

弗吉尼亚栎种子产量、脱落过程与种子形态特征的变异及稳定性

陈益泰¹, 王树凤¹, 陈雨春², 袁杰², 王涛², 陈炳³, 钱亚南³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 浙江省绍兴市上虞区海发农艺园林公司, 浙江 绍兴 312300;
3. 浙江省绍兴春苗特色园林工程有限公司, 浙江 绍兴 312300)

摘要:通过对弗吉尼亚栎引种人工林的调查观察,探讨其种子产量、脱落过程与种子形态特征的变异规律。在浙江省绍兴市上虞区滨海盐土上栽种的树龄9~11年生、栽植密度1 200株·hm⁻²的弗栎林分中,2012—2014年间随机标定35~42株母树定期观测脱落种子质量和年产量,并分析相同母树的种子产量、脱落期和种子大小与形状的个体差异及年度稳定性。连续3 a内弗栎平均单株种子产量分别为2.32 kg(变幅0.00~8.51 kg)、1.38 kg(0.03~5.61 kg)和2.92 kg(0.40~6.58 kg)。整个林分种子脱落过程历时长达80~100 d,落籽量的累计分布十分吻合 Logistic 模型,种子年产量的69.79%~82.56%在11月上旬至12月上旬的40 d内脱落。26株相同母树的种子产量存在显著的株间差异和年度差异($P \leq 0.0013$),单株种子产量的年度变异系数值变化于9.78%~138.76%。种子脱落开始期、高峰期、停止期的早迟也存在极显著的株间和年度差异($P \leq 0.0005$),年度相关较高($r = 0.42 \sim 0.67^{**}$)。种子百粒质量、种子长度、种子宽度和形状指数(种子长宽比)的株间差异极显著($P \leq 0.0004$),但年度差异不明显,年度相关更高($r = 0.64^{**} \sim 0.87^{**}$),种子形状是最稳定的特征。该研究表明,10 a左右的弗栎人工林具有相当高的种子生产能力,但单株间种子产量的差异巨大,年度稳定性较差;种子脱落期和种子形态特征的个体变异极其丰富,且较稳定;通过长期观察,可以识别出相对稳定的高产型、低产型和早熟型、晚熟型母树。

关键词:弗吉尼亚栎;种子产量;脱落过程;种子形态;变异;相关

中图分类号:S792.18

文献标识码:A

Variation and Stability of Seed Yield, Fall-off Process, Seed Size and Form in Live Oak

CHEN Yi-tai¹, WANG Shu-feng¹, CHEN Yu-chun², YUAN Jie², WANG Tao², CHEN Bing³, QIAN Ya-nan³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China;

2. Haifa Agri-Horticulture Company of Shangyu District, Shaoxing, Zhejiang Province, Shaoxing 312300, Zhejiang, China;

3. Chunmiao Garden Project Company of Shaoxing, Zhejiang Province, Shaoxing 312300, Zhejiang, China)

Abstract: In a 9-to 11-year-old Live oak (*Quercus virginiana*) plantation with density of 1 200 trees per hectare, which located at the sandy saline soil of Shangyu District, Shaoxing City, Zhejiang Province, the fallen seeds from 35~42 trees randomly selected were periodically collected and weighted from October to January for three years. The variation and stability of annual seed yield, fall-off rhythm, seed size and form characteristic of same trees were studied. The mean seed yields per tree in 2012, 2013 and 2014 were 2.32 (0.00~8.51) kg, 1.38 (0.03~5.61) kg and 2.92 (0.40~6.58) kg, respectively. The process from beginning to closing of seed dropping for a plantation lasted as long as 80~100 days, and they were highly coincident with Logistic model. The 69.79%~

收稿日期:2014-05-28

项目基金:浙江省“十二五”农业新品种选育专项竹木育种协作组课题(2012C12908-19);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(RISF2013003)

