_{04}$	51.2	40.2	29.3	22.9	18.4	14.9	12.0	9.6	7.5	3.9	1.06	16.84	$Y = 101.898 - 15.763 \ln x$
$GJ_{11}$	$G_{06}-J_{04}$	46.7	48.5	50.5	51.6	52.5	53.2	53.7	54.2	54.6	55.3	55.9	52.83	$Y = 38.889 x^{0.0566}$
$GJ_{12}$	$G_{06}-J_{05}$	-6.2	6.2	18.6	25.8	30.9	34.9	38.2	40.9	43.3	47.3	50.5	32.68	$Y = -63.625 + 17.846 \ln x$

### 3.3 育苗密度与根系生长的关系

3.3.1 密度与主根长度和主根段直径的关系 此类关系与苗高、径和密度的关系相似,是随密度的递增而降低,用相同方程(3)、(1)、(2)表达(表3)。主根段直径分析结果:(1) $G_{16}$ 模型 $>$  $J_{15}$ 模型 $>$  $J_{14}$ 模型,表明地点间的差异为9.1%~28.6%;(2) $J_{15}$ 模型 $>$  $J_{14}$ 模型,即延长1.5倍育

苗时间主根段直径增加 17.9%(表 3,图 5、6)。各模型间相互比较的增长率( $\Delta ds/Dst_2$ )可用(4)、(5)方程与如下方程表达:

$$1/y = a + bx \tag{7}$$

拟合的各模型与根颈直径增长率的 3 组模型的趋势与特点一致,唯随密度的增减程度有别(表 3、图 7)。

表 3 育苗密度与根系生长的关系

模型 编号	地 点	苗木 生长 天数 (d)	Den (N/m <sup>2</sup> )											数学模型
			25	50	100	150	200	250	300	400	500	600	平均	
J <sub>13</sub>	JF	240	113.5	87.1	66.8	57.2	51.2	47.0	43.9	39.3	36.1	33.7	53.03	Y=389.094x <sup>-0.383</sup>
			MRL (cm)											
J <sub>14</sub>	JF	240	1.95	1.30	0.95	0.82	0.75	0.71	0.68	0.64	0.61	0.60	0.84	Y=22.152x <sup>-0.848</sup> +0.5
J <sub>15</sub>	JF	620	2.43	1.63	1.16	0.98	0.88	0.82	0.78	0.72	0.69	0.66	0.99	Y=23.808x <sup>-0.780</sup> +0.5
G <sub>16</sub>	GZ	210	2.47	1.43	1.09	0.99	0.95	0.92	0.91	0.89	0.87	0.87	1.08	Y=0.827e <sup>27.378/x</sup>
			Dst (cm)											
JJ <sub>17</sub>	J <sub>15</sub> -J <sub>14</sub>		24.8	23.5	21.2	19.4	17.9	16.6	15.4	13.6	12.1	10.9	16.45	1/Y=0.0382+0.00009x
GJ <sub>18</sub>	G <sub>16</sub> -J <sub>14</sub>		14.6	16.1	19.2	22.5	25.9	29.3	32.5	38.1	42.3	45.3	31.20	Y=50/(1+e <sup>1.0189-0.00546x</sup> )
GJ <sub>19</sub>	G <sub>16</sub> -J <sub>15</sub>		-29.1	-16.4	-3.6	3.9	9.2	13.3	16.6	21.9	26.0	29.4	10.96	Y=-88.457+18.423lnx
			$\Delta ds/Dst_2$ (%)											
J <sub>20</sub>	JF	I (240)	53.0	60.1	63.9	65.3	66.0	66.4	66.7	67.0	67.2	67.4	64.93	Y=68.052e <sup>-6.248/x</sup>
J <sub>21</sub>	JF	II (240)	82.2	86.6	89.0	89.9	90.3	90.5	90.7	90.9	91.0	91.1	89.61	1/Y=0.109+0.031/x
J <sub>22</sub>	JF	III (240)	35.4	45.2	52.5	55.5	57.1	58.1	58.8	59.7	60.2	60.6	55.59	1/Y=0.160+0.3057/x
J <sub>23</sub>	JF	IV (240)	55.7	63.0	70.2	74.5	77.5	79.8	81.7	84.8	87.1	89.0	78.51	Y=21.936+10.484lnx
			I. MRW/sdw    II. MRW/RTW    III. StpW/sdw    IV. StpW/RTW (%)											

