

小区株数对橡胶树无性系茎围生长的差异性分析

张凤良^{1,2}, 吴 裕^{1,2}, 李小琴^{1,2*}, 杨 湑^{1,2}, 周 艳^{1,2}

(1. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100;

2. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]以4个橡胶树优良无性系为材料,测定其连续7年的茎围生长指标,分析橡胶树无性系田间试验中不同小区株数处理下茎围生长均值、相对极差及变异系数的变化规律。结果显示,随小区株数增加,参试的4个无性系茎围变异系数与相对极差均呈现先快速下降、后缓慢下降的趋势,相对极差在15~20株/小区时降至较低值,变异系数下降幅度从15株起降至较低值。到第7年时,4个无性系5株小区和10株小区的茎围均值与其他处理间差异达显著或极显著水平,而15株及以上小区各处理间的茎围差异不显著。综上,针对茎围生长性状而言,田间试验设计可采用15株小区的模式,苗期变异系数较大的无性系可适当增加小区株数。

[关键词]橡胶树;无性系测定;田间试验;小区株数;茎围

中图分类号:S794.101 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)03-0085-07

Analysis of Plot Size on Stem Circumference Differences Growth in *Hevea brasiliensis* Clones

ZHANG Fengliang^{1,2}, WU Yu^{1,2}, LI Xiaoqin^{1,2*}, YANG Tian^{1,2}, ZHOU Yan^{1,2}

1. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Research on Rubber Tree, Jinghong 666100, China;

2. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: Four superior *Hevea brasiliensis* clones were used as materials to measure their annual stem circumference growth over seven consecutive years. This study analyzed the variation patterns of mean stem circumference, relative range, and coefficient of variation (CV) in field trials with different plot sizes. The results showed that for all four clones, both CV and relative range initially decreased rapidly before gradually declining with increasing plot sizes. The relative range dropped to a relatively low level at 15~20 trees per plot, while the reduction in CV stabilized to a low magnitude beyond 15 trees per plot. By the seventh year, the mean stem circumference of plots with 5 and 10 trees differed significantly or highly significantly from other treatments, while no significant differences were observed among plots with 15 or more trees. In conclusion, for stem circumference growth traits in field trials, a plot size of 15 trees is recommended. Specifically, *H. brasiliensis* clones with a higher coefficient of variation at the seedling stage are advised to increase the plot size.

Key words: *Hevea brasiliensis*; clonal test; field trial; plot size; stem circumference

无性系测定的主要目的是评价无性系的遗传品质,估算重复力参数,并为生产筛选提供优良无性系品种。田间试验设计是控制试验误差的核心手段,重复数与小区株数是其中的关键参

数,其设置是否合理直接关系到试验结果的准确性^[1]。

陈岳武等^[2]提出,应依据林木育种进程调整小区株数:种源试验、子代测定及相关科目可采

收稿日期:2025-12-30

基金项目:云南省热带作物科技创新体系建设专项资金项目(RF2025);

云南省现代农业橡胶产业技术体系建设育种与繁育研究室(2024KJTX-12-2)

作者简介:张凤良(1984—),男,副研究员,硕士,研究方向为橡胶树遗传育种。E-mail:278540721@qq.com

*通信作者:李小琴(1987—),女,副研究员,硕士,研究方向为橡胶树遗传育种。E-mail:512504431@qq.com

用3~9株的小区规模,进入品种区域化试验阶段后,则宜采用49~100株的小区规模。国外学者针对辐射松(*Pinus radiata* D. Don)子代测定的研究认为,适合家系的小区株数以10~20株为宜,且适宜的家系小区株数与性状遗传力相关性为:当遗传力越小时,所需的家系株数越多^[3-4]。胡德活等^[5]围绕杉木无性系小区株数与生长关系展开的研究表明,测定所需的适宜无性系株数应在20株以上,其中以30株的测定效果为佳。