作者简介:陈益泰(1942—),男,江苏江都人,研究员,主要从事林木遗传育种研究。

82.56% of annual seed yield were fallen within 40 days from first 10 days of November to that of December. The seed yield of the 26 trees showed extreme variation among individual trees and years ($P \leq 0.0013$), and the annual variation coefficient of individual seed yield ranged from 9.78% to 138.76%. The early and late orders of initial, peak, and closing period of seed dropping displayed notable differences among individual trees and years ($P \leq 0.0005$), and higher year correlations ($r = 0.42 \sim 0.67$). The 100-seed-weight, seed width, seed length and form index (length/width) showed significant differences among trees ($P \leq 0.0004$), but not between years. The yearly correlations were higher ($r = 0.64 \sim 0.87$), and the seed form was the most stable character. The researches indicated that the Live oak plantation aged about 10 had fairly high seed production capacity, but the differences of seed yield among individual trees were huge, and unstable year correlations. Variations of seed fall-off period and seed size were extremely rich and with high year stability. Through long-term observation, some types of mother tree with relatively stable high or low yielding, and early-or late-maturing could be recognized and selected.

Key words: *Quercus virginiana*; seed yield; fall-off process; seed form; variation; year correlation

开花结实是树木生长发育从幼年期进入成年期的重要标志,也是树木对外界环境的适应性表现。种子是树木自身繁衍后代的物质基础,更是林业生产者的重要生产资料。林木的开花结实和种子生产,特别是经过遗传改良所获得的良种种子的生产与应用,一直以来受到林业部门和科技部门的高度重视。关于重要林木树种的开花结实生物学和种子园丰产技术等问题,科技人员已经开展了大量研究工作,发表了许多论著^[1-4]。但是,关于人工林结实规律方面的研究资料稀少,特别是对从国外引进的优新树种的有关研究相当薄弱,有待科技工作者去努力填补。

弗吉尼亚栎(*Quercus virginiana* Mill.)简称“弗栎”,原产美国,引种我国仅有10多年时间,由于其对强风、盐碱、干旱等逆境的较强抗性和常绿性等优良特性^[5-8],得到林业和园林部门的关注,并愈来愈多地用于长三角沿海平原地区的基干防护林带和城镇绿化建设之中。近几年来,弗吉尼亚栎的推广应用受到种子来源的限制,而种子进口价格昂贵。因此,如何促进现有弗栎引种人工林提早结实和提供商品用种的问题被提上议事日程。目前,国内外关于弗吉尼亚栎结实的研究资料几乎空白。本研究通过对弗栎引种人工林进行定株定期调查观测,探讨其种子产量、脱落过程与种子形态特征的变异规律,为弗栎采种林的营建和管理提供技术支撑。

1 材料与方法

在国家林业局“948”项目的支持下,中国林科院亚热带林业研究所从2001年起开展了弗栎引种试验研究,并与苗木生产企业结合,在浙江省上虞市

海涂建立起大规模弗栎人工林和苗木基地约160 hm²,7~8年生的人工林先后进入结实期,从中选定一个林分(面积0.33 hm²)开展弗栎结实规律研究。林分所在地理位置30°10' N,120°42' E。亚热带海洋性季风气候,近10 a平均年降水量1400 mm,年平均气温16.4℃,冬季绝对最低温度-7℃,夏季绝对最高温度39℃,海拔高度3~4 m,地下水位60~70 cm,土壤系粉泥质滨海盐土,全盐量0.36%~0.55%,pH8.0~8.7。观测林分的造林用种来源于美国路易斯安娜州,2006年用2年苗造林,初植密度9000株·hm⁻²。经过2~3次疏劣留优,2012年初保留密度1200株·hm⁻²,2013年树龄10 a,胸径10~12 cm,树高6~7 m。

据初步观察,弗栎种子成熟与脱落开始期一般不早于10月上旬,并具有参差不齐和历时较长之特点。在2012、2013和2014年间,从林中随机标定生长正常的母树35~42株,定株定期观测种子产量和脱落期的变化。其中,3 a内共同的观测株26株。每年从10月10日起,每隔10(±1)d(上旬、中旬、下旬)采收各观察株自然脱落种子称质量1次,直至种子脱落完毕,最后统计种子产量。为研究种子脱落期先后的个体差异,以10月1日为计算原点,将每个月的一个旬期(10 d或11 d)为一个时段,按时段先后逐一编码为1、2、3、4、---,分别表示的时段为10月上旬、中旬、下旬、11月上旬、---,以此类推。进而分析种子脱落过程(开始期、高峰期、停止期和脱落全程)和种子产量的群体和个体差异及年度稳定性。在2013年和2014年间,对24株母树的种子形态特征进行测定和分析。即在种子脱落高峰期,随机抽取50粒或100粒称质量,重复4次

