

文章编号: 100F 1498(2002) 02 0150 06

马尾松开花结实特征及种子产量预测*

孔凡斌

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: 采用标准枝法以及可见半面树冠法研究了马尾松开花时间、球花和果实 在树冠的分布特征, 采用球果切开法测定球果结籽数量。运用线性回归方法, 建立马尾松树体性状、花、果与种子相互之间的预测模型。结果表明: (1) 雌花芽在树冠中由上至下数量逐渐减少, 雌花集中分布在第 II~ IV 年龄段; 雄花呈相反分布, 雄花主要分布在第 VIII~ X 年龄段; (2) 幼果主要分布在第 III~ VI 年龄段, 成熟球果(以下简称成果) 主要分布在第 IV~ VII 年龄段; (3) 树木胸径与开花强度及单株结实量之间呈强正相关, 马尾松平均胸径 15.0 cm、开花强度 0.4 以上的林分结实能力强; (4) 基本预测模型拟合以一元一次线性回归精度及相关系数最大, 预测效果最好; (5) 可见半面树冠法的预测效果较好, 生产可操作性强, 为最佳预测方法; (6) 幼果和成果的预测模型可以满足中短期预测的需要, 基于雌花因子预测可以提前 19 个月估测成果结实量。

关键词: 马尾松; 开花结实特征; 种子产量

中图分类号: S722.1⁺1

文献标识码: A

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) 是我国南方主要用材树种。马尾松种子产量周期变动的不稳定性是影响营林生产计划的重要因素。我国林业工作者对马尾松有性生殖过程花芽及花粉发育阶段的形态学特征进行了系统的研究, 确定了马尾松花芽各观察期物候标准^[1]。国内外对林木种子产量定量预测研究开始于 20 世纪 30 年代中期, 树种以油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 为主, 形成了一系列的研究方法^[2, 3]。国内对马尾松种子产量预测预报及其相关的方法研究报道不多。本研究以湖北枝城市马尾松一般采种林分为对象, 建立马尾松种子产量中、短、长期的预测模型, 为我国尽早建立合理的林木种子产量预测预报体系提供依据。

1 试验区概况

河北省枝城市位于 30°36'3" ~ 30°55'3" N, 111°36'7" ~ 111°54'6" E, 属中亚热带向北亚热带过渡的大陆性季风气候。年平均气温 16.7 °C, ≥10 °C 的年活动积温 5 400 °C, 平均降水量 1 233.3 mm。马尾松分布区土壤类型主要是黄壤和黄棕壤, pH5.6~ 6.5, 全市马尾松总面积约 21.5 万 hm², 产种林分主要是在平均年龄 20 a 左右的中龄林中, 林分平均密度约为 1 500 株·hm⁻², 平均胸径 10~ 20 cm, 平均高 8~ 12 m。

收稿日期: 2000-05-27

基金项目: 林业部“八五”攻关项目“主要造林树种开花结实规律和种子产量预测预报研究”(900103)

作者简介: 孔凡斌(1967), 江西九江人, 工程师, 在读博士研究生。

* 本文是在陈幼生教授的指导下完成的, 同时得到国家林业局南方林木种子检验中心高捍东副教授的帮助, 一并表示衷心的感谢。

2 调查研究方法

将马尾松种子产量预测划分为: 基于花芽的长期预测(1~2 a), 基于幼果的中期预测(6~12 个月) 以及基于成果的近期预测(提前 2~3 个月)。座果率指当年 10 月幼果数与当年 4 月雌花数之比。