李新国等^[1]指出,美国林木田间试验设计大多采用4~10株小区,重复8~10次。20世纪80至90年代,在我国林木试验测定中,对重复次数与小区株数也做了大量研究。例如:在杉木测定过程中,全国杉木种源协作组^[6]在种源试验中分别采用6次重复30~45株小区和8~10次重复4~6株小区;江西省杉木种源试验采用BIB设计的3×10株小区^[7];陈岳武等^[2]在杉木子代测定中采用30~50次重复的单株小区;杨宗武等^[8]对杉木种源-家系-个体联合选择时采用9次重复8株小区;而在刺槐(*Robinia pseudoacacia*)^[9]、泡桐(*Paulownia fortunei*)^[10]和毛白杨(*Populus tomentosa*)^[11]等树种的无性系测定中,分别采用了4~7次重复4~9株小区、3次重复4~5株小区以及6~8次重复3~4株小区。由于田间设计的经验性较强,国内尚未形成统一的技术规程,李新国等^[1]通过系统总结国内外现有的各类方法并提出:在多数林木田间试验中,重复次数可采用3~6次,若处理间变异较大,则应采用7~9次;小区株数方面,无性系测定可设置4~10株,种源试验与子代测定可设置5~24株。

橡胶树(*Hevea brasiliensis*)无性系测定试验已开展数十年,在进行橡胶树无性系田间试验测定时,不同研究者所设计的小区株数差异较大。张晓飞等^[12-14]对橡胶树无性系测定时多采用3次重复、60株小区的设计;刘忠亮等^[15-16]对橡胶树高级系比无性系采用4次重复、45~71株小区的设计;李士荣等^[17]对初级系比无性系采用3次重复、15株小区,对高级系比则采用3次重复、45株小区;高新生等^[18]则设置了两种规格,分别为4次重复60株小区和1次重复250株小区。关于橡

胶树无性系田间测定,每个无性系应设置多少重复,小区株数多少为宜,以及测定时需选取多少样株,才能既准确反映实际情况,又能减少土地、人力和财力投入,目前尚未见相关研究报道。本研究以1—7年生橡胶树无性系植株为材料,通过测定不同株数小区处理下的年茎围生产量,分析不同株数小区处理茎围生长观测结果的差异性,以进一步确定橡胶树无性系田间试验设计的适宜小区株数,为今后制定合理的橡胶树无性系田间试验设计方案提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省景洪市的云南省热带作物科学研究所橡胶试验基地,地理坐标介于22°00′~22°02′N、100°46′~100°48′E之间,海拔550~605 m。该区域全年无霜,年平均气温23.3℃,干湿季特征分明,其中80%~90%的降雨量集中在5—10月,年平均降雨量1200 mm,年平均湿度77%。土壤类型为酸性红土,pH值5.5~6.5,土层深厚,适宜橡胶树生长。

1.2 材料

从云南植胶区收集保存的4个橡胶树优树无性系为试验材料,其种质号分别为187、272、625、628号,4个优树无性系具有生长快、抗寒性强、产量高等特点。采集芽条建立无性系测定林,具体种植方式如下:以GT1自然授粉种子培育的实生苗为砧木,于2017年开展嫁接育苗工作;2018年7月中旬,按2.5 m×10.0 m的株行距进行移栽定植,并参照生产性林地的常规技术标准实施抚育管理。目前苗木整体长势良好。

1.3 试验设计与测定方法

于2019年12月至2025年12月期间进行试验,连续7 a于每年年底对各无性系植株茎围逐株测量。测量高度统一选取树干距地面1.3 m处,采用软尺进行测量,测量精度为0.1 cm。试验共设置10个小区处理,对应的小区植株数量分别为5、10、15、20、25、30、35、40、45和50株。鉴于试验区地势较为平缓,试验未设置重复次数。栽

培方式为按照 187、272、625、628 号的顺序,依次一次性完成各无性系对应小区的定植工作。

1.4 数据分析

使用 Excel 2007 软件进行数据录入、汇总和制表,采用 SPSS 23.0 软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 橡胶树无性系不同小区株数处理的茎围差异性比较分析