计算百粒质量;并从中随机抽取40粒种子用游标卡尺逐一测量种子宽度与种子长度,分析种子百粒质量、种子大小和形状指数(种子长宽比)的株间变异和年度变化。

所有观测数据采用 Excel 2003 和 DPS v8.01 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 林分群体种子产量与脱落过程的年度变化

代表所选弗栎林分群体的 35~42 株母树连续 3 a 的种子产量观测结果列于表 1。2012 年树龄 9 年生时,样株中有 2 株未见结实,结实株率 94.29%,后 2 a 均为 100.00% 结实。弗栎平均单株种子产量的年度间差异明显。2014 年平均单株种子产量 (2.92 kg) 最高,是 2013 年的 2.12 倍。3 a 间种子产量的共同特点是每年的株间差异悬殊,变异系数高达 66.10%~90.58%。

弗栎种子成熟时,种子脐部与壳斗逐渐分离而脱落。由于株间种子成熟度的早迟差异和树冠不同部位的微环境差异(位于树冠上部、枝条稍部的种子

表 1 林分样株 3 年种子产量统计

观测年份	观测株数	结实株率/%	种子总质量/kg	平均单株种子产量/kg	株间极差/kg	标准差/kg	变异系数/%
2012	35	94.29	81.35	2.32	0~8.51	2.00	86.21
2013	42	100.00	57.84	1.38	0.03~5.61	1.25	90.58
2014	35	100.00	102.21	2.92	0.40~6.58	1.93	66.10

往往较迟成熟与脱落),导致林分的种子脱落经历一个相当漫长的过程。从表 2 可见,3 a 间从开始脱落至脱落完毕的全过程长达 80~100 d。每年的种子脱落开始期、高峰期和停止期出现的先后也有所不同。2012 年种子脱落开始于 10 月中旬,高峰期处于 11 月上旬,结束于 12 月下旬;2013 年的种子脱落总体上推迟,开始期在 10 月下旬,高峰期在 11 月中旬,停止期晚至次年 1 月中旬;2014 年种子脱落开始期出现最早,于 10 月上旬开始脱落,高峰期则迟至 11 月下旬,停止期在 1 月上旬。纵观 3 a 结果,弗栎林分种子脱落的集中时期在 11 月上旬至 12 月上旬的 40 d 内。这一时段,3 a 内落籽质量分别占当年种子总产量的 82.56%、69.79% 和 72.93%。因此,生产性种子采集应该选择这个时期分批进行。

表 2 林分样株种子脱落过程

时段序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
时段	10月上旬	10月中旬	10月下旬	11月上旬	11月中旬	11月下旬	12月上旬	12月中旬	12月下旬	1月上旬	1月中旬
2012年											
产种株数	0	2	22	28	33	33	33	25	16	0	0
种子质量/kg	0	0.40	10.73	20.58	18.23	18.44	9.91	2.35	0.71	0	0
占总产量比例/%	0	0.49	13.19	25.30	22.41	22.67	12.18	2.89	0.87	0	0
2013年											
产种株数	0	0	9	21	33	40	42	42	34	18	7
种子质量/kg	0	0	0.85	3.89	14.26	11.75	10.47	8.37	5.59	2.25	0.41
占总产量比例/%	0	0	1.47	6.73	24.65	20.31	18.10	14.47	9.66	3.89	0.71
2014年											
产种株数	2	12	21	31	35	35	33	28	21	5	0
种子质量/kg	0.23	6.20	12.01	15.04	19.65	27.23	12.62	6.20	2.56	0.47	0
占总产量比例/%	0.23	6.07	11.75	14.71	19.23	26.64	12.35	6.07	2.50	0.46	0