在全面踏查的基础上, 在有代表性的采种林分中共设置 5 块样地, 另外设置 1 块临时样地, 面积均为 30 m × 30 m。在每块样地中, 随机抽取 20 株样株, 共 100 株, 用红色油漆编号。用皮尺和手持测高器量测样树的冠幅、冠长和树高, 用围尺量测胸径。从 100 株的样株中再选取 20 株, 每株中选取具有代表性的枝条观察雄、雌球花的开花情况。开花受粉当年的小球果为幼果, 次年体积显著增大的接近成熟的球果为成果。将样株自上而下按枝桠轮逐一分段, 共分 10 段, 以罗马数字 I ~ X 代表各段, 查定并记载每 1 年龄段的雌、雄花芽数以及营养数和幼果、成果数, 各年龄段各类芽和球果数分别相加, 便得每株各类芽和球果的总量。在每一观察株的迎光面(南、北) 方向任选 1 个可以观察到整个半面树冠的地点, 该点离样株的水平距离大约等于树高。每一样株共点数 3 次, 用手掀计数器计数并作记录, 计算时取其平均值。

球果体积的测定, 用量筒装入 1/3~2/3 的水, 记下水面达到的刻度, 投入球果后观测水面上升后的刻度。按 1 mL = 1 cm³ 将两次刻度之差换算成球果体积 v (cm³)。共测定了 100 颗球果, 然后沿中轴纵向切开, 记载其中一个剖面上露出白色内含物的饱满种子数, 用软 x 射线直接摄影法测定各球果的饱满种子数。

3 结果与分析

3.1 马尾松开花结实特征

按照王章荣等^[1] 马尾松花芽分化物候期的划分标准, 枝城市马尾松雌花初期始于 3 月 25 日, 盛期始于 4 月 5 日, 末期出现在 4 月 26 日; 雄花则依次为 3 月 20 日~4 月 4 日、3 月 28 日~4 月 11 日和 4 月 28 日~5 月 4 日。雌花盛花期平均为 8.5 d; 雄花盛花期平均为 6 d。随机抽样结果表明, 枝城市马尾松始花年龄为 7 a 左右, 且偏雌性植株居多。20~30 a 的中龄植株进入开花结实盛期。

3.2 林分植株雌雄分化及结实情况

马尾松天然林分存在着单株雌雄分化现象(表 1)。将仅有 1~2 个雌花或无雌花且雄花居多的植株定为偏雄性植株, 仅有 1~2 个雄花或无雄花且雌花居多的植株定为偏雌性植株; 雌雄花比例适中的植株定为中性植株; 无花芽的植株为营养型植株。

表 1 说明, 枝城市马尾松采种林分的中性植株占绝大多数, 无花植株在林分中分布极少; 植株性别分布适中。

表 2 数据显示, 枝城市马尾松结实林分的

表 1 马尾松雌雄植株的分布

抽样方式	调查株数/株	有花植株/%	偏雌植株/%	偏雄植株/%	中性植株/%	营养型植株/%
踏查抽样	434	98.5	12.7	11.2	74.6	1.5
样地抽样	150	99.2	11.7	12.5	75.0	0.8

表 2 马尾松林分的树高、胸径与开花强度

样地号	年龄/a	平均树高/m	平均胸径/cm	密度/(株·hm ⁻²)	平均开花强度
1	22	9.5	16.7	1 605	0.942
2	20	7.0	8.4	2 160	0.097
3	25	8.3	10.3	2 085	0.102
4	24	8.4	12.3	1 920	0.436
5	30	15.3	20.4	825	1.012

注: 开花强度 = 单株雌花数/单株营养芽数^[2]

树高、胸径、密度、年龄和开花强度均存在差异,不同林分开花结实量也存在一些差异。在年龄相近的林分间,平均胸径和树高大、密度小的林分单株开花强度高。表3统计结果表明,雌花和球果数量多,球果质量大,体积也大,球果所含饱满种子数也多。

表3 1991~1993年不同样地马尾松平均开花结实情况

样地号	雄花数/ (簇·株 ⁻¹)	雌花数/ (个·株 ⁻¹)	幼果数/ (个·株 ⁻¹)	成果数/ (个·株 ⁻¹)	座果率/ %	保存率/ %	球果体 积/cm ³	球果质 量/g	饱满种 子数/粒	种子数/ 粒
1	138.0	210.9	102.7	84.9	68.9	81.2	13.1	10.3	4.4	24.6
2	133.8	51.0	8.4	1.4	19.0	11.9	12.4	10.7	3.5	16.7
3	422.8	62.5	35.8	12.9	80.5	34.3	9.9	7.4	3.3	13.2
4	475.8	122.1	30.9	25.0	29.9	17.6	9.3	7.7	2.9	10.1
5	231.4	375.3	106.6	59.5	37.9	59.9	15.0	12.5	4.6	25.8