对参试的 4 个橡胶树无性系在不同株数小区处理下的茎围生长进行分析,结果显示,187、625、628 号无性系从第 1 年到第 7 年,差异均达到极显著水平 ($P<0.01$);272 号无性系在第 1 年至第 4 年间差异不显著,而第 5 年至第 7 年间差异达到显著水平 ($P<0.05$)(表 1)。

表 1 橡胶树小区不同株数处理的茎围均值差异性比较 单位: cm

无性系	树龄/a	不同小区株数的茎围									
		5 株	10 株	15 株	20 株	25 株	30 株	35 株	40 株	45 株	50 株
187	1	4.52C	4.12C	4.55C	5.87B	6.72A	6.90A	6.81A	6.76A	5.29AB	6.81A
	2	8.38C	8.61C	9.33AB	9.88AB	10.40A	11.67A	10.80A	10.74A	10.62A	11.09A
	3	13.00B	13.78B	14.77AB	14.93AB	14.76A	16.88A	15.54A	15.48A	14.39AB	15.95A
	4	18.30BC	19.70B	21.50A	21.95A	21.54A	23.17A	22.54A	22.42A	21.22A	22.99A
	5	24.30B	25.75B	27.30AB	28.42A	27.52AB	31.72A	28.53A	28.88A	27.28AB	30.19A
	6	30.80C	33.40B	35.13AB	36.10A	37.22A	39.82A	36.34A	37.00A	37.11A	38.03A
	7	38.40C	40.15B	42.30A	43.53A	43.26A	45.73A	42.43A	42.94A	42.16A	44.93A
272	1	6.51a	6.64a	6.82a	6.93a	6.99a	6.78a	6.86a	7.30a	6.84a	6.82a
	2	12.35a	12.27a	12.56a	12.50a	12.63a	13.22a	12.50a	13.24a	13.15a	12.83a
	3	18.97a	18.95a	19.95a	19.76a	20.40a	19.73a	18.94a	19.30a	19.83a	19.94a
	4	27.98a	26.69a	26.93a	27.30a	26.66a	28.03a	27.11a	27.70a	28.11a	27.39a
	5	32.18b	32.80b	34.57ab	36.85a	34.42ab	34.25ab	34.09ab	33.90ab	34.36ab	34.47ab
	6	38.38b	38.26b	40.40ab	43.30a	41.22ab	40.90ab	41.53ab	40.80ab	41.18ab	41.12ab
	7	44.10b	45.17b	47.57a	48.70a	47.44a	47.83a	47.74a	47.20a	47.64a	47.54a
625	1	5.54B	6.13AB	6.83AB	6.23AB	6.82AB	7.39A	6.56AB	6.54AB	7.30A	7.74A
	2	12.80B	13.57AB	14.07A	13.82AB	13.87AB	14.38A	14.50A	14.02A	14.24A	14.13A
	3	20.70AB	20.10AB	21.53A	20.40AB	20.78AB	22.23A	20.73AB	21.08A	21.48A	21.76A
	4	28.00B	29.90AB	29.03AB	28.30B	28.22B	31.55A	29.43AB	29.82AB	29.50AB	29.54AB
	5	32.80B	32.75B	34.90A	34.73A	33.42AB	35.37A	33.94AB	34.44A	34.09AB	33.45AB
	6	38.40C	39.55B	41.67A	42.10A	41.06A	42.98A	41.50AB	41.56A	41.69AB	41.21AB
	7	44.50B	45.85B	46.17AB	45.08B	45.50B	46.53AB	47.09A	47.86A	46.93AB	46.80AB
628	1	6.32B	6.97AB	7.59AB	7.34AB	7.16AB	7.49AB	7.27AB	7.33AB	7.01AB	7.88A
	2	10.08B	11.24A	11.75A	12.06A	11.52A	11.29A	12.21A	11.47A	11.63A	11.83A
	3	15.15B	15.26B	16.10AB	17.25A	16.77AB	16.30AB	17.26A	16.42AB	16.27AB	17.49A
	4	21.90B	21.18B	21.72B	21.70B	22.68AB	22.65AB	23.21A	22.70AB	22.47AB	23.56A
	5	25.38B	26.19B	28.20AB	27.83AB	28.30AB	26.98AB	29.64A	27.84AB	28.65AB	28.95AB
	6	31.60B	32.61B	35.53A	35.10A	35.80A	34.78AB	36.64A	35.26A	36.25A	35.95A
	7	38.04B	38.96B	42.07A	42.20A	41.60AB	42.02A	42.73A	41.57AB	42.75A	42.10A