3.3.2 密度与主根、棒槌苗重量百分率的关系 这些关系可用(2)、(5)方程与如下双曲线函数方程表达:

$$1/y = a + (b/x) \tag{8}$$

拟合模型(表 3)随密度的递增而增加。变化规律与苗高的基本一致,唯增减方向相反(图 8)。

### 3.4 育苗密度与苗木棒槌发达程度的关系

此关系随密度的递增而增加,与(5)、(8)、(3)方程拟合(表 4)。各模型特点:①Den>200 株/m<sup>2</sup> 时,J<sub>24</sub>、J<sub>25</sub>模型渐趋饱和,Den>600 株/m<sup>2</sup>G<sub>26</sub>模型仍上升;②G<sub>26</sub>模型>J<sub>25</sub>模型>J<sub>24</sub>模型;③G<sub>26</sub>模型分别超越 J<sub>24</sub>、J<sub>25</sub>模型之后随密度的递增而增大差距(图 9),其增长率( $\Delta g/Gst_2$ )可用(5)方程与多项式表达:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_px^p \tag{9}$$

各拟合模型的变化特点是:①在育苗时间上,JJ<sub>27</sub>模型随密度递增而下降;②在地点间,Den>250 株/m<sup>2</sup> 时 G<sub>28</sub>模型便超越 JJ<sub>27</sub>模型并随着密度递增各趋相反方向增减,两地点间差距越来越大(表 4、图 10)。上述各点说明:①当 Den<11 株/m<sup>2</sup> 时,J<sub>25</sub>模型的棒槌发达度小于 1,即不产生棒槌状主根,传统的分床移植苗多是此类苗木。因此棒槌状主根的形成与发育机理,可从植物光合产物分配动态模型理论<sup>[7]</sup>与生物进化论得到阐释:当植物群体密度超越其环境容纳量时,使土壤水分与养分相对缺乏,更多的光合产物输送给根系,以求得根系功能的平衡;从进化观点解释:柚木苗处于上述不利环境,会将有限的光合产物向暂作贮藏器官的主根段转移,