种子脱落期的年度变化与不同年度的气候差异有关。例如,2013 年 7—8 月间浙江地区遭遇数十年一遇的高温干旱,可能是影响当年弗栎种子发育并推迟成熟与脱落的重要因素。在种子成熟和脱落期间,如遇到暴雨大风天气,能加速种子脱落进程。

图 1 显示 3 个年度弗栎林分种子脱落量的时序变化趋势,它们高度吻合 Logistic 模型:

2012 年: $y = 100.3627 / (1 + \exp(5.3028 - 1.1702x))$, $P = 0.0001$, $R^2 = 0.9974$

2013 年: $y = 99.7659 / (1 + \exp(5.8647 -$

$0.9867x))$, $P = 0.0001$, $R^2 = 0.9956$

2014 年: $y = 101.1788 / (1 + \exp(4.5829 - 0.9547x))$, $P = 0.0001$, $R^2 = 0.9982$

3 条曲线的位置和陡度的差异反映出 3 a 种子脱落进程先后与速度的差异。2012 年种子脱落起步较迟,上升速度迅速,脱落结束较早;2013 年种子脱落起步最迟,中后期速度较缓,脱落结束最迟;2014 年种子脱落起步最早,初期速度缓慢,中后期速度与 2012 年相似,脱落停止期介于前 2 年之间。

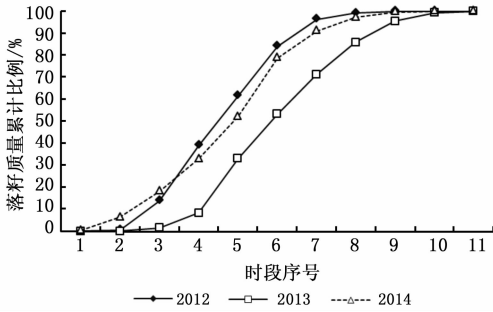
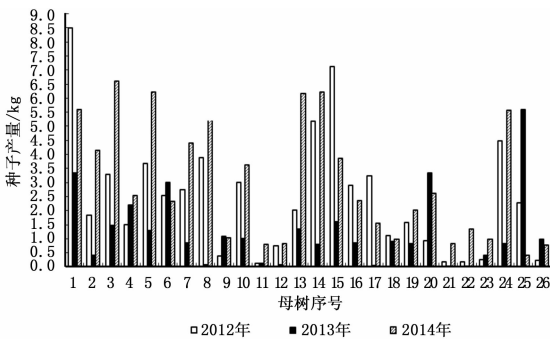


图1 弗栎林分脱落种子质量的累计分布曲线

2.2 种子产量的株间变异及其年度稳定性

考查种子产量的株间变异及其年度稳定性是本研究的侧重点之一。26株相同母树连续3 a的种子产量差异如图2所示。按实际产量数据计算的结果是:2012、2013和2014年26株母树的平均单株产量分别为2.46 kg、1.25 kg和3.02 kg,单株产量的极差分别为0.17~8.51、0.03~5.61和0.40~6.58 kg,单株产量的变异系数分别为87.07%、104.60%和69.95%。这些数据与表1中按35~42株母树的统计结果略有不同,但趋势一致。3 a内最高与最低产量之间分别相差49倍、169倍和16倍;同株母树种子产量的年度差异也很明显,多数母树的年度种子产量高低相差几倍、十几倍,有的甚至相差数十倍(8、17、21、22号)。26株母树3 a种子产量的联合方差分析结果表明(表3),种子产量的株间差异和年度差异均达到极显著水平。种子产量的株间差异是母树的遗传因子与环境因子共同作用的结果,相同母树种子产量的年度差异主要是气候因素的作用。



注:图中母树序号1~26所对应的实际母树号为20、25、33、43、60、68、78、85、106、119、155、156、171、172、201、227、247、264、312、328、341、343、353、355、396、434号。

图2 26株母树连续3年种子产量的变化趋势

表3 26株共同母树3 a种子产量变异的联合分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	p值
年度间	42.599 1	2	21.299 5	9.332 0	0.000 4
母树间	155.207 3	25	6.208 3	2.720 0	0.001 3
误差	114.119 2	50	2.282 4		
总变异	311.925 5	77			

