

杉木种子园球果的出籽率和饱粒率*

管康林 黄坚钦 何福基

(浙江林学院林学系, 临安 311300)

摘要 杉木不同无性系的结果量、球果生物学性状和环境因子对出籽率和饱粒率的影响已被观察。高出籽率与果型和果的大小无关,而与可育种鳞数、种子数和千粒重有关。良好光照和充分授粉能提高出籽率和饱粒率,减少空瘪涩粒。11月中旬采收的球果较之10月中下旬的出籽率和千粒重增加。1995年,横畈杉木1.5代10年生种子园获得丰收,球果出籽率为6.2%,饱粒率达62.0%。

关键词 杉木; 种子园; 花粉; 授粉; 可育种鳞; 种子质量性状

中图分类号 S722.83

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 的正常结实率可达 90.0%, 球果出籽率在 4.0%~5.0%, 饱粒率(即健全粒率)约 50.0%, 其他为空瘪涩粒, 即败育种子, 无生命力。不同无性系之间的出籽率和饱粒率有一定差异。这与遗传和环境有关。本文在文献 [1, 2] 基础上, 对不同无性系的球果生物学性状包括果型和果鳞孕育种子的分布规律、出籽率、空瘪涩粒率、饱粒率、发芽率和环境因子的影响进行分析, 以便采取合理的种子园管理措施, 达到增加产量的目的。

1 材料与方方法

1.1 材料

背景材料来自浙江横畈林场 6~10 年生 1.5 代杉木种子园^[1,2]。1991~1995 年进行 2 次疏伐, 保留密度从 750 株·hm⁻² 降到 525 株·hm⁻², 无性系 45 个, 郁闭度在 0.6 左右。种子园土壤为红壤, 肥力中等。每年夏季施氮磷钾复合肥 1 次, 单株施肥量 0.5~1.0 kg, 采果后去枯枝 1 次。着重对 26, 35, 38, 39, 43, 47, 49, 56, 60, 61 号等 16 个无性系定株进行生育特性、球果产量及考种测定。此外, 余杭长乐林场、淳安姥山林场和开化林科所杉木种子园提供部分材料。

收稿日期: 1996-08-22 修回日期: 1997-01-20

* 浙江省科学技术委员会资助项目

第 1 作者简介: 管康林, 男, 1935 年生, 教授

1.2 方法

定株观察项目有株型, 球果性状与产量, 雌雄球花数, 花粉撒布量与授粉方式。花粉撒布量收集参考陈岳武等方法^[3]。有效授粉率是采授粉期刚过的各部位球果 2 个, 剥取胚珠并用 FAA 液固定, 从中取 30 个胚珠制样作扫描电镜观察。

采果期有 10 月下旬和 11 月中旬 2 次。单株称取鲜果重, 另各取 20 个球果作为室内考种观察。考种内容有球果含水量、果型、果鳞数、可育种鳞(即含种子果鳞)与空瘪粒、涩粒和饱粒的比例及分布, 还有出籽率、涩粒率、饱粒率、千粒重和发芽率。种子萌发在 22~ 28℃ 光照培养箱中进行, 20 d 结束。除去基部未成形、不留胚珠小黑点的小果鳞(即苞鳞), 随之从下至上一片片剥下分别计入上下部无种子的果鳞, 这部分果鳞称不可育种鳞数, 中部含种子的称可育种鳞数^[4]。

2 结果与分析

2.1 花粉撒布、授粉与环境

据观察, 杉木种子园的花粉撒布在静风时的垂直空间从下至上呈递减趋势(表 1)。当风速大于 $2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, 林间花粉量增加 53.3%, 各部位的花粉频率变化甚少(表 1)。温度高, 湿度低, 花粉撒布量大, 而低温高湿对撒粉有滞后作用。所以, 花期阴雨多日, 在天晴无风时进行人工辅助授粉是有必要的。