3.3 马尾松树体性状与开花结实及林分结实能力的等级划分

随机抽取75株样株,将树体性状与球果量、雌花量进行相关分析,结果见表4。树木胸径、树高、冠幅、冠长与单株球果产量以及雌花产量均呈正相关;林分密度与雌花、球果产量呈负相关。树木胸径与树高、冠幅、密度都是较强的相关关系^[2]。本文划分林分结实能力等级的主要因素是胸径,同时考虑开花强度、单株幼果数、可见半面树冠球果数。采用Q型聚类方法,即平均距离进行聚类分析,将枝城市马尾松林分结实能力划分为4个等级(表5)。

表4 马尾松树体性状与单株球果、雌花的相关系数($n=75$)

效应因子	年份	冠幅	冠长	胸径	树高	林分密度
单株球果数量	1991	0.24	0.17	0.61	0.89	-0.77
	1992	0.36	0.57	0.63	0.72	-0.58
单株雌花数量	1991	0.44	0.28	0.79	0.84	-0.92
	1992	0.24	0.46	0.66	0.59	-0.43

注: $r_{0.05}(74) = 0.354$

表5 马尾松林分结实能力等级划分

项 目	I 级	II 级	III 级	IV 级
胸径/cm	≥27.0	[15.0, 27.0)	[13.0, 15.0)	<13.0
开花强度	≥0.92	[0.39, 0.92)	[0.12, 0.39)	<0.12
单株幼果数/个	≥240.0	[68.0, 240.0)	[24.0, 68.0)	<24.0
可见半面树冠球果数/个	≥72.0	[24.0, 72.0)	[8.0, 24.0)	<8.0

注:划分时以胸径、开花强度、单株幼果数和可见半面树冠球果数为指标,当两两指标不在同一等级时,以单株幼果数、开花强度所在等级为准。

根据表5的划分标准,对照表2、3的数据,将5块样地及其代表的林分的结实等级划分:第1、5号样地为II级;第4号样地为III级;第2、3号为IV级。

3.4 马尾松花芽、球果在树冠上的分布及相关性

马尾松雌花数量从树冠上部至下部逐渐减少,主要分布于第II~IV年龄段;雄花分布则相反,从树冠上部至下部数量逐渐增加,主要分布在第V~VIII年龄段;幼果集中在第III~VI年龄段;成果主要分布在第IV~VI年龄段。马尾松性比适中,林分雄花充足,平均性比为3.0。座果率以第V~VII年龄段最高,分别为73.8%,51.7%,63.4%。1991~1993年各年度平均单株座果率分别为:64.0%,45.5%,56.0%。平均座果率为55.5%,大约1.8个雌花产生1个幼果。

从表6看出,年龄段花果与整株花果之间高相关系数均分布在第IV~VI龄段,其中又以第IV龄段平均相关系数最大,因此第IV龄段为标准枝。

表 6 马尾松年龄段花果量与单株花果量的相关系数($n = 50$)

器 官	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
雌 花	0.08	0.39	0.66	0.84	0.79	0.72	0.56	0.19	0.01	0.03
幼 果	0.12	0.20	0.47	0.73	0.84	0.65	0.56	0.61	0.11	0.20
成 果	-	0.37	0.60	0.80	0.80	0.76	0.67	0.59	0.24	0.13

注: $r_{0.05}(40) = 0.46$ $r_{0.01}(40) = 0.53$

表 7 表明, 可见半面树冠花果量与整株花果量存在着紧密的相关性。因此可用可见半面树冠上获得的花果数量预测全株花果数量。

表 8 显示, 平均单株雌花与幼果, 平均单株幼果与成果相关紧密; 单株成果与雄花关系不紧密, 平均单株雄花与幼果之间无线性关系, 这说明在枝城市马尾松林分中雄花不是影响结实的主要因素, 这一点与前述关于林分性比的结论相一致。