人们更加关注的是母树种子产量的年度稳定性。对于不同外部环境(地点、年份等)下林木或作物品种性状稳定性的分析方法众多^[9],考虑到本研究的实际情况,这里仅采用年度相关、年度变异系数等比较简便的指标来衡量种子产量的年度稳定性。据分析,26株母树种子产量在2012年与2014年间的相关系数高达0.68**,但2012与2013年间和2013与2014年间的相关系数仅为0.27和0.03,因此总体看来,单株种子产量的年度稳定性不高,但不同单株之间种子产量的年度稳定性有差别。这从不同母树种子产量的年度变异系数的变幅之大(9.78%~138.76%)得到反映,年度变异系数愈低的母树,其种子产量的稳定性愈高。因此,选择相对高产稳产母树的空间是存在的。

以平均单株种子产量(2.25 kg)和平均变异系数(67.92%)划线,可将26株母树分为4个组(图3)。图中处于右下方的一组属于相对较稳定的中高产型母树,它们是20、60、68、78、119、201、328号7株母树。其中20号母树平均单株种子产量最高,且较稳定;68号母树产量较高,最为稳定。位于左下方的6株母树属于相对较稳定的中低产型母树。值得注意的是,位于左上方的343、341、156、155号等低产母树(3年平均单株种子产量低于0.6 kg)的年度变异系数很高,这与其某年种子产量基数极低有关。实际上,它们均可被视为相对稳定的低产型母树。

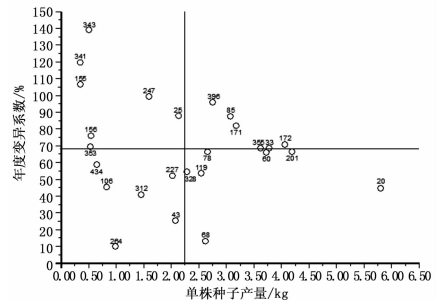


图3 26株母树3 a平均单株种子产量及其年度变异系数的散点图

2.3 种子脱落期的株间差异及其年度稳定性

当母树的种子产量很低时,很难准确地判断其种子脱落的变化过程。为此,从3年间26株共同母树中挑选种子产量较高的16株母树加以分析。在表4中所列的种子脱落开始期、高峰期、停止期及脱落全程的数值,均是各母树在3年内实际出现的时

段序数的平均值。数值愈小,表示时间愈早。两个数值相差1,即表示相差1个旬期(即10 d或11 d)。表4显示,弗栎种子脱落的开始期、高峰期和停止期的先后均存在极显著的株间差异和年度差异。种子脱落年均开始期的株间变幅为2.00~4.67,即变化于从10月中旬至11月中旬之间,表示最早与最迟母树的种子脱落开始期先后相差2.67个旬期或26.7 d;年均高峰期的株间变幅为2.67~7.00,即

从10月下旬至12月上旬,最早与最迟母树的种子脱落高峰期先后相差43.3 d;年均停止期的株间变幅为8.33~11.00,即从12月中旬至1月中旬,最早与最迟母树先后相差26.7 d。从 F 值和 P 值看,年度差异高于株间差异,说明种子脱落期先后受年度气候因素的影响更大。单株间种子脱落全程的变幅为50~80 d,其年度平均值的变幅为60~73 d,在母树间和年度间均未出现统计学上的显著差异。

表4 16株母树3a种子脱落期平均值的差异

树号	开始期	树号	高峰期	树号	停止期	树号	脱落全程
78	4.67	78	7.00	33	11.00	20	7.33
33	4.33	264	7.00	43	11.00	60	7.33
43	4.33	68	6.67	60	11.00	119	7.00
106	4.33	33	6.67	78	11.00	172	7.00
312	4.00	43	6.67	106	10.67	328	6.67
328	4.00	60	6.33	328	10.67	43	6.67
68	3.67	119	6.33	312	10.33	68	6.67
264	3.67	312	6.33	68	10.33	33	6.67
60	3.67	328	6.33	20	10.33	78	6.33
227	3.33	171	5.33	119	10.33	106	6.33
119	3.33	227	5.33	264	10.00	227	6.33
171	3.33	106	5.00	172	9.67	264	6.33
201	3.33	172	5.00	227	9.67	312	6.33
20	3.00	20	5.00	201	9.33	355	6.33
172	2.67	201	4.33	171	9.33	201	6.00
355	2.00	355	2.67	355	8.33	171	6.00
平均	3.60		5.75		10.19		6.58
母树间							
F 值	4.108 0	F 值	5.885 0	F 值	4.345 0	F 值	1.195 0
P 值	0.000 5	P 值	0.000 1	P 值	0.000 3	P 值	0.327 4
年度间							
F 值	28.028 0	F 值	13.151 0	F 值	26.812 0	F 值	1.364 0
P 值	0.000 1	P 值	0.000 1	P 值	0.000 1	P 值	0.271 1