表 1 静风时和风速大于 $2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 不同高度花粉日平均数

Table 1 The average pollen amount a day collected at different height when calm and over 2 meters per minute

高度 /m	静 风		风速 > $2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	
	浓度 /粒 · cm^{-3}	频度 /%	浓度 /粒 · cm^{-3}	频度 /%
9	298.1	12.6	441.5	12.2
7	308.3	13.0	517.1	14.2
5	340.4	14.4	505.4	13.9
3	411.9	17.4	618.9	17.1
1	1 007.2	42.6	1 546.0	42.6
总 计	2 365.9	100	3 628.9	100

表 2 是 49 号和 60 号无性系的授粉率。树冠上部的雌球花要比下部的高。这可能是与上部空气流动速率大和异花授粉率高有关。经过计算, 1993 年 49 号和 60 号无性系在正常天气下, 单株可撒布的花粉量分别是 21.08×10^8 和 14.12×10^9 , 分别为胚珠的 23 166 和 190 431 倍。由此可见, 胚珠的花粉源是充足的。

2.2 不同无性系的球果生物学性状

2.2.1 球果的优良性状表现 表 3 是横畈

1.5 代 10 年生杉木种子园 16 个无性系球果性

状的考种资料。这年气候正常, 球果发育良好, 为高产年。果型参照林平等方法, 划分为 6

表 2 树冠各层胚珠有效授粉率

Table 2 The effective pollination percentage at different height of the crown of 2 clones

无性系名称	树冠部位	授粉率 /%
49号	上	66.5
	中	31.4
	下	42.9
60号	上	81.0
	中	51.4
	下	30.8

类^[5]。它可作为某些无性系球果特征的外部鉴定,但不能作为一种经济性状优劣来判断。一般,果大,果鳞多,含种子也多,但并不都是这样。如 55号的果鳞 59片,含种子 107粒,而

表 3 16个无性系的球果生物学性状

Table 3 The observation of cone biological traits of 16 clones

无性系	果型	单果质量 /g	不可育种鳞			空粒	饱粒	涩粒	千粒重 /g	出籽率 %	发芽率 %
			上部	下部	中部						
35高产	宽鳞松张	11.9	6.5	15.1	32.5	3.1	71.3	15.7	7.7	5.5	51
38高产	半圆紧包	10.1	7.2	17.6	35.8	8.0	69.8	27.2	7.6	6.9	65
39高产	长鳞紧包	11.7	8.2	17.6	34.0	10.0	59.2	31.8	8.2	6.3	60
49高产	宽鳞紧包	9.5	5.1	15.2	30.1	7.9	62.3	19.6	7.5	6.3	70
53高产	宽鳞反卷	14.2	9.2	11.4	37.6	11.0	86.1	21.5	7.0	5.2	54
56高产	长鳞紧包	12.0	7.3	12.0	40.9	7.4	85.6	27.0	8.1	7.5	69
60高产	宽鳞紧包	11.9	5.1	15.0	42.6	9.0	92.0	23.0	6.8	6.4	63
54高产	宽鳞紧包	10.6	5.4	21.5	35.1	4.9	76.4	21.6	6.7	5.3	45
55高产	宽鳞松张	14.5	5.6	17.9	35.4	6.6	85.9	15.1	9.0	6.1	61
43中产	长鳞紧包	12.2	9.1	14.9	32.9	4.6	68.1	22.7	11.0	7.0	49
61中产	宽鳞紧包	14.2	8.6	22.8	35.4	7.2	69.2	29.6	8.1	5.5	48
26中产	宽鳞松张	12.3	7.6	17.9	31.6	12.0	55.9	26.1	6.2	4.1	46
47中产	宽鳞反卷	6.6	4.5	12.0	28.5	9.0	48.3	20.7	7.0	7.2	60
40低产	宽鳞反卷	9.6	5.8	23.0	25.0	7.8	58.9	14.7	7.0	5.4	57
44低产	宽鳞紧包	5.9	6.6	11.0	29.4	6.8	64.3	16.1	6.3	5.8	59
64低产	半圆紧包	14.0	5.3	16.5	33.9	3.7	70.7	27.5	7.2	5.2	55