注:表中同行不同大写字母表示不同小区株数间差异极显著 ($P<0.01$);同行不同小写字母表示不同小区株数间差异显著 ($P<0.05$)。

多重比较结果表明:187 号无性系从第 6 年起,5 株小区茎围均值与其他小区处理间差异达极显著,15 株及以上株数小区的处理间差异不显著,且其茎围均值极显著大于 5 株小区和 10 株小区;272 号无性系第 1 年至第 4 年各处理间差异不

显著,到第 7 年时,5 株小区和 10 株小区与其他处理间差异达到显著水平;625 号无性系第 1 年至第 7 年间的茎围未随小区株数增加呈现规律性变化;628 号无性系从第 6 年起,5 株小区和 10 株小区与其他处理间的茎围差异达到极显著水平,且

其他处理间差异不显著。整体来看,第7年时,187、625、628号这3个无性系的5株小区和10株小区与其他处理间茎围差异达到极显著水平,272号茎围差异达到显著水平,而15株及以上株数小区各处理间茎围差异均不显著。

2.2 橡胶树无性系不同小区株数处理的茎围相对极差比较分析

由图1可知,随着小区种植株数的增加,参试的4个无性系各年份间的茎围相对极差大多数呈现明显的下降趋势,下降幅度较快;当株数增加到一定数值后,下降幅度逐渐放缓。树龄在第1年和第2年时,相对极差的变化趋势规律性较差。

各无性系具体表现如下:187号无性系从5株小区增至10株小区时,相对极差下降幅度较大;

从15株小区起,下降幅度变缓,趋于稳定,中间相对极差出现小幅上升,但总体变化不大。272号无性系各小区处理的相对极差均相对较小,同样从15株小区起下降幅度放缓,20株小区时出现回升趋势,后趋于稳定;625号无性系除第1年相对极差较大且变化规律不稳定,其余年份相对极差均较小,10株小区开始降至较低值后趋于稳定。628号无性系仅5株小区的相对极差较大,从10株小区开始,相对极差均维持在较低水平,但相对极差随小区株数的增加呈“高一低”波动。总的来看,不同橡胶树无性系的茎围相对极差随小区株数增加呈现规律性变化,在15~20株/小区时相对极差降至较低值;小区株数 ≤ 10 株时变异系数较大,个体间分化严重。