355号母树是最典型的早熟母树,3a平均在10月中旬开始种子脱落,10月下旬出现高峰期,12月中下旬脱落完毕。78号母树是最典型的晚熟母树,3a平均在11月上中旬开始种子脱落,12月上旬出现脱落高峰期,1月中旬脱落结束(表4、图4)。

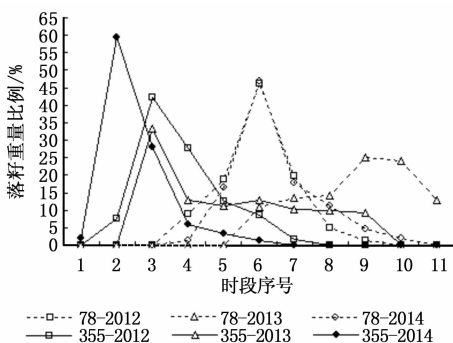


图4 早熟母树355号与晚熟母树78号的种子脱落期

表5列出了种子脱落期的年度相关分析结果,除了脱落全程指标之外,种子脱落开始期、高峰期和停止期在不同年度之间的相关系数大多达到显著或极显著水平,即它们存在着较高的年度稳定性。这说明,尽管年度环境因素对脱落期先后的影响较大,但其对于不同母树的效应是相近的。

表5 种子脱落期的年度相关

脱落过程	年份	2013年	2014年
开始期	2012年	0.516 4*	0.549 6*
	2013年		0.560 2*
高峰期	2012年	0.646 8**	0.614 5*
	2013年		0.617 4*
停止期	2012年	0.421 7	0.667 7**
	2013年		0.588 8*
脱落全程	2012年	0.231 9	0.258 2
	2013年	-0.179 6	
相关系数临界值 $\alpha=0.05$ 时, $r=0.497 3$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.622 6$			

2.4 种子性状间的差异与年度稳定性

在采种实践中,不同母树种子的大小和形态差异特别引人关注。表6是24株母树连续2a种子性状测试结果,表明种子百粒质量、种子宽度、种子长度和形状指数(种子长宽比)均存在极显著的株间差异,但年度差异不显著,反映其年度稳定性较高。252号母树种子百粒质量和种子宽度分别是330号母树种子的2.93倍和1.61倍。从表内 F 值和 P 值的相对大

小看出,形状指数比百粒质量的株间方差更大,差异显著性水平更高,而年度间的差异相反,说明形状指数比百粒质量更加稳定。弗栎种子形状通常呈卵形、广卵形,形状指数一般变动于1.300~1.700之间,但328号母树种子形状指数高达1.927,呈长橄榄形。相反,207号和252号母树的种子形状指数仅为1.193和1.230,近乎球形。据多年观察,这些母树的种子形态特征十分稳定,很容易辨认。

表6 24株母树2a种子性状平均值及差异显著性

项目	百粒质量/g	种子宽度/mm	种子长度/mm	形状指数(种子长宽比)
平均值	176.84	12.54	18.52	1.491
变幅	90.90~266.52	9.89~15.93	14.10~20.43	1.193~1.927
母树间				
F 值	4.3980	4.7660	5.2820	14.5620
P 值	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001
年度间				
F 值	0.5760	0.0560	0.0020	0.0220
P 值	0.4555	0.8150	0.9693	0.8834