61号的果鳞 67片含种子 106粒 应该说可育种鳞数比值高是一种优良性状表现 如 56号和 60号的这种比值达 69%~70%,而一般只有 50%~60%。同时,它们的出籽率分别为 7.3%和 6.4%,而饱粒率也不低

表 3的各无性系的空瘪粒率比较低,平均只占 6.7%,而涩粒率占 25.0%,饱粒率占 68.3%。高饱粒率虽有遗传因素,但易受环境影响 例如,1994年,49号、60号和 61号无性系的种子饱粒率因受花期冻害影响分别是 47.8%,44.7%和 42.3%^[4],然而,1995年的饱粒率分别是 69.3%,74.4%和 64.4% (表 3)。

2.2.2 果鳞孕育种子的序列观察 球果上下部不可育种鳞在开花时,几乎都含有 1~3个胚珠,在授粉后,原胚发育前败育,逐渐缩成小褐点 关于胚珠早期败育原因,除未授粉外,可能还与胚珠先天发育不足有关,具有遗传因素^[4]。

从表 4考种资料看,49号无性系球果下部不可育种鳞有 14~18片,上部有 4~7片,中部可育种鳞有 25~33片,含种子总数 75~93粒 然而,它们的空瘪涩饱粒的比例有很大变化,有些球果的空瘪粒率高达 50%,有些只有 14% (表 4) 这组 5个球果是单株上下部混合取的样品 为了解空瘪粒在可育种鳞上的序列分布,我们对表 4中的 3,4,5号果用表 5方式列出。

表 4的 1,4,5号果的涩粒率仅有 9.9%~18.5%而 2,3号果为 29.3%~39.1%,相差很大 从表 5排列可以看到,3号果的高空涩粒广泛地分布在中部可育种鳞内,无多少规律,也无明显的病虫害迹象 4,5号果空涩粒大部分分布在可育种鳞的上下部两边,属正常现象

表 4 49号无性系若干球果的果鳞数与各类种子

Table 4 Number of cone-scale and seed of some cones for No. 49 clone

球果编号	单果质量 /g	不可育种鳞		可育种鳞	空粒	涩粒	饱粒	总数	涩粒率 /%
		上部	下部	中部					
1	9.0	7	18	26	5	14	55	74	18.4
2	8.5	4	15	25	2	22	51	75	29.3
3	11.7	4	19	33	10	36	46	92	39.1
4	10.2	4	14	31	5	17	71	93	18.5
5	11.0	6	15	28	3	8	70	81	9.9

表 5 49号无性系球果可育种鳞序列与各类种子分布*

Table 5 The fertile cone-scale sequence and various seed distribution of No. 49 clone

球果编号	种 鳞 号																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3	②	(1)②	③	3	(2)	1②	1(1)	2②	① 2	③	① 2	(1)①	① 2	① 2	3	① 2	① 2
4	① 2	3	① 2	3	② 2	① 2	① 2	① 2	3	3	3	① 2	3	3	① 2	① 2	3
5	(1)①	② 1	① 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	① 2	3

球果编号	种 鳞 号																
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
3	3	① 2	3	③	(1)②	① 2	② 1	3	① 2	3	3	(2)①	② 1	(1)	(1)②	(1)	
4	3	3	3	3	3	3	① 2	3	② 1	3	② 1	② 1	② 1	(3)	(2)		
5	3	① 2	3	3	① 2	3	3	3	3	① 2	(1)	1	(1)				

说明: * 1~33为可育种鳞顺序号, () 示空粒, ○示涩粒, 其他为饱粒, 数字表示含种子数

一株杉木结有许多球果, 由于它们所处的微小生境不同, 球果的发育状态有区别, 所以, 空瘪涩粒与饱粒率的差异也存在。树冠的上部球果种子饱粒率明显高于中下部, 而各部位内亦有差异^[4]。可以认为高出籽率和高饱粒率的球果一定处于生长健壮的侧枝上, 而且授粉充分, 光照良好。所以, 空涩粒的发生一般不是因球果营养供应不足所致。

