林业科学研究 1999, 12(6): 639～644
Forest Research

文章编号: 1001-1498(1999)06-0639-06

浙江庆元杉木种子园产量预测模型

倪荣新[1], 陈奕良[1], 陈敏红[1], 王赵民[2]
(1. 浙江省庆元县庆元林场, 浙江庆元 323805; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400)

摘要: 以浙江省庆元县庆元林场杉木种子园13 a 种子产量系列和影响杉木种子园产量的生物因(X_1～X_3)、气象因子(X_6～X_{14})及立地因子(X_4～X_5)等资料为依据, 在应用回归分析方法筛选构成影响产量主导因子的基础上, 分别研建了杉木种子园产量的多元线性模型: 杉木种子园年度单位面积种子平均产量 $Y_1 = 60.047\ 46 + 0.001\ 67X_7$(年降水量) $- 0.116\ 95X_{8,9}$(开花期低温指数) $- 0.015\ 79X_{10}$(开花期降水量) $+ 0.008\ 16X_{12}$(开花期日照时数) $+ 0.004\ 44X_{13}$(高温干旱期降水量) $- 2.268\ 72X_{14}$(7～8月份平均气温); 种子园小区年度种子产量 $Y_2 = -603.427\ 10 + 34.142\ 67X_4$(小区坡向) $+ 0.072\ 20X_6$(≥10 ℃年积温) $+ 0.042\ 10X_7 - 18.897\ 39X_{8,9} - 0.349\ 41X_{11}$(开花期总雨日数) $+ 6.864\ 78X_{12} + 0.935\ 31X_{13}$; 种子园小区历年种子均产 $Y_5 = 1.957\ 76 + 2.439\ 38X_{31}$(杉木一般产区无性系) $+ 2.457\ 86X_{41}$(阳坡) $+ 1.300\ 00X_{51}$(土壤肥力"好") $- 0.074\ 88X_{52}$(土壤肥力"中")。以上模型的预测正确率达81.04%～95.40%。

关键词: 杉木种子园; 种子产量; 预测模型
中图分类号: S722.8+3 文献标识码: A

浙江省杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)遗传改良工作始于70年代初期, 从种源选择、优树选择到建成各种类型种子园, 已形成了一个较为完整的遗传改良体系。累计生产杉木良种10多万 kg, 推广造林20多万 hm^2。但从一代种子园近1个周期的产量变化看, 不同种子园间, 同一个种子园不同年份间, 以及不同坡向的小区、不同无性系间的产量相差悬殊[1, 2]。良种生产单位、管理部门往往很难把握种子的产量问题, 给年度安排和总体决策带来诸多不便。国内陈幼生、方升佐等曾用半面树冠球果估测法、球果切开法和标准木法对杉木种子园当年结实量进行了研究[3～8], 本文则以地处浙江省西南部的庆元县庆元林场杉木一代种子园为例, 系统地调查和分析了影响种子产量的生物因子和环境因子, 结合历年种子产量系列, 研建了相应的预测模型, 为杉木种子园产量预测提供科学的理论依据。

1 资料来源与数据处理

1.1 试验地概况

浙江省庆元县庆元林场地理位置为119°04′E, 27°37′N, 属浙南中山区, 海拔高度为200～400 m, 年平均气温17.4 ℃, ≥10 ℃的年积温为5 409.9 ℃, 年降水量1 759.1 mm, 年平均湿度

收稿日期: 1998-08-18
基金项目: "八五"国家攻关项目(编号: 85-18-01-01)和浙江省科委资助项目(编号: 91-025)的部分研究内容。
第一作者简介: 倪荣新(1964-), 男, 浙江绍兴人, 工程师。

80%, 年均无霜期265 d, 种子园土壤属凝灰岩形成的黄红壤和幼红壤, pH 4.5～5.5, 土壤肥力偏低。

1.2 资料来源

庆元杉木一代种子园始建于1979～1982年, 总面积35.73 hm^2, 收集了省内外684个无性系, 于1982年开始生产种子。本文主要收集了如下数据资料:

(1) 种子园各小区无性系组成, 各小区坡向、土壤肥力状况等立地因子;

(2) 种子园各小区嫁接株保存率、结实株率以及自投产以来各小区的年球果和种子产量, 以及种子品质状况;

