

多效唑对粗皮桉的矮化作用研究

潘松海¹, 齐杰², 卢万鸿², 何普林¹, 王楚彪², 林彦², 罗建中^{2*}

(1.中林集团雷州林业局有限公司, 广东 湛江 524043; 2.国家林业和草原局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022)

摘要:以粗皮桉的26个家系为研究材料、4个杂交种无性系为对照,用3种不同剂量多效唑进行处理,以研究多效唑对粗皮桉的矮化作用特点。结果表明:施用多效唑对粗皮桉、桉树杂交种均产生了显著的矮化作用($P<0.05$),但3种剂量间的矮化作用无显著差异;施用多效唑1个月后即对植株产生显著的矮化效果,但到4个月时矮化效果不再显著;粗皮桉比杂交种无性系易于矮化,多效唑处理会显著降低树种内的树高差异,促使树种内的树高更均一。

关键词:多效唑;矮化;粗皮桉;树高

中图分类号: S722.3

文献标识码: A

The Dwarfing Effects of Paclobutrazol on *Eucalyptus pellita*

PAN Songhai¹, QI Jie², LU Wanhong², HE Pulin¹, WANG Chubiao²,

LIN Yan², LUO Jianzhong²

(1. China Forestry Group Leizhou Forestry Bureau Co., Ltd., Zhanjiang 524043, Guangdong, China;

2. China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, Guangdong, China)

Abstract: Using 26 families of *Eucalyptus pellita* as genetic material, with 4 eucalypt hybrid clones as control, three different doses of paclobutrazol were used to study the dwarf effects on *E. pellita*. The results showed that there were significant ($P<0.05$) dwarfing effect on both *E. pellita* and eucalypt hybrids after the paclobutrazol application, and the effects difference between the 3 treatments became not significant. The significant dwarfing effects were observed 1 month after the application, But the effects were not significant after 4 months of the application. The height were better dwarfed on *E. pellita* than on the hybrid clones. In both *E. pellita* and hybrids clones, the height between families/clones were not significant any more or less significant after the paclobutrazol treatments.

Key words: Paclobutrazol; dwarfing; *Eucalyptus pellita*; tree height

多效唑(Paclobutrazol, PP₃₃₃),又名氯丁唑,是一种常见的低毒高效的植物生长延缓剂。研究表明:多效唑在调控植物形态结构和生理生化反应上有重要作用,如具有抑制植株生长、矮化植株、促进生根、缩短节间、提前开花等作用^[1-4]。同时,它具有广谱性、低毒性、对人畜无危害、施用方便、价格低廉等特点^[5],因而近几十年来,国内外广泛应用于农作物^[6-8]、蔬菜^[9-10]、花卉^[11-12]、果树^[13]、草坪^[14-17]等的生长调节。在多年生的林木上,多效唑的应用效果研究较少,已有研究大多集中在对园林树木、

苗期等的生长影响上^[18-20]。桉树(*Eucalyptus*)是我国重要的速生丰产工业原料林用材树种,在我国南方多个省区广泛种植。由于桉树生长速度快且大都高大挺拔,在植株上进行人工授粉、收集花粉、采集果实等非常困难,并且桉树的一般始花年龄为3~4年^[21],这极大地限制了桉树的遗传改良工作的开展。因此,对桉树进行矮化、促进其开花结实,对桉树的遗传改良有重要意义。虽有研究表明多效唑能矮化桉树植株并促进提前开花^[21],但对不同树种的矮化效果和药剂施用量等仍缺乏深入的开展。

基金项目: 中国林业科学研究院基本科研业务费专项资助(CAFYBB2017ZA001-5); 广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17204087-3); 国家“十三五”重点研发计划项目课题(2016YFD0600501)

作者简介: 潘松海(1974—),男,工程师,主要从事森林经营与管理工

***通信作者:** 罗建中(1969—),男,博士,研究员,主要从事林木遗传育种研究, E-mail: luojianzh@21cn.com

本研究以粗皮桉的 26 个家系为遗传材料,以 4 个杂交种无性系为对照,用 3 种不同剂量多效唑进行处理,以期了解多效唑对粗皮桉的矮化作用特点。

1 材料和方法

1.1 遗传材料

遗传材料为第二世代粗皮桉的家系 26 个,作为对照的杂交种无性系 4 个,均由国家林业和草原局桉树研究开发中心选育。试验苗木为轻基质网袋苗,其中粗皮桉为实生苗、杂交种无性系为组培苗。