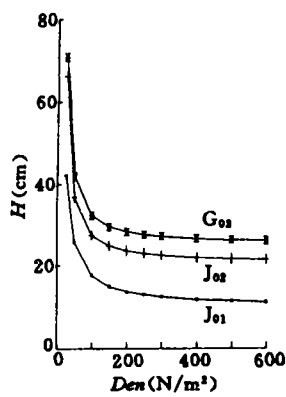


图1 育苗密度与苗高生长的曲线

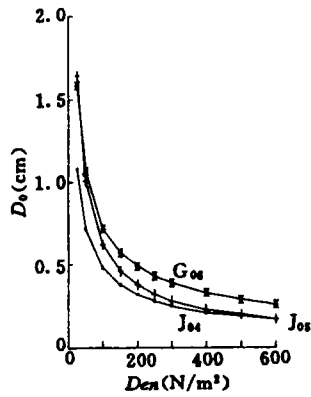


图2 育苗密度与苗木根颈直径生长的曲线

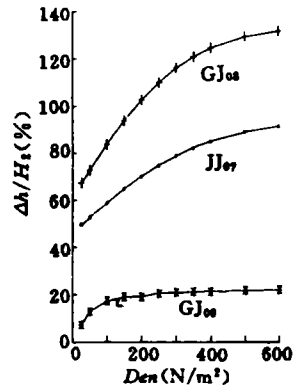


图3 育苗密度与苗高增长率的曲线

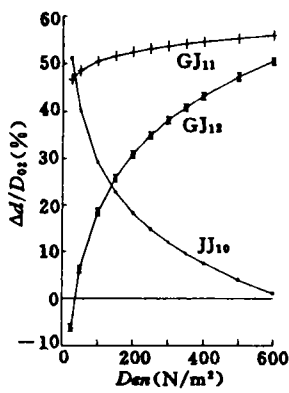


图4 育苗密度与苗木根颈直径增长率的曲线

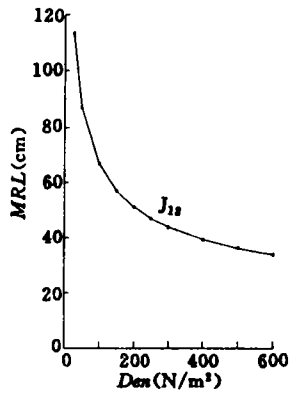


图5 育苗密度与苗木主根长度的曲线

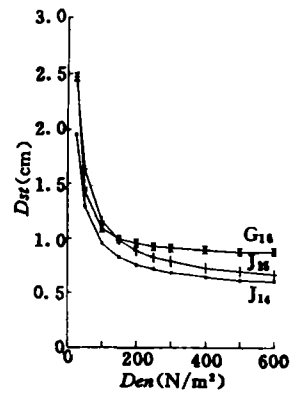


图6 育苗密度与苗木主根段直径生长的曲线

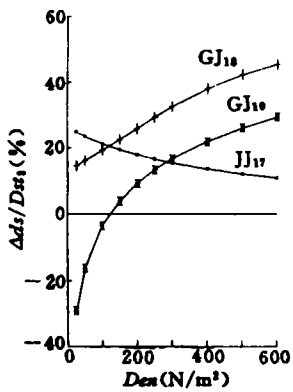


图7 育苗密度与主根段直径增长率的曲线

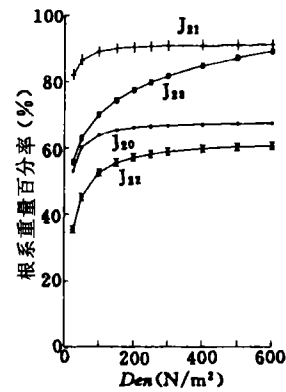


图8 育苗密度与根系重量百分率的曲线

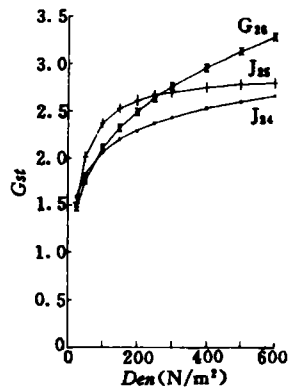


图9 育苗密度与苗木棒槌发达程度的曲线

使膨大成“小棒槌”以求生命的延续。②广州点日照较长,生长季气温较尖峰为低。有利于光合产物向主根转移积累;尖峰点春夏气温过高,常造成苗木生理干旱,加大了光合产物的消耗,是两地点苗木棒槌发达程度差异的重要原因。