3.5 球果、种子产量预测模型

以雌花、幼果和成果为预测因子(x), 采用标准枝法、可见半面树冠法和单株法, 与相应的预测对象(y), 选用抛物线、直线及对数 3 种模型进行拟合筛选, 最终以一元一次线性回归效果最佳。

表 9 显示, 可见半面树冠法拟合的模型具有较大的相关系数。因此, 可见半面树冠法估测整株花果产量是一种简便可靠的方法。平均单株幼果预测单株成果可靠性大, 可见基于幼果预测成果是可行的。采用邦弗伦尼联合估计方法^[4], 求得不同预测方法统一预测模型及预测精度, 并与原预测模型的预测精度进行比较(表 10)。

表 9 马尾松雌花、幼果与成果之间相关系数($n = 50$)

项目	年份	标准枝-整株	半面树冠-整株	单株幼果	单株成果
雌花	1991	0.87	0.98	0.96	0.64
	1992	0.86	0.93	0.97	0.76
	1993	0.82	0.89	0.83	-
幼果	1991	-	-	1.00	0.98
	1992	0.88	-	1.00	0.87
	1993	0.65	-	1.00	-
成果	1991	-	0.97	-	1.00
	1992	0.70	0.86	-	1.00
	1993	0.88	0.89	-	1.00

注: $r_{0.01}(40) = 0.5$ $r_{0.05}(40) = 0.46$

结果表明, 经过模型的统一拟合之后, 除平均单株雌花预测整株幼果的预测精度有所降低外, 其他预测模型的预测精度都有所提高, 说明统一预测模型的拟合是合适的。

将切面上饱满种子数(x)与全果饱满种子数(y)作一元一次线性回归, 并拟合统一方程:
 $y = 4.28 + 12.29x$ $r = 0.85$ 精度(p) = 93.0%

表 7 马尾松可见半面树冠花果量与全株花果量的相关系数($n = 50$)

器官	1991 年	1992 年	1993 年
雌花	0.69	0.93	0.89
成果	0.97	0.80	0.92

注: $r_{0.05}(40) = 0.46$ $r_{0.01}(40) = 0.50$

表 8 平均单株花芽、球果之相关系数($n = 50$)

对应关系	1991 年	1992 年	1993 年
雌花-幼果	0.96	0.97	0.82
雄花-幼果	0.18	0.13	0.22
幼果-成果	0.89	0.98	0.66
雌花-成果	0.37	0.33	0.30

注: $r_{0.05}(40) = 0.46$ $r_{0.01}(40) = 0.5$

表 10 马尾松统一预测模型及预测精度

预测因子	预测对象	模 型	平均精度/ %	原平均精度/ %
第 VI 段雌花	整株雌花	$y = 28.68 + 2.99x$	80.37	74.19
第 IV 段幼果	整株幼果	$y = 27.54 + 3.07x$	79.52	58.76
第 IV 段成果	整株成果	$y = 14.79 + 3.65x$	83.20	64.22
可见半面雌花	整株雌花	$y = 2.27 + 2.63x$	77.82	72.34
可见半面成果	整株成果	$y = 7.19 + 2.16x$	80.43	72.49
平均单株雌花	整株幼果	$y = 2.17 + 0.49x$	70.80	72.25
平均单株幼果	整株成果	$y = 4.71 + 0.79x$	83.17	76.88

注: 平均精度指统一预测模型预测 3 a 产量的平均值。原平均精度指分别各年份预测模型预测 3 a 产量的平均值。

在临时样地随机抽取的 50 株临时样株, 分别用各统一预测模型对成果进行预测精度检验, 预测精度如表 11。

检验结果表明, 基于成果预测球果产量的精度最高, 基于幼果的预测精度次之, 而基于雌花预测成果的精度最低。

表 11 马尾松成果预测模型的预测精度比较

器 官	预测因子	精度/ %
基于花芽	第 IV 段雌花	57.20
	可见半面树冠雌花	60.37
	平均单株雌花	73.46
基于幼果	第 VI 段幼果	59.83
	平均单株幼果	80.36
基于成果	第 IV 段成果	79.46
	可见半面树冠成果	82.48