(3) 1981～1993年有关的气象资料来源于庆元县气象局, 并调查灾害性因子, 该局观测站离庆元杉木种子园4 km;

(4) 种子园各年度的经营管理水平及年度变化情况。

1.3 数据处理与模型建立

1.3.1 *各变量代码的编制* 为统一处理, 把常用的调查因子统一编码如下:

X_1——种子园嫁接株保存率/%; X_2——园内结实株率/%;

X_3——无性系来源: X_{31}——浙江、江西等一般产区, X_{32}——闽、桂、湘、黔等中心产区; X_4——小区坡向: X_{41}——阳坡, X_{42}——阴坡;

X_5——土壤肥力: X_{51}——好, X_{52}——中, X_{53}——差; X_6——≥10 ℃年积温/℃;

X_7——年降水量/mm; X_8——开花期极端最低温/℃

X_9——花期极端最低温持续时间/d; X_{10}——开花期降水量/mm;

X_{11}——开花期总雨日数/d; X_{12}——开花期日照时数/h;

X_{13}——高温、干旱期降水量/mm(7月中旬至8月中旬);

X_{14}——7～8月的平均气温/℃。其中 X_8 和 X_9 构成开花期低温指数 $X_{8,9}=\sum X_8 \cdot X_9$。

Y_1——种子园平均每公顷产种子/($kg \cdot hm^{-2}$), Y_2——种子园小区年度种子产量/($kg \cdot hm^{-2}$), Y_3——种子园小区内平均株产种子/($kg \cdot 株^{-1}$), Y_4——种子园小区历年均产球果/($kg \cdot hm^{-2}$), Y_5——种子园小区历年均产种子/($kg \cdot hm^{-2}$)。其它因子在需要时说明。

1.3.2 *数据处理及建模方法* 以单因子相关分析, 广义方差分析为基础, 用"一对多"逐步回归分析法筛选构成产量的主导因子, 再以主导因子建成多元线性模型[9]和数量化模型, 并作相应的检验, 依此分别研建种子园年度单位面积产量估测模型、种子园内小区产量估测模型, 以及1个周期内种子园总体平均产量估测模型, 并对各模型作相应预估, 计算估计误差。

2 结果与分析

2.1 种子园年度均产构成因子的筛选与预估模型

用 X_2(园内结实株率)和 X_6～X_{14}(气象因子)共10个自变量同因变量 Y_1 作双重筛选逐步回归, 经不同的 F 值运算和各因子偏相关系数、复相关系数检验, 可知年降水量(X_7), 花期日照时数(X_{12}), 高温、干旱期降水量(X_{13}) 3个因子同产量呈显著正相关; 而开花期低温指数($X_{8.9}$), 开花期降水量(X_{10})和7～8月均温(X_{14}) 3个因子同产量(Y_1)呈显著负相关。由这些因子建成的多元线性模型及其产量预估情况见表1。

表1　种子园历年年度种子产量(Y_1) 预测模型与预估

变　量　名	B_i	r_i	F 值	年份	实际产量/(kg•hm⁻²)	预估产量/(kg•hm⁻²)	误差/%
X_7(年降水量)	0.001 67	0.965 0**	40.43	1981	5.10	3.75	27.4
$X_{8,9}$(花期低温指数)	-0.116 95	-0.886 0*	10.92	1982	21.60	21.00	2.8
X_{10}(花期降水量)	-0.015 79	-0.989 0**	132.07	1983	37.20	36.45	1.9
X_{12}(花期日照时数)	0.008 16	0.939 0*	22.44	1984	30.15	32.70	-8.3
X_{13}(7～8月降水量)	0.004 44	0.937 0*	21.41	1985	36.45	39.90	-9.5
X_{14}(7～8月均温)	-2.268 72	-0.980 0**	71.55	1986	35.25	33.15	6.0
R(复相关系数)	60.047 46	0.996 0**	62.13	1987	21.75	22.50	3.4
				1988	22.05	21.35	1.5
$F_{r_{0.05}}$= 10.13				1989	84.15	82.95	6.9
$F_{r_{0.01}}$= 34.12				1990	33.55	35.10	1.3
$F_{R_{0.05}}$= 8.94				1991	152.55	34.20	77.6
$F_{R_{0.01}}$= 27.91				1992	164.85	44.25	73.2
				1993	7.35	43.35	-498.8