表4 育苗密度与棒槌发达程度的关系

模型编号	地点	苗木生长天数(d)	Den (N/m <sup>2</sup> )										数学模型	
			25	50	100	150	200	250	300	400	500	600		平均
J <sub>24</sub>	JF	240	1.59	1.83	2.06	2.20	2.29	2.37	2.43	2.53	2.60	2.66	2.33	Y=0.5081+0.3368lnx
J <sub>25</sub>	JF	620	1.53	2.01	2.37	2.53	2.61	2.67	2.70	2.75	2.78	2.80	2.54	1/Y=0.3443+7.704/x
G <sub>26</sub>	GZ	210	1.48	1.76	2.10	2.32	2.49	2.64	2.76	2.96	3.13	3.28	2.62	Y=0.665x <sup>0.249</sup>
Δg/Gst <sub>2</sub> (%)														
JJ <sub>27</sub>	J <sub>25</sub> -J <sub>24</sub>	-3.77	9.8	15.1	15.0	14.0	12.7	11.1	8.7	6.9	5.3	9.13	Y=-10.2+0.43x-2.3×10 <sup>-6</sup> x <sup>2</sup> +4.67×10 <sup>-6</sup> x <sup>3</sup> -3.24×10 <sup>-9</sup> x <sup>4</sup>	
GJ <sub>28</sub>	J <sub>26</sub> -J <sub>24</sub>	-9.89	-3.21	3.50	7.41	10.19	12.4	14.1	16.9	19.0	20.8	11.15	Y=40.984+9.659lnx	
GJ <sub>29</sub>	J <sub>26</sub> -J <sub>25</sub>	-3.3	-12.4	-11.4	-8.3	-4.6	-1.1	2.2	7.6	12.6	17.4	2.20	Y=3.14-0.16x+1.2×10 <sup>-5</sup> x <sup>2</sup> -2.53×10 <sup>-6</sup> x <sup>3</sup> +1.81×10 <sup>-9</sup> x <sup>4</sup>	

3.5 育苗密度与产苗量和合格苗百分率的关系

以根颈直径等于0.4~1.6cm为规格苗的数量指标<sup>[3]</sup>,它与密度的关系:在密度小时,其径阶频数呈正态或近似正态分布;当密度逐渐增大时,则逐渐偏离正态、趋于稀有分布(Poisson分布),此时每平方米规格苗的绝对数量虽不断增加,但其相对的百分比却逐渐减少(图11),它们的关系可用(2)、(6)与带截距CO的指数函数I型回归方程表达:

$$y = a \cdot e^{bx} + CO \tag{10}$$

根据拟合模型(表5)的分析:①单位面积产苗量随密度的增大而增加,Den>200株/m<sup>2</sup>后渐趋饱和,但合格苗百分率却急剧减少;②模型总体均值:G<sub>32</sub>模型>J<sub>31</sub>模型>J<sub>30</sub>模型,分别高出63%与78.4%,G<sub>35</sub>模型>J<sub>34</sub>模型>J<sub>33</sub>模型,高出39.5%与51.7%(图12、13)。上述分析表明地点间在产苗量与合格苗百分率上存在很大差异,导致差异的主因已如3.1和3.4节中所阐释。

表5 育苗密度与规格苗产苗量的关系

模型编号	地点	苗木生长天数(d)	Den (N/m <sup>2</sup> )										数学模型	
			25	50	100	150	200	250	300	400	500	600		平均
J <sub>30</sub>	JF	240	15.1	32.3	47.2	53.6	57.1	59.3	60.8	62.8	64.0	64.8	54.40	Y=69.069e <sup>-38.071/x</sup>
J <sub>31</sub>	JF	620	16.7	35.5	51.8	58.7	62.5	64.9	66.6	68.7	70.0	70.9	59.54	Y=75.499e <sup>-37.719/x</sup>
G <sub>32</sub>	GZ	210	22.6	53.5	82.2	94.9	101.9	106.4	109.5	113.5	116.0	117.7	97.05	Y=126.407e <sup>-43.036/x</sup>
Y <sub>N</sub> (%)														
J <sub>33</sub>	JF	240	87.9	74.1	53.4	39.4	29.9	23.4	19.1	14.2	11.9	10.9	31.09	Y=94.706e <sup>-0.0078x+10</sup>
J <sub>34</sub>	JF	620	94.5	80.3	58.6	43.6	33.3	26.1	21.1	15.3	12.6	11.2	33.82	Y=101.545e <sup>-0.0074x+10</sup>
G <sub>35</sub>	GZ	210	100.2	92.1	77.7	65.6	55.4	46.7	39.4	28.1	20.0	14.2	47.17	Y=109.092e <sup>-0.0034x</sup>