1.2 试验地和试验林

试验林在广东省湛江市境内的南方国家级林木种苗示范基地内(21°16'N, 110°6'E),海拔高度约 50 m。属热带海洋性季风气候,年平均气温 23.1℃,最热月(7 月)平均气温 28.8℃,最冷月(1 月)平均气温 15.6℃,极端最高气温 38.1℃,极端最低气温 2.8℃。年平均降雨量 1 567 mm,年相对湿度 80.4%。

试验用林地较平整,为砖红壤,采用机械挖穴整地,穴规格为 50 cm × 40 cm × 40 cm。造林前施用桉树专用基肥 0.5 kg · 穴⁻¹ 作基肥(N:P:K 为 6:12:6)。定植前使用二甲四氯和草甘膦混合液喷雾清除地表杂草。试验林定植于 2016 年 6 月 8 日,采用随机完全区组设计,3 株小区,4 次重复,株行距为 2 m × 3 m。

1.3 试验处理和调查

分别于 2017 年 3 月和 2018 年 3 月对试验地的 4 个重复施用不同剂量的多效唑(表 1)。多效唑为有效成分含量 15%的可湿性粉剂,采用环沟法^[22-23]施用:以植株树兜为圆心,0.5 m 为半径挖环沟,将多效唑粉剂均匀的施入沟内,用土覆盖。

施用多效唑前对试验林进行全面的树高调查,第一次(2017 年 3 月)多效唑处理后,每月调查一次树高,连续跟踪观测了 4 个月;第二次(2018 年 3 月)处理前进行了树高调查,处理 5 个月后再调查树高,同时调查植株的开花情况。树高的测量采用测高杆,精确到 0.1 m;开花情况调查采用目测,出现花蕾、果实均记为当年开花。

表 1 PP₃₃₃ 具体用量 g 株⁻¹

处理	15% 药剂用量	有效剂量
1	25	3.75
2	15	2.25
3	5	0.75
4(CK)	0	0

1.4 数据处理

数据用 Excel 进行整理,用 SAS 8.01 软件进行统计分析。

数据方差分析模型为:

$$Y_{ijk} = m + R_j + t_i + f_k + \varepsilon_{ijk}$$

其中: Y_{ijk} 为观察值; m 为总平均值; R_j 为第 i 个重复的效应; t_j 为第 j 类树种类型的效应; f_k 为第 k 个家系/无性系的效应; ε_{ijk} 为随机误差。

2 结果与分析

2.1 对树高和开花的影响

对多效唑处理前后不同重复的树高进行分析,发现处理前后发生显著变化(表 2)。在使用多效唑前(试验林 9 个月生时),各处理的树高差异不显著,而从处理后的第 1 个月开始,即出现显著差异($P < 0.05$),差异特征表现为:所有施用多效唑处理的树高均显著小于对照,而施用多效唑的各处理间树高无显著差异,该特征一直保持到处理 12 个月时。再次施加多效唑 5 个月(处理 17 个月时),对照的树高仍显著大于其他所有处理,而施用多效唑的处理间亦出现显著差异。不同处理 17 个月时的开花率差异不显著。

由表 2 可知,各多效唑处理的树高控制效果相似:各处理间树高差异不显著,即使最大剂量(3.75 g 株⁻¹)和最小剂量(0.75 g 株⁻¹)间亦是如此,一直保持到施用 12 个月时。对 21 个月生的植株(第一次处理后 12 个月生时)再次施用多效唑之后,各处理间的差异显著度加大,呈现随着用药剂剂量增加、矮化效果越好的趋势。多效唑处理 17 个月后,施药处理的植株开花率平均为 52.6%,比对照高约 12%,各施药处理的开花率随施药剂量增加略有提高,但差异不显著。

表 2 不同浓度 PP₃₃₃ 处理的桉树株高变化

处理	处理时长/月							开花率%
	0	1	2	3	4	12	17	
1	2.45±0.06a	2.67±0.06b	3.10±0.08b	3.73±0.10b	4.25±0.11b	5.66b	7.00c	55.7a
2	2.47±0.06a	2.70±0.07b	3.17±0.09b	3.75±0.11b	4.34±0.12b	5.88b	7.62bc	52.2a
3	2.54±0.06a	2.79±0.07ab	3.23±0.09b	3.80±0.12b	4.23±0.14b	5.54b	7.74b	50.0a
4(CK)	2.62±0.08a	2.95±0.09a	3.58±0.11a	4.29±0.11a	4.86±0.12a	6.69a	8.74a	40.9a