由表1可知, 该种子园年度单位面积种子平均产量 Y_1= 60.047 46+ 0.001 67X_7- 0.116 95$X_{8,9}$- 0.015 79X_{10}+ 0.008 16X_{12}+ 0.004 44X_{13}- 2.268 72X_{14}。该模型各偏相关系数 r_i 均达到显著或极显著相关水平, 复相关系数 R 也达到极显著相关。说明预估方程是有效的, 结果是可信的。从预估误差看, 除第1年和1991～1993年3 a 之外, 1982～1990年的产量与估值十分吻合, 最高误差- 9.5%, 不计减产、增产, 这9 a 的平均误差仅有4.6%, 即准确性达95.4%。第1年因总体结实株少, 误差大, 而1991～1993年由于人为对群体的干扰, 尤其1990年之后的去劣疏伐、更换肥种等技术措施改变较强烈, 人为影响使种子产量大幅度上升; 同时因连续2 a 的高产, 又导致1993年大幅度减产。由此可见, 在已相当稳定的群体中所建的产量模型, 会因特殊因素的强烈干扰而发生偏离。

同产量因素有相同之处, 发芽率、出籽率等播种品质同年积温(X_6) 、年降水量(X_7) 呈正相关, 说明这些气象因子不仅影响当年种子的产量, 而且还会明显地影响种子的播种品质。

2.2　种子园小区年度产量的预测模型

同种子园各年的平均产量不一样, 小区的产量既受大范围的气象因子的影响, 也受小区微环境因素的影响, 如小区的坡向、坡度, 小区的无性系组成, 小区土壤的肥力状况, 该小区保留株数(密度) 等。因此, 对种子生产单位来说预测各小区种子产量就难以套用整个种子园均产。现选择易测定、掌握的 X_1、X_3、X_4和 X_6～X_{14}(气象因子) , 以及小区年度产量(Y_2) 和小区内平均株产(Y_3) 2个指标, 作双重筛选逐步回归及多元线性模型的建立。选择不同小区历年产量共计451个样本作分析, 筛选结果及各偏相关系数测检见表2。

由表2可以看出, 小区内单株平均产量与小区平均产量一致, 小区的坡向(X_4) 极显著影响产量。而嫁接株保存率(X_1) 被筛去的原因是该种子园林相整齐, 接株率(X_1) 普遍高之故, 影响产量的气象因子中, 年积温(X_6) 、年降水量(X_7) 、花期日照时数(X_{12}) 和7～8月降水量(X_{13}) 4个因子同小区平均产量呈极显著相关或显著相关, 而开花期低温指数($X_{8.9}$) 和花期雨日(X_{11}) 同小区产量呈极显著负相关。

表2 种子园小区年度产量预测模型

变 量 名	小区产量 Y_2/(kg•hm^{-2})			小区内平均株产 Y_3/(kg•株$^{-1}$)		
	B_i	r_i	F 值	B_i	r_i	F 值
X_4(小区坡向)	34.142 67	0.326 0**	52.56	1.197 73	0.378 0**	73.68
X_6(≥10 ℃年积温)	0.072 20	0.344 0**	59.32	0.002 01	0.325 0**	52.20
X_7(年降水量)	0.042 10	0.114 0*	5.82	0.001 29	0.118 0*	6.24
$X_{8,9}$(花期低温指数)	-18.897 39	-0.377 0**	73.22	-0.481 16	-0.331 0**	54.38
X_{11}(花期雨日)	-0.349 41	-0.237 0**	26.43	-0.010 38	-0.238 0**	26.54
X_{12}(花期日照时数)	6.864 78	0.411 0**	90.11	0.182 64	0.376 0**	72.78
X_{13}(7～8月降水量)	0.935 31	0.515 0**	160.32	0.025 43	0.483 0**	134.49
R(复相关系数)	-603.427 1	0.721 0**	68.36	-16.603 88	0.703 0**	61.70
F_a	$F_{R_{0.01}}$= 2.68	$F_{r_{0.05}}$= 3.86	$F_{r_{0.01}}$= 6.70			