注:Y<sub>N</sub>各值不含D<sub>0</sub>>1.7cm的等外苗,Y<sub>F</sub>各值含D<sub>0</sub>>1.7cm的等外苗。

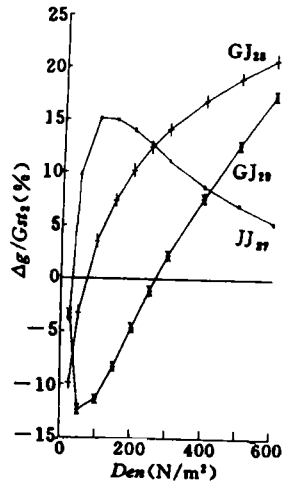


图 10 育苗密度与苗木棒槌发达程度增长率的曲线

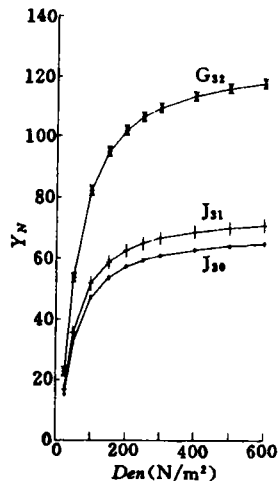


图 12 育苗密度与产苗量的曲线

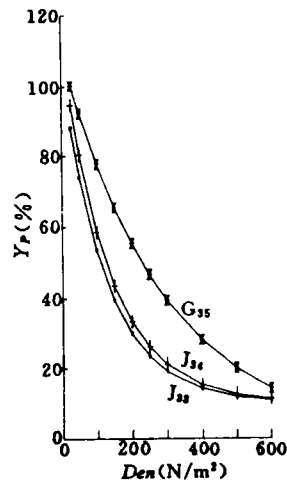


图 13 育苗密度与产苗量相对百分数的曲线

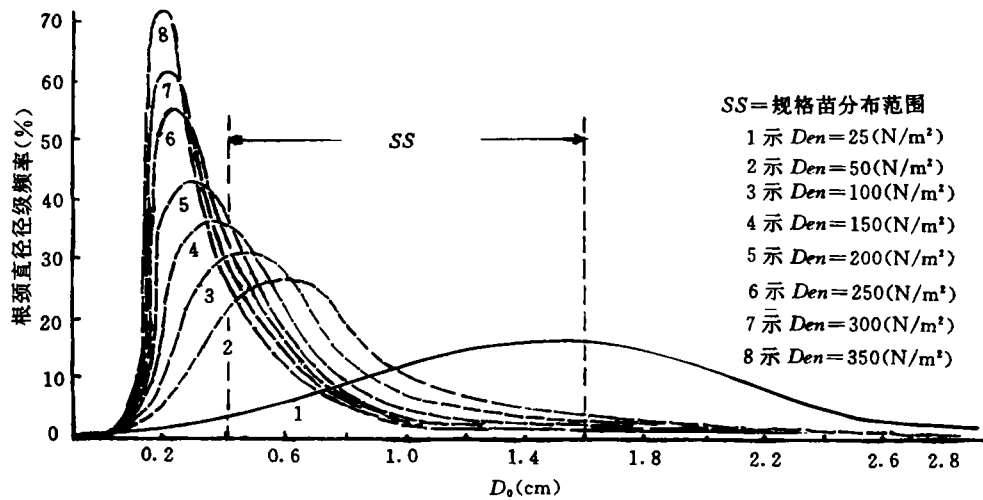


图 11 尖峰试点不同育苗密度下根颈直径与规格苗产苗量的频数分布

## 4 结 论

(1)为海南尖峰和广州两地柚木苗的地上、地下部分生长、单位面积产苗量、合格苗百分率与育苗密度的相互关系建立起 35 个描述变化规律的动态模型。对这些模型所进行的分析,揭示出:①在一定的密度条件下,土壤肥力较高的尖峰苗木地上、地下部分生长与产苗量均远不如土壤肥力低的广州,两地相差达 3~4 个密度级(50 株/ $m^2$  为 I 级)。导致差异的主因是水热的协调性质与日照的长短;②按不同地点生态主因素的差别来调控育苗密度,以提高苗木产量和质量,远比在同一地点延长育苗时间更为有效;③调控好最适宜的育苗密度,就可取得最好的苗木产量与质量,尖峰和广州两地适宜的育苗密度分别为 100~200 株/ $m^2$  与 300~400 株/ $m^2$ 。

(2)各模型的生物方程及其有关系数仅代表尖峰与广州两地点具体条件下柚木苗生长、发育规律的经验数值。

表6 回归方程的方差分析与相关系数<sup>①</sup>

模型号	变差	平方和	自由度	均方	统计量 F	相关系数 r	模型号	变差	平方和	自由度	均方	统计量 F	相关系数 r
J <sub>01</sub>	回归	653.6	1	653.6	541.1**	0.9945	GJ <sub>19</sub>	回归	1800.8	1	1800.8	337.2**	0.9883
	剩余	7.3	6	1.2				剩余	42.75	8	5.34		
J <sub>02</sub>	回归	1583.9	1	1583.9	965.5**	0.9964	J <sub>20</sub>	回归	159.99	1	159.99	686.6**	0.9957
	剩余	11.5	7	1.6				剩余	1.40	6	0.233		
G <sub>03</sub>	回归	1656.5	1	1656.5	331.3**	0.9866	J <sub>21</sub>	回归	62.75	1	62.75	205.1**	0.9857
	剩余	45.2	9	5.0				剩余	1.84	6	0.306		
J <sub>04</sub>	回归	1.24	1	1.24	144.2**	0.9754	J <sub>22</sub>	回归	523.7	1	523.7	306.3**	0.9903
	剩余	0.06	7	0.0086				剩余	10.3	6	1.71		
J <sub>05</sub>	回归	4.02	1	4.02	446.7**	0.9918	J <sub>23</sub>	回归	660.5	1	660.5	482.1**	0.9938
	剩余	0.07	8	0.009				剩余	8.2	6	1.37		
G <sub>06</sub>	回归	1.40	1	1.40	1021.7**	0.9980	J <sub>24</sub>	回归	1.33	1	1.33	266.0**	0.9851