2.3 影响出籽率和饱粒率的因素

2.3.1 遗传因素 表 3 资料表明无性系间最高出籽率比最低的高出 46.0%, 有明显的遗传差异。在球果籽粒中只有健全的饱粒种子才有价值。出籽率高并非饱粒率相应也高。例如表 3, 在正常年份, 35 号的出籽率为 5.5%, 而饱粒率占 82.0%; 56 号的出籽率为 7.5%, 而饱粒率为 76.0%。通常构成球果高出籽率的多种良好因素, 不可能都集中在一起的(表 6)。浙江开化林科所的 4 个无性系球果, 可育种鳞占 52%~57%, 出籽率在 5.3%~6.1%, 但 55 号和 61 号的饱粒率为 56.0%, 而开 21 号, 60 号只有 40.0%~42.0%。姥山林场 2 个无性系可育种鳞率比较高, 其中, 柯桥 118 号的饱粒率达 60.0%, 出籽率 6.2%, 而零陵 39 号相应的低。长乐林场阳 15 号含可育种鳞高达 62.7%, 而 244 号为 51.1%。它们的每鳞结粒数分别为 2.5 和 2.8, 而饱粒率 244 号要比阳 15 高 16.5%, 出籽率也高 0.5%。相对而言, 球果的遗传性状和果型是稳定的。可育种鳞数、千粒重和出籽率也比较稳定, 空瘪涩饱粒的比例变化比较大。

表 6 10个无性系的球果生物学性状 (1994年)

Table 6 Cone biological traits of 10 clones

无性系号	单果质量 /g	果鳞 总数	可育种鳞 %	种子 总数	饱粒率 %	千粒重 /g	出籽率 %	发芽率 %	
开化	开 21	8.0	44.0	57.3	76.6	42.8	7.5	5.8	40
	60	17.1	66.4	52.7	97.2	40.2	11.2	5.5	39
	55	12.4	62.8	55.4	94.0	55.2	7.8	5.6	56
	17	11.2	70.6	55.2	110.0	57.0	6.6	6.1	57
姥山	柯桥 118	12.6	69.0	52.7	98.8	60.3	8.2	6.2	37
	零陵 39	11.2	59.0	54.2	90.6	43.2	8.1	6.0	54
长乐	丽 14	12.3	72.4	47.5	88.2	46.8	8.3	5.3	45
	244	9.5	51.2	51.1	73.2	65.6	9.1	6.4	53
	龙 15	9.2	59.2	46.5	69.2	39.7	7.2	4.5	38
	阳 15	11.0	71.4	62.7	113.8	49.1	7.5	5.9	56

2.3.2 环境因素 花期多雨与低温 杉木开花期多雨会影响花粉撒布, 导致坐果率、出籽率和饱粒率的下降。1993年春季多阴雨, 横畈杉木种子园坐果率约 75.0%, 而出籽率 4.0%, 分别要比 1991年低 15.0% 和 1.7% (表 7)。加之, 当年树冠郁闭度偏大, 对后来球果发育也有不良影响。所以, 饱粒率也明显降低。但是, 我们通过单株人工授粉试验得到部分改善, 提高了出籽率和饱粒率^[4]。

浙江省 1987年遭到春寒, 导致全省杉木种子园冻害, 种子比 1986年减产 2/3^[6]。1994年横畈种子园 3月 25~ 27日的花期出现 1~ 3℃低温, 引起严重冻害, 坐果率仅有 30.0%, 出籽率 3.7%, 而 1995年气候正常, 种子园的坐果率达 90.0%, 出籽率 6.2%, 饱粒率 62.0%。由此可见, 气候对球果的坐果率、出籽率和饱粒率的影响很大。