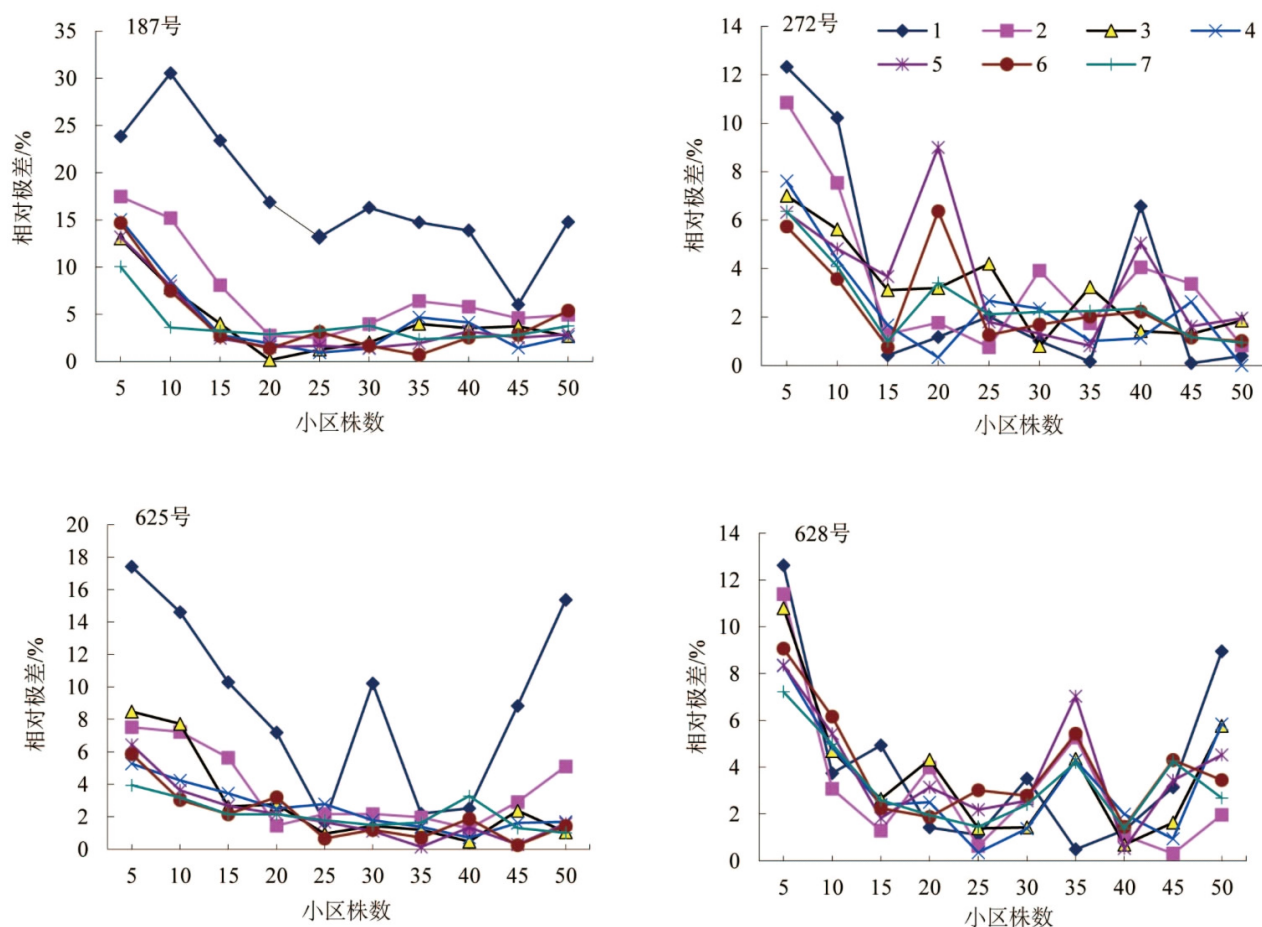


图1 橡胶树无性系小区不同株数茎围7 a内相对极差趋势图

注:图例中数字1—7表示不同树龄,下同。

2.3 橡胶树无性系不同小区株数处理的茎围变异系数比较分析

研究结果表明,随着树龄的增长,不同小区株数处理下的茎围变异系数均呈下降趋势,即树龄越大,变异系数越小,且不同无性系间存在差异,变异幅度从第1年的24.59%~37.32%下降至第7年的13.39%~19.21%。同时,随着小区株数的增加,茎围变异系数也呈下降趋势:小区株数开始增加时,4个参试无性系茎围的变异系数下降较快,小区株数增加到一定数值后,下降幅度逐渐放缓。

由图2可知,随着小区株数增加,4个参试无性系各年份间变异系数下降幅度整体呈波动下降趋势,但各无性系小区变化幅度存在差异。187号无性系7 a间变异系数均值从5株小区到50株小区各处理间的下降幅度依次为3.22%、