	剩余	0.005	4	0.0013				剩余	0.04	8	0.005		
JJ <sub>07</sub>	回归	2234.1	1	2234.1	106.6**	0.9603	J <sub>25</sub>	回归	1.62	1	1.62	60.6**	0.9539
	剩余	188.6	9	20.95				剩余	0.16	6	0.026		
GJ <sub>08</sub>	回归	5566.4	1	5566.4	225.5**	0.9806	G <sub>26</sub>	回归	2.51	1	2.51	358.6**	0.9948
	剩余	222.2	9	24.68				剩余	0.03	4	0.007		
GJ <sub>09</sub>	回归	188.14	1	188.14	570.1**	0.9922	JJ <sub>27</sub>	回归	216.76	1	216.76	24.8**	0.9423
	剩余	2.96	9	0.33				剩余	78.66	9	8.74		
JJ <sub>10</sub>	回归	2443.9	1	2443.9	1783.9**	0.9975	GJ <sub>28</sub>	回归	917.6	1	917.6	306.8**	0.9856
	剩余	12.3	9	1.37				剩余	26.9	9	2.99		
GJ <sub>11</sub>	回归	81.37	1	81.37	20.1**	0.8311	GJ <sub>29</sub>	回归	820.3	1	820.3	154.8**	0.9721
	剩余	36.42	9	4.05				剩余	47.7	6	5.3		
GJ <sub>12</sub>	回归	3132.6	1	3132.6	675.1**	0.9934	J <sub>30</sub>	回归	1787.8	1	1787.8	78.8**	0.9640
	剩余	41.8	9	4.64				剩余	136.2	6	22.7		
J <sub>13</sub>	回归	4116.0	1	4116.0	428.8**	0.9931	J <sub>31</sub>	回归	2233.5	1	2233.5	70.5**	0.9600
	剩余	57.6	6	9.6				剩余	190.1	6	31.68		
J <sub>14</sub>	回归	1.31	1	1.31	87.3**	0.9608	G <sub>32</sub>	回归	7634.5	1	7634.5	42.9**	0.9367
	剩余	0.11	7	0.015				剩余	1067.5	6	177.9		
J <sub>15</sub>	回归	2.67	1	2.67	267.0**	0.9867	J <sub>33</sub>	回归	4786.4	1	4786.4	3653.7**	0.9992
	剩余	0.07	7	0.01				剩余	7.9	6	1.31		
G <sub>16</sub>	回归	1.89	1	1.89	189.0**	0.9865	J <sub>34</sub>	回归	4072.5	1	4072.5	645.3**	0.9961
	剩余	0.05	5	0.01				剩余	31.6	5	6.31		
JJ <sub>17</sub>	回归	236.74	1	236.7	229.8**	0.9809	G <sub>35</sub>	回归	5149.3	1	5149.3	149.5**	0.9805
	剩余	9.30	9	1.03				剩余	206.7	6	34.45		
GJ <sub>18</sub>	回归	1051.2	1	1051.2	43.6**	0.9105		—	—	—	—	—	
	剩余	216.7	9	24.08									