2.3 种子园小区历年均产预测模型

种子园在生产周期内平均能生产多少种子,这是最关心的问题。为此,选择典型小区近1个周期来历年平均产量与相应的影响因子作分析。

表3可知,无性系来源和坡向对产量影响十分明显;至于肥力状况,由于种子园采取了综合的配套丰产技术措施,进行高度集约栽培,因此缩小了小区之间的肥力差距,故使小区间产量未达到显著差异水平。依此建立的数量化线性模型见表4,从表4可以看到,种子园历年球果和种子产量均值的复相关系数 R 分别为0.873 1 和0.881 8,均达到显著相关。从预估检验效果看,误差百分率平均为17.99%和18.99%,即说明预测正确性可达81%以上。

表3 种子园各因子广义方差分析

变异来源	自由度	球果/(kg•hm^{-2})		种子/(kg•hm^{-2})		$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
		均 方	F 值	均 方	F 值		
无性系来源	1	2 267 964.00	12.86**	5 145.46	16.53**	4.75	9.33
坡 向	1	3 562 274.25	20.20**	5 694.75	18.29**	4.75	9.33
肥 力	2	305 712.00	1.73	776.32	2.49	3.89	6.93
机 误	12	176 352.75		311.38			

表4 种子园小区历年产量均值数量化预测模型

样本号	球果/(kg•hm^{-2})			种子/(kg•hm^{-2})		
	实测值	预估值	误差率/%	实测值	预估值	误差率/%
1	1 704.00	2 076.00	-21.83	70.80	85.80	-21.19
2	1 664.40	1 649.85	-0.87	69.90	66.30	5.15
3	1 395.30	1 153.95	17.30	63.00	48.90	22.38
4	1 343.55	802.80	40.25	50.55	28.20	44.21
5	864.45	727.80	15.81	33.60	29.40	12.50
6	1 781.55	2 076.00	-16.52	74.70	85.80	-14.86
7	1 534.95	1 725.00	-12.38	58.05	65.10	-12.14
8	1 442.25	1 650.00	-14.40	52.95	66.30	-25.20
9	1 092.90	1 153.95	-5.59	42.00	48.90	-16.43
10	890.85	802.80	9.88	31.80	28.20	11.32

(续表4)

样本号	球果/(kg·hm^{-2})			种子/(kg·hm^{-2})		
	实测量	预估值	误差率/%	实测量	预估值	误差率/%
11	831.60	727.80	12.48	35.40	29.40	16.95
12	3 667.35	2 842.95	22.48	159.75	122.25	23.47
13	2 228.40	2 491.80	−11.82	92.10	101.70	−10.42
14	2 819.55	2 416.65	14.29	117.45	102.75	12.51
15	1 582.65	1 920.75	−21.36	66.60	85.35	−28.15
16	1 394.25	1 569.60	−12.58	56.25	64.80	−15.20
17	958.50	1 494.60	−55.93	50.55	65.85	−30.27
平均值			±17.99			±18.99
模　型	$Y_4 = 48.515\,12 + 51.120\,37X_{31} + 61.472\,85X_{41} + 28.416\,67X_{51} + 5.007\,60X_{52}$			$Y_5 = 1.957\,76 + 2.439\,38X_{31} + 2.457\,86X_{41} + 1.300\,00X_{51} - 0.074\,88X_{52}$		
	$R = 0.873\,1^*$			$R = 0.881\,8^*$　　$F_{0.05} = 3.23$		

3　讨　论

(1) 影响杉木种子园产量的因子复杂多样, 经过各层的数学处理, 在诸多因素中, 依种子园的实际情况, 还是能找出母树结实的一些规律及其主导影响因素。无性系来源不同, 直接影响种子园结实量; 坡向是一个综合的立地因子, 它改变了日照、空气和土壤的温度、湿度等, 一般阳坡结实优于阴坡; 从种子园或某一小区看, 嫁接植株的保存率也同样影响着产量, 尤其是种子园郁闭度小的时候更为明显; 肥力状况显著影响母树的结实, 由于人工施肥, 垦复等干扰, 往往减缓了土层厚度、腐殖质层厚度等肥力指标的作用。气象因子对产量的影响分为两大类: 其一是灾害性因子, 如倒春寒的严重冻害、台风造成风折以及大旱、大涝等; 其二有一定规律性可循的常规因子, 如开花期的日照时数、7～8月份的降水量和年积温与产量呈正相关, 而开花期的低温指数、降雨日及降水量与产量呈负相关。