从表7的年度相关分析得知,4个种子性状在年度之间的相关均达到极显著水平,尤其种子形状指数的年度相关系数高达0.8717。这说明种子大

小性状,尤其形状指数是比较稳定的性状,它们往往受到较强的遗传控制。

表7 母树种子性状间相关和年度间相关

项目	种子宽度-2014	种子长度-2014	形状指数-2014	百粒质量-2013	种子宽度-2013	种子长度-2013	形状指数-2013
百粒质量-2014	0.9163**	0.4655*	-0.3477	0.6407**	0.6357**	0.3667	-0.3069
种子宽度-2014	0.2443	-0.6014**	0.6277**	0.6992**	0.2092	-0.5383*	
种子长度-2014		0.6237**	0.3090	0.1026	0.6919**	0.5430	
形状指数-2014			-0.2445	-0.4595*	0.3979	0.8717**	
百粒质量-2013				0.9172**	0.7329**	-0.3036	
种子宽度-2013					0.5010*	-0.5847*	
种子长度-2013						0.3818	
相关系数临界值	$\alpha=0.05$ 时, $r=0.4044$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.5151$						

3 结论与讨论

研究林木结实,特别是研究新引进树种的结实特性和产量变化规律,具有重要的应用价值和学术意义。引种观察表明,5种北美栎树均在6~9龄开始结实^[10],弗栎6年生幼树开始结实,属于较早结实的树种。本研究证实弗栎又是结实能力强、种子产量丰盛的树种,树龄9~11年生、栽植密度为每公顷1200株左右的人工林群体连续3a平均单株种子产量为2.32、1.38和2.92kg,与该树种种子丰年间隔期1a的报道相符合^[2]。按年平均单株种子产量2.20kg推算,每公顷年产种子量可达2600kg以上,这是一个相当高的产量水平。据Sharik等^[11]报道,栗栎(*Q. prinus* L.)萌芽林在第7个生长季每

公顷产生了大约9100粒橡子。

栎树种子产量的株间差异和年度差异是十分普遍的现象。Healy等^[12]对一片以北方红栎(*Q. rubra* L.)为主的栎树林进行11a研究表明,橡子产量的个体变异和年度变异远大于疏伐处理效应。最高产和最低产个体之间橡子产量的差异在疏伐区是11倍,而在未疏伐区为28倍。在疏伐区最大年度橡实采收量超过最小年度采集量的135倍,而在未疏伐区为109倍。本研究表明,弗栎林种子产量的年度差异相对较小,但林内种子产量的株间差异似乎更大,在同一个年份,单株之间最高与最低产量相差十几倍至百多倍。因此,群体种子产量较高,个体产量差异巨大,年度稳定性不高,这是弗栎结实的重要特点之一。

众多研究认为,许多林木树种结实有丰年、歉年之分,影响林木种子产量及其稳定性的主要因素有无性系及产地来源、立地条件、栽植密度、气候因子特别是花期气象等^[1,3,4]。本研究中的弗栎林2013年种子产量的减产和推迟成熟与脱落,可能与当年遭遇数十年一遇的夏季高温干旱有关^[2,4]。Farmer^[13]报道了美洲白栎(*Q. alba* L.)种子园内种子产量存在广泛的无性系变异,说明遗传型是影响种子产量的重要因素。本研究对象弗栎林中不少单株连年低产,很可能是这些基因型结实能力低下的遗传特性所致。Healy等研究认为,通过任何连续3 a的监测,能够识别87%的北方红栎优良结实母树^[12]。本研究发现,弗栎不同单株的年度产量变异系数有很大差异,只要经过多年观察,就能鉴别出产量相对稳定的中高产型和低产型母树。另有观测数据表明(文中未予列出),弗栎单株种子产量与其冠幅的正相关达到显著水平,与胸径也有一定相关。为提高弗栎种子产量,需要及时淘汰那些相对稳定的低产母树,降低林分密度,促进树冠发育,这是弗栎母树林经营管理的必要措施。