3.41%、1.99%、0.96%、0.60%、0.63%、0.31%、0.14%和0.71%,其中5株小区增至15株小区时这3个处理间的下降幅度最大,从20株小区开始,变异系数的下降幅度均小于2.00%。272号无性系7 a间变异系数均值从5株小区到50株小区各处理间的下降幅度依次为4.28%、5.06%、1.86%、0.98%、0.72%、0.21%、0.17%、0.20%、0.21%,其下降趋势与187号相似。625号无性系7 a间变异系数均值从5株小区到50株小区各处理间的下降幅度依次为1.84%、1.89%、0.99%、0.92%、0.26%、0.28%、0.36%、0.44%、-0.17%。628号无性系7 a间变异系数均值从5株小区到50株小区各处理间的下降幅度依次为2.29%、1.17%、0.93%、0.57%、0.59%、-0.44%、0.82%、-0.69%、-0.21%,该无性系在10株小区时,变异系数的下降幅度即开始变缓。

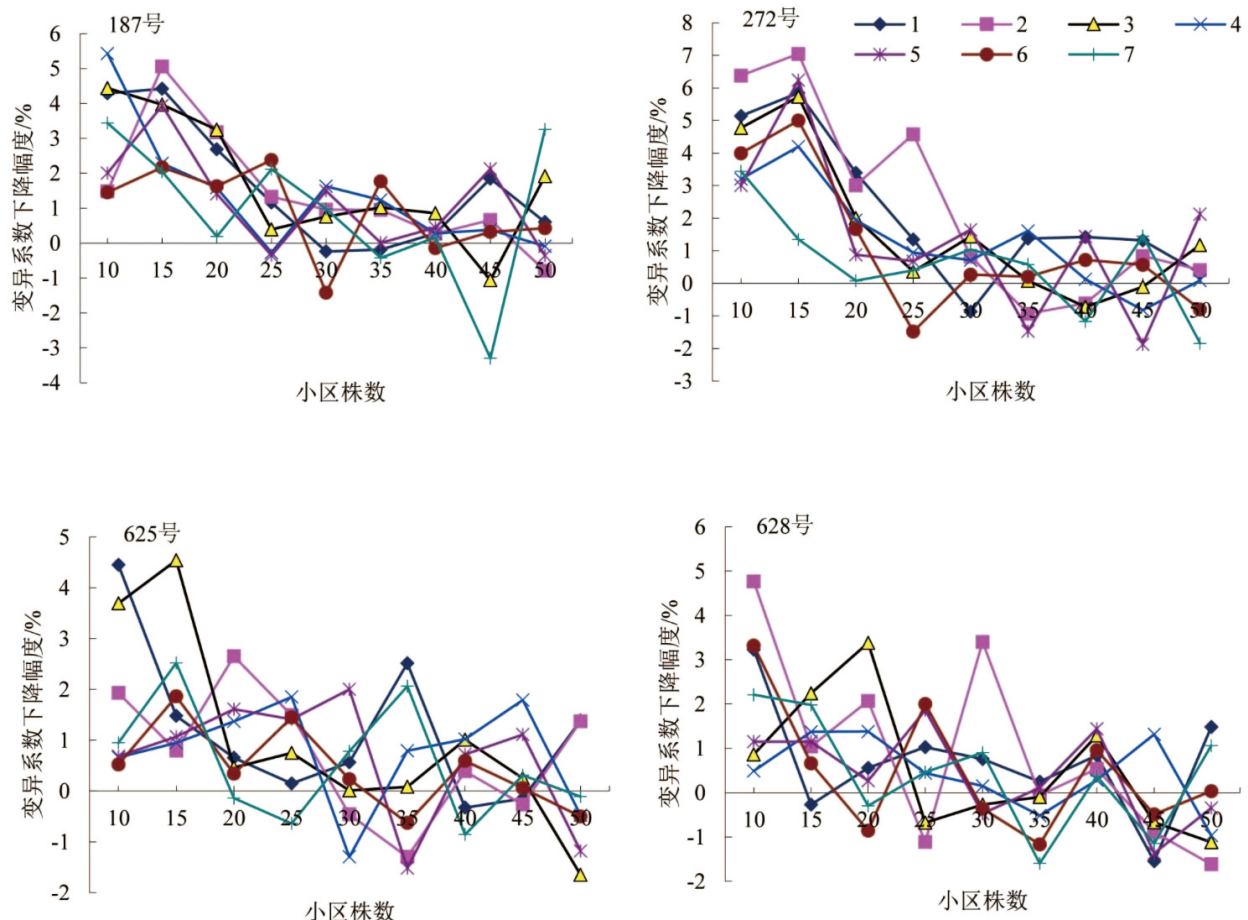


图2 橡胶树无性系小区不同株数处理变异系数下降幅度趋势图

总体来看,小区株数为5~20株时,187、272、628号等无性系在此区间段下降幅度较大,表明小区株数从5株增至15或20株时,会显著降低随机误差,进而提升一致性;625号无性系的变化幅度均较小,小区株数的变化对其影响不大。

3 讨论与结论

田间试验设计的主要作用是减少试验误差、提高试验准确性,最终从试验结果中获得无偏差的处理平均值与试验误差的估计量^[19]。在土地及气候条件相对一致的前提下,降低试验误差最有效的方法是增加小区种植株数与重复次数,但这会导致工作量和成本投入成倍增加。研究表明,当小区株数增加到一定程度后,平均值的稳定性和误差的降低效果会趋于平稳,不再明显。鹿英杰等^[19]针对大白菜(*Brassica rapa*)的田间试验结果显示,小区长度从5 m增大到10 m时,试验结果差异不显著;曹家林^[20]指出,在水稻(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)等作物的评比试验中,10~20 m²的小区面积已完全满足试验要求。国外林木田间试验设计大多采用4~10株的小区规模,重复8~10次;国内多数林木田间试验的重复次数多为3~6次,若处理间变异较大,则应采用7~9次,无性系测定的小区株数可设置为4~10株^[1]。由此可见,林木田间试验测中对重复次数与小区株数的采用标准存在较大差异。有研究表明,小区株数或面积成倍增加后,变异系数随着小区株数的增加呈现出“先快后慢”的变化趋势,当小区株数增加至一定数值时,下降就极为缓慢^[21]。