(2) 种子园产量模型的建立需要考虑到良种生产单位、良种管理部门等对预估产量的不同要求。本文分3个层次分别建成3类模型, 其中种子园年度平均产量预测模型适用于当年产量的预测, 主要依据是气象因子, 在实际应用中必须考虑灾害性的天气状况以及经营管理中出现的特殊情况, 并依此来修改预测模型和预估值。小区年度产量预测模型适用于估算种子园内小区的产量, 依据小区产量再估算整个种子园产量, 它主要依据坡向等小区立地因子及气象因子, 实际应用中同样要考虑灾害性因子及特殊管理措施。第三类模型是用于估测小区在种子园1个周期内的均产, 由此推算出全园产量。依据的因子主要是小区坡向、无性系的来源及肥力等级情况等。

参考文献:

[1]　王赵民, 张建忠, 倪荣新, 等. 杉木种子园产量与品质的影响因子分析[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 13～21.

[2]　王赵民, 张建忠, 王嫩良, 等. 浙江省杉木种子园丰产技术研究[J]. 林业科学研究, 1996, 9(6): 602～609.

[3]　陈幼生, 方升佐. 杉木种子园结实量近期预测方法的研究[J]. 南京林业大学学报, 1990, 14(3): 1～5.

[4]　方升佐, 许献文, 裴忠诚. 杉木种子园产量年景的 Fuzzy 预测方法[J]. 南京林业大学学报, 1991, 15(4): 38～44.

[5]　李贵范. 杉木种子园种子产量预测[J]. 浙江林学院学报, 1990, 7(2): 168～171.

[6] 周志翔, 宋从文, 冯春莲. 马尾松种子产量预测方法初步研究[J]. 林业科学, 1998, 34(5): 127～135.
[7] 喻方园, 陈幼生, 肖石海, 等. 杉木种子园球果产量预测方法的研究[J]. 林学科学, 1997, 33(3): 225～233.
[8] 周志翔, 宋从文, 冯春莲. 杉木种子园种子产量预测预报模型研究[J]. 林业科学, 1999, 35(1): 122～125.
[9] 方开泰. 实用多元统计分析[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989. 142～359.

The Seed Yield Calculation Pattern for Qingyuan Chinese Fir Seed Orchard in Zhejiang Province

NI Rong-xin[1], *CHEN Yi-liang*[1], *CHEN Min-hong*[1], *WANG Zhao-min*[2]
(1. Qingyuan Forest Farm of Qingyuan County, Zhejiang Province, Qingyuan 323800, Zhejiang China;
2. The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the data of seed yield of Chinese Fir Seed Orchard in Qingyuan Forest Farm from 1981～1993 and the biological factors (X_1～X_3), meteorological factors (X_6～X_{14}) and site factors (X_4～X_5) affecting the seed yield of Chinese fir seed orchard, the multi-unit linear patterns were established by using linear regression to determine the key factors affecting seed yield: the annual mean yield per unit area $Y_1 = 60.047\,46 + 0.001\,67X_7$ (annual precipitation) $- 0.116\,95X_{8,9}$ (low temperature index in flowering period) $- 0.015\,79X_{10}$ (precipitation in flowering period) $+ 0.008\,16X_{12}$ (sunshine time in flowering period) $+ 0.004\,44X_{13}$ (precipitation in high temperature and drought period) $- 2.268\,72X_{14}$ (mean temperature in July and August); the annual seed yield in seed orchard plot $Y_2 = -603.427\,10 + 34.142\,67X_4$ (slope orientation) $+ 0.072\,20X_6$ (≥ 10 ℃ annual accumulated temperature) $+ 0.042\,10X_7 - 18.897\,39X_{8,9} - 0.349\,41X_{11}$ (rainy days in flowering period) $+ 6.864\,78X_{12} + 0.935\,31X_{13}$; the annual mean seed yield in the plot of seed orchard $Y_5 = 1.957\,76 + 2.439\,38X_{31}$ (*C. lanceloata* clones in general production area) $+ 2.457\,86X_{41}$ (sunny slope) $+ 1.300\,00X_{51}$ (good soil fertility) $- 0.074\,88X_{52}$ (middle soil fertility). The rate of calculation accuracy of the models above was 81.04%～95.40%.

Key words: Chinese fir seed orchard; seed yield; calculation model