关于栎树种子成熟期的研究资料稀少。Bonner^[14]研究认为果皮颜色和种实容易从壳斗分离(脱落)是栎树种子成熟的重要标志。研究表明,弗栎种子脱落过程具有历时漫长、残差不齐的特点,这是种子成熟度的株间差异和树冠部位微环境差异共同作用的结果。另外,弗栎种子基本没有后熟期,落地后只要温湿度合适立即萌发。这些特点给种子生产带来了一定不便。但研究发现,从11月上旬至12月上旬的40 d是弗栎种子脱落的集中时期。弗栎种子脱落开始期、高峰期、停止期的先后具有较高的年度稳定性,可以识别出相对稳定的早熟型和晚熟型母树。因此,一是选择种子集中脱落期间开展分批次规模化采种,二是通过观察识别标定出那些特别早熟型和晚熟型母树实行定株定期采种,这些是弗栎种子生产管理中减少种子损失、保障种子质量的有效措施。

众所周知,对经济树种而言,果实形态特征具有重要的经济价值。林木种实的大小和形状特征也有一定的经济意义。橡实的大小直接影响到苗木的生长与质量^[15],本研究组对32个弗栎半同胞家系的育苗试验表明,种子百粒质量和种子宽度与苗高、基径、根系干质量、地上干质量和总干质量之间均呈现极显著的正相关(另文报道)。种子大小对子代生

长的影响属于母体效应,这个影响有时长达数年甚至更长^[16]。本研究证实,弗栎种子百粒质量、种子宽度、种子长度和形状指数(种子长宽比)均存在极显著的株间差异,年度差异不明显,而年度之间的相关均达到极显著水平,这显示出种子大小性状的稳定性,而形状指数是最稳定的特征。这些信息的获得对于今后弗栎的品种化研究具有较重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 沈熙环. 种子园优质高产技术[M]. 北京:北京科学技术出版社,1994.
- [2] 美国农业部林务局. 美国木本植物种子手册[M]. 李霆,陈幼生,颜启传,等译. 北京:中国林业出版社,1984.
- [3] 迟健. 杉木种子园高产稳产的研究[J]. 林业科学,1992,28(4):302-310.
- [4] 方乐金,施季森. 杉木种子园种子产量及其主导影响因子的分析[J]. 植物生态学报,2003,27(2):235-239.
- [5] Batista W B, Platt W J. Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old growth forest[J]. Journal of Ecology, 2003,91(2): 197-212.
- [6] 陈益泰,陈雨春,黄一青,等. 抗风耐盐常绿树种弗吉尼亚栎引种初步研究[J]. 林业科学研究,2007,20(4):542-546.
- [7] 王树凤,胡韵雪,李志兰,等. 盐胁迫对弗吉尼亚栎生长及矿物质离子吸收、运输和分配的影响[J]. 生态学报,2010,30(17):4609-4616.
- [8] 王树凤,孙海菁,陈益泰,等. 模拟干旱胁迫下弗吉尼亚栎苗木叶片相关生理参数的分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(6):6-10.
- [9] 胡秉民,耿旭. 作物稳定性分析法[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [10] 陈益泰,孙海菁,王树凤,等. 5种北美栎树在我国长三角地区的引种表现[J]. 林业科学研究,2013,26(3):344-351.
- [11] ShariKT L, Ross M S, Hopper G M. Early fruiting in chestnut oak (*Quercus prinus* L.)[J]. Forest Science, 1983, 29(2):221-224.
- [12] Healy W M, Lewis A M, Boose E F. Variation of red oak acorn production[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 116: 1-11.
- [13] Farmer R E Jr. Variation in seed yield of white oak[J]. Forest Science, 1981, 27(2):377-380.
- [14] Bonner F T. Collection and care of acorns[C]//Loftis D L, McGee C E. Oak regeneration: Serious problems, practical recommendations. Symposium Proceedings, September 8-10, 1992, Knoxville, Tennessee. Presented by the Center for Oak Studies. General Technical Report SE-84. Asheville, NC: USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station,1993:290-297.
- [15] Kormanik P P, Sung S J S, Kormanik T L, et al. Effect of acorn size on development of northern red oak 1-0 seedlings[J]. Canadian Journal of Forrest Research, 1998,28(12):1805-1813.
- [16] 坎内尔 M G R,拉斯特 F T. 树木生理与遗传改良[M]. 熊文愈,吴贯明,选译. 北京:中国林业出版社,1981eg.