①卡方检验结果:全部方程的卡方值均小于临界卡方值,方程适合,卡方值没有列出。

参 考 文 献

- 1 国家标准局. GB 6000—85 主要造林树种苗木. 北京:中国林业出版社,1985.
- 2 吴菊英. 柚木苗生长与育苗技术. 热带林业科技,1986,(1):14~21.
- 3 邝炳朝,郑淑珍,罗明雄. 柚木苗规格(标准)与经济效益的研究. 林业科学研究,1991,4(6):589~599.
- 4 李炎香. 柚木的造林技术. 热带林业科技,1985,(2):1~9.
- 5 邝炳朝. 柚木小棒植苗的贮藏技术和造林效果. 热带林业科技,1986,(4):35~57.
- 6 杨纪柯,孙长鸣,汤旦林. 应用生物统计. 北京:科学出版社,1984. 356~362.
- 7 陈兰荪主编. 生物数学引论. 北京:科学出版社,1988. 114~115.



## Relationship between Teak Seedling Density and Seedling Yield and Quality

*Kuang Bingchao Zhen Shuzhen Luo Mingxiong*

**Abstract** The relationship between teak seedling density and stump growth, formation of main root, seedling yield per unit area and seedling quality are studied through adopting biomathematics method. 35 mathematic models are established using 10 curve equations i. e. exponential function, power function, logarithmic function etc.. The results show that: 1. The seedling growth above and under the ground in Jiangfeng good site are far inferior to the growth in Guangzhou poor site at the same seedling density. The difference between them will be increased as density increases. This is why there are differences between two sites in sunshine/day and coordination of water and hot. 2. Adjusting seedling density on the basis of different ecological condition in different sites is more effective than prolonging the time of breeding seedlings in one site to increase seedling yield and quality. 3. The suitable seedling density in Jiangfeng and Guangzhou are 100~200 and 300~400 seedlings per square meter respectively. There are four density classes (50 seedlings per square meter is taken as one class). The best seedling quality and yield could be got by adjusting the seedling density to the most suitable condition.

**Key words** teak stump, seedling density, seedling yield

---

Kuang Bingchao, Professor, Zhen Shuzhen, Luo Mingxiong (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520).