光照 目前杉木种子园的群体光合作用与开花结实关系很少研究, 我们也只是测定过若干无性系植株的侧枝光合强度和林内光照条件^[1]。横畈杉木种子园位于坡度 30°以下的小山丘上, 坡向的产量差距也是明显的。例如山顶上的 26号和 60号无性系比东北坡的增产 50%, 甚至 1倍。

1993年, 横畈杉木种子园进入 8年生结实盛期, 树冠郁闭度已达 0.7, 加之春秋多雨, 林内光照差, 影响球果籽粒发育, 导致出籽率和饱粒率的明显下降 (表 7)。随后冬季进行了一次疏伐, 保留 525株·hm⁻²。1995年气候正常, 出籽率和饱粒率都明显提高 (表 7)。当年林地树冠投影郁闭度为 0.6左右, 树冠层中上部光照强度在 25~ 50 kLx, 下部在 7~ 20 kLx, 大约为中午全光照的 20%~ 50%。可以认为这样的林间光照条件是良好的。

病虫害 已知杉木扁长椿成虫或幼虫刺吸苞鳞和幼嫩种子, 横畈杉木种子园前 10a该虫未有明显发生, 而后有所加剧。据 1993年观察 (即果鳞), 每个球果果鳞平均虫孔 0.7个, 而 1966年的虫孔增加到 3~ 7个。被虫咬的果鳞局部变黄干枯, 种子空瘪。1993年 10月间多雨,

表 7 多雨对球果出籽率和饱粒率的影响

Table 7 Rainy day on seed-extracting and full seed percentage of cones

年 份	1991	1993	1995
气 候	正常	春秋多雨	正常
郁闭度	0.6	0.7	0.6
出籽率 %	5.7	4.0	6.2
饱粒率 %	58	44	62

采下球果为褐腐病侵染,如 61号无性系的种子涩粒率达 68.0%。

2.3.3 成熟度与采收期 浙江杉木种子园的球果采收期大多在 10月下旬。其实,这时气候温暖,日照充足,球果绿色,含水量高达 72%,而果鳞内富含蛋白质、脂肪(表 8~9)、糖分与氨基酸^[1]。从表 8结果也表明 11月 12日采收的球果比 10月 22日采收的含水量降低

表 8 采果期对球果含水量、出籽率和千粒重的影响

Table 8 Effect of harvest time on cone water content seed-extracting percentage and thousand seed weight

无性系号	10月 22日				11月 12日			
	含水量 %	出籽率 %	千粒重 /g	发芽率 %	含水量 %	出籽率 %	千粒重 /g	发芽率 %
49	72.2	6.3	7.5	70	61.0	7.6	9.7	62
60	73.1	6.4	6.8	63	62.9	7.1	8.8	64
35	72.3	5.5	7.7	64	65.0	6.3	8.7	66
56	72.5	7.5	8.7	69	63.5	8.2	10.0	73
61	70.0	5.2	8.1	58	66.0	5.5	8.6	65

%,而出籽率和千粒重分别提高 0.8%和 1.4 g,但发芽率无实质性变化,已属生理成熟了。然而,从种子生理角度看,种子成熟度高,有利于延长贮藏活力和幼苗生长的健壮度。由此认为杉木球果采收期可延迟到 11月中旬或自然落籽之前。其中,含水量要降到 60%左右,油脂含量不超过 10%,这两者可作为采收球果的成熟生理指标。

2.3.4 出籽率的检测标准 出籽率= (干

种子鲜果重) × 100。这种计算很易产生误差,出籽率随球果的含水量降低而增加。自然干燥的球果经脱粒,种子含水量仍有 12%左右,为商品干燥种子了。我们认为,如果出籽率的分子和分母均以干重表示,实则有更好的对比性,且计算方便准确。例如,在农业上,水稻经济系数=谷粒干重/稻秆干重。杉木双干重比的出籽率大约在 14%~18%,要比鲜果作分母的出籽率增加 10%左右。这个见解仅供讨论。