本研究中参试的4个橡胶树无性系茎围变异系数均随小区株数增加呈现“先快速下降、后缓慢降低”的趋势,这与季兰等^[21]的研究结果一致。多数无性系从5株小区增至15株小区时变异系数降幅较大,继续增加株数后降幅趋于平缓,部分无性系在10株小区时降幅已开始减缓。该规律与在其他树种上的试验结论相吻合,进一步表明小区株数并非越多越好,盲目增加株数不仅无法有效降低试验误差,更会造成土地、人力、物力及财力等资源的极大浪费。本研究结果表

明,参试无性系茎围相对极差的变化趋势与变异系数基本一致,即随小区株数增加呈“先快速下降、后缓慢降低”趋势,5株至10株小区阶段降幅较大,15株及以上小区处理间降幅趋缓,趋势稳定。对不同株数小区的茎围均值分析结果表明,试验第7年时,4个参试无性系的5株、10株小区与其他处理间差异达显著或极显著水平,而15株及以上小区各处理间茎围差异不显著。综合分析不同株数小区的均值、变异系数及相对极差的变化规律,得出橡胶树无性系田间试验可按每小区10~15株设计,苗期变异较小的无性系建议按10株小区设计,苗期变异系数较大的则建议按15株小区设计。前人在橡胶树无性系测定时多采用45~250株小区^[12~18],本研究得出的结果与之相差较大,值得我们思考和研究。

另外,随着树龄的增大,小区间变异系数下降幅度相应减小,二者呈负相关关系。这意味着在试验设计时,需考虑林龄对小区株数设计的影响。依据前期试验经验,建议更多地考虑成龄后的试验结果来确定小区株数。主要原因在于橡胶树的产量收获始于成龄后,成龄期的小区株数设计可少于苗期和幼龄期。换言之,在开展测定对比试验时,苗期和幼龄期相对较大的变异程度并不会影响成龄期的测定结果。因此,在进行早期选择时也应充分考虑树龄对变异程度的影响,不宜过早进行选择。

本试验未结合重复次数对小区株数的影响展开讨论,后期研究将进一步探讨重复数与小区株数的搭配策略,例如在相同环境条件下,比较“增加重复次数而不增加小区株数”与“增加小区株数而不增加重复次数”两种方式优劣。此外,不同土壤、气候条件下重复数与小区株数的优化,也将是下一步研究时需要考虑的问题。

参考文献:

- [1] 李新国,续九如,朱之悌. 林木田间试验适宜重复数和小区株数的研究[J]. 北京林业大学学报,1993(4):103-111.
- [2] 陈岳武,施季森,陈世彬,等. 杉木实生苗种子园及其效益的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),1985(2):1-14.