4 结 论

(1) 枝城市马尾松始花年龄为 7 a 左右; 雌花始花期为 3 月 25 日, 雄花始花期为 3 月 20 日。

(2) 枝城市马尾松中性植株占绝大多数 (74.8%), 偏雄性与偏雌性植株分布比率相近。

雌花在树冠上由上至下数量逐渐减少, 雄花的分布则相反。雌花、雄花、球果分布具有明显的层次规律性。马尾松林分性比适中, 平均性比为 3.0, 雄花不是影响结实量的主要因素。

(3) 平均胸径 15 cm 以上, 开花强度 0.40 以上的林分结实能力较强。

(4) 雌花、幼果及成果的样标准枝均为第 IV~ VII 年龄段, 其中第 IV 年龄段花、果数量与整株花、果数量之间的平均相关系数最大, 可以选为标准枝。

(5) 球果切开法预测单果饱满种子数精度较高, 预测模型为 $y = 4.289 + 12.29x$ ($r = 0.85$), 与预测结实量的方法结合可以直接预测平均单株种子量。

参考文献:

- [1] 全国马尾松种子园课题协作组. 马尾松种子园建立技术论文集[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1990: 7~8
- [2] 喻方圆. 杉木种子产量预测方法的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 1991
- [3] Г. В. 斯塔里斯基. 梁立兴译. 针叶树种子产量的调查和预测[J]. 林业译丛, 1985, (4): 14~16
- [4] 约翰. 内特. 应用线性回归模型[M]. 北京: 中国统计出版社, 1990: 147~149

Study on Characteristics of Flowering and Fruiting and Seed Crop Prediction of Masson Pine

KONG Fan-bin

(Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The distribution of male cones, female cones, developing cones and mature cones, and hereupon, the ratio of male cones to female cones and the fruit-bearing percentage in crown were studied in Zhicheng County of Hubei Province. The number of small female cones on the top of new shoot in early spring was counted. Analysis was made on the relationship between cone crop of a tree and the number of cones in annual sections of the crown and the number of cones in visible crown. It was shown that the number of cones in certain section and the number of visible cones in crown were very informative to the cone crop of a tree. Several ways, including the number of visible cones in crown, the most informative section and the number of immature cones in a tree, were tested to predict cone crop for Masson pine in the county. Joint estimation for regression coefficients of 1991~1993's models were tested. Three stable regression models for cone crop prediction on the basis of female cones, immature cones and mature cones, respectively, were established.

Key words: *Pinus massoniana*; characteristics of flowering and fruiting; seed crop prediction

国家林业局“948”项目“木豆新品种及栽培技术引进”通过验收

由中国林业科学研究院资源昆虫研究所主持的国家林业局“948”项目“木豆新品种及栽培技术引进”于2001年11月30日在北京经专家组综合评审通过验收,并评为优秀。该项目技术路线、实施方法正确,项目各项考核指标均已达到或超过合同要求,效果较显著,具有很好的推广前景。

项目组在对印度木豆优良品种及栽培技术等进行了全面摸底、分析的基础上,引进105个新品种及育种材料,建立了种质资源基因库 1.3 hm^2 ;筛选出9个优良品种,其中6个品种在最适宜地区产量超过 $2\,250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,有4个品种超过 $3\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,建立良种扩繁基地 86.7 hm^2 ,并推广种植 $1\,333.3 \text{ hm}^2$ 。同时,对适应性试验结果进行了严格而科学的统计分析及检验,科学地评价了各品种丰产性、稳定性及适应区域,为不同环境选定适宜品种,为品种选定最适环境提供理论基础,使得适地、适树、适品种在生产中的实际运用成为可能,为国内木豆研究中领先的成果。

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所科研处)