2.3.4 施肥管理 在杉木种子园贫瘠土壤上施肥能提高球果产量、出籽率和千粒重;在肥力中等土壤上施肥增产不显著,但每年需要施肥以作补充^[7]。本试验的种子园群体结构和个体生长发育是良好的。从测定的侧枝叶绿素含量、光合作用速率、花芽分化和球果发育过程的碳氮代谢状况看也是正常的。其中,蔗糖作为光合产物水平,鸟氨酸作为氮素水平,以此可作为杉木施肥的生理指标已被提出^[1]。

应该说,提高杉木种子园的球果产量和种子品质是一个综合技术问题。这里包括优良无性系筛选,加强林地管理,注意群体合理结构与光能利用率,以及环境因子对出籽率和饱粒率的影响。1995年横畈 1.5代杉木种子园获得种子 243 kg·hm⁻²,出籽率 6.2%,饱粒率 62.0%,也证明了这些。这个产量指标居全国首位。

表 9 采收期对果鳞和种子的脂肪与蛋白质含量的影响

Table 9 Effect of harvest time on lipid and protein in cone's scale and seed

采收期	样品	脂肪 %	蛋白质(干重) /mg·g ⁻¹
10-22	果鳞	13.2	65.0
11-12		10.4	37.4
10-22	种子	22.7	26.1
11-12		26.5	28.2

致谢 浙江省开化县林科所、长乐林场和姥山林场提供过部分材料, 以表感谢

参 考 文 献

- 1 管康林, 严逸伦, 郑钢. 杉木发育生理研究. 浙江林学院学报, 1994, 11(2): 105~ 115
- 2 管康林, 严逸伦, 郑炳松. 杉木花芽分化过程中的含氮物质与内源激素的作用. 浙江林学院学报, 1996, 13(3): 248 ~ 254
- 3 陈岳武, 蒋恕. 杉木无性系种子园花粉数量的研究. 南京林产工业学院学报, 1979, (1~ 2): 111~ 120
- 4 管康林. 杉木球果空瘪涩粒成因的综合分析. 浙江林学院学报, 1997, 14(1): 88~ 93
- 5 林平, 张卓文, 管圣全. 姥山林场杉木初级种子园球果类型及其种子分布特征. 浙江林学院学报, 1990, 7(4): 361~ 364
- 6 浙江省杉木种子园稳产高产协作组. 杉木初级种子园高产稳产综合配套技术研究. 见浙江省林业厅种苗站主编. 林木良种繁殖体系研建论文集. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992. 41~ 51
- 7 迟健, 胡德活, 王嫩良, 等. 杉木种子园施肥研究. 见: 沈熙环主编. 种子园技术. 北京: 北京科学技术出版社, 1992, 213~ 221

Guan Kanglin (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Huang Jianqing, and He Fuji. Cone Seed-extracting Percentage and Full Seed Percentage for Seed Orchard of Chinese Fir. *J Zhejiang For Coll*, 1997, 14 (2): 127~ 133

Abstract observed the cone-bearing number, cone biological traits of different clones and effect of environmental factors on seed-extracting percentage and full seed percentage. High seed-extracting percentage was not relation to cone type and size, but interrelated to fertile seed scale, seed numbers and thousand seed weight. Well sun light and full pollination could lift seed-extracting percentage and full seed percentage, reduce empty seed and woody seed. Harvest cone in the middle of November had more seed-extracting percentage and thousand seed weight than one in the middle end of October, but had not noticeable difference in germination percentage. Hengfan seed orchard of 1.5 offspring Chinese fir, 10 years old with intensive mangement, reaped a bumper harvest ($243 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) in 1995, seed-extracting percentage was 62%, and full seed percentage was 62% in cone.

Key words *Cunninghamia lanceolata*; seed orchard; pollen; pollination; fertile seed-scale; seeds; qualitative characters