- [3] COTTERILL PP, JAMES JW. Number of off-spring and plot sizes required for progeny testing [J]. *Silvae Genetica*, 1984, 33(6): 203-209.
- [4] MCCUTCHAN BG, NAMKKONG G, GIESBRECHT FG. Design efficiencies with planned and unplanned unbalance for estimating heritability in forestry [J]. *Forest Science*, 1989, 35(3): 801-815.
- [5] 胡德活, 伍伯良, 阮梓材, 等. 杉木无性系生长与材性测定的适宜无性系株数与小区株数 [J]. *林业科学研究*, 2002(2): 212-218.
- [6] 全国杉木种源试验协作组. 杉木造林区种源选择 [J]. *林业科学研究*, 1988(1): 1-13.
- [7] 曾志光, 江香梅. 江西省杉木优良种源选择的研究 [J]. *江西林业科技*, 1987(5): 1-8.
- [8] 杨宗武, 梁一池. 杉木种源一家系一个体联合选择的研究 [J]. *林业科技通讯*, 1986(5): 1-3.
- [9] 顾万春. 刺槐无性系 G×E 互作的研究——遗传稳定性和生长适应性的评价 [J]. *林业科学研究*, 1991, 4(6): 623-628.
- [10] 熊耀国. 泡桐无性系主要数量性状遗传力的研究 [J]. *泡桐与农林业*, 1988(4): 428-432.
- [11] 顾万春. 毛白杨优良无性系选育——生产力、遗传稳定性和适应性评价 [J]. *林业科学研究*, 1990, 3(3): 222-228.
- [12] 张晓飞, 黄肖, 李琛, 等. 6 个国外引进橡胶树品种产排胶特性研究 [J]. *广东农业科学*, 2021, 48(4): 23-28.
- [13] 张晓飞, 黄肖, 左如斌, 等. 3 个橡胶树引进品种的胶乳生理特性研究 [J]. *热带作物学报*, 2021, 42(10): 2869-2874.
- [14] 张晓飞, 黄肖, 李维国. 4 个引进橡胶树胶木兼优品种比较试验 [J]. *热带作物学报*, 2023, 44(3): 526-534.
- [15] 刘忠亮, 王丽华, 宁连云, 等. 橡胶树自育新品种高比区生长量、产量及抗寒性鉴定 [J]. *热带农业科技*, 2021, 44(4): 9-13, 24.
- [16] 刘忠亮, 王丽华, 宁连云, 等. 橡胶树优良新品种云研 76-398 选育初报 [J]. *热带农业科技*, 2018, 41(2): 1-4, 8.
- [17] 李土荣, 张健珍, 程儒雄, 等. 抗寒高产橡胶树新品系湛试 327-13 的选育 [J]. *热带作物学报*, 2008, 29(5): 577-582.
- [18] 高新生, 黄华孙, 张晓飞, 等. 胶木兼优品种热垦 628 品种比较试验报告 [J]. *热带作物学报*, 2013, 34(10): 1853-1858.
- [19] 鹿英杰, 于恩大, 李红星, 等. 大白菜田间试验小区面积大小对试验结果影响研究 [J]. *北方园艺*, 1991(5/6): 1-3.
- [20] 曹家林. 关于试验地小区面积大小的讨论 [J]. *山西农业科学*, 1992(11): 19-20.
- [21] 季兰, 骆建霞, 苗保兰, 等. 苹果田间试验最适小区大小的初步研究 [J]. *山西农业大学学报*, 1993(3): 263-266, 297.