注: 数据为平均值±标准误; 同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05), 下同。

2.2 对树高月增长量的影响

由图 1 可知, 在施多效唑后的第 1 个月, 施药处理与对照之间即出现显著差异: 经多效唑处理的月树高增长量均显著低于对照, 显示出显著的抑制作用。在施药 1 ~ 3 个月间, 各处理间的差异特征相同: 多效唑处理的月增长量均显著低于对照, 但各处理间的差异不显著。在施药后的第 4 个月, 仅

处理 3 的增长量显著低于对照, 其他处理与对照间已不存在显著差异。

以上结果表明, 本研究的多效唑剂量处理均能显著矮化植株, 且各处理的矮化效果相近, 但显著的矮化仅维持了 3 个月, 第 4 个月, 各处理的生长速度均与对照无显著差异。如需要继续对植株进行矮化控制, 应在此阶段再次施用多效唑。

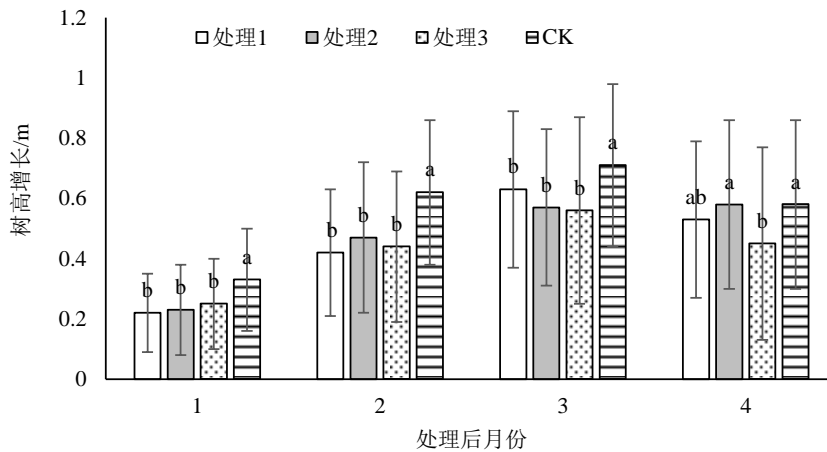


图 1 不同多效唑剂量处理的树高月增长

注: 数据平均值±标准误, 柱形图上不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.3 对不同树种/家系的矮化差异

有研究表明: 不同的桉树无性系对多效唑的反应存在差异, 因而需要采用不同的矮化处理^[21]。为了解粗皮桉与杂交种之间、粗皮桉家系间对多效唑矮化的反应差异, 将本研究中的粗皮桉、杂交种无性系作为不同树种类别进行了分析。

由表 3 可知, 在类别间(粗皮桉和杂交种无性系间), 除 4 个月树高差异在显著水平(P<0.05)外, 其他性状的差异均达到极显著水平(P<0.01)。由表 4 可知, 无论在哪个阶段, 粗皮桉的树高均显著小于杂交种无性系, 且差异随着林龄的增大而增大, 如:

二者的 H0 差异为约 30 cm, 而 H4、H12 和 H27 分别为约 110、140 和 200 cm, 表明粗皮桉树高更易受多效唑控制, 而杂交种无性系则反之。

而在类别内的家系/无性系间, 树高的差异随时间而变化(表 3), 在未施用多效唑和多效唑处理初期(H0 和 H1)差异均极显著(P<0.01), 而在处理后的 2 ~ 4 个月(H2-H4)差异均不显著, 而第二次多效唑处理后(H12、H17)差异又极显著(P<0.01)。表明在林龄较小时, 多效唑的矮化作用会减小粗皮桉家系间/杂交种无性系间的树高差异, 但随着林龄增加, 家系间差异仍会恢复显著性。

表 3 多效唑处理后粗皮桉和杂交种无性系树高的差异显著性分析

变异来源	自由度	均方							
		H0	H1	H2	H2	H4	H12	Ht17	开花率
处理	3	0.325ns	0.186**	0.564**	0.384**	0.208*	18.77**	33.26**	0.325ns
类别	1	1.957**	0.347**	3.774**	4.188**	0.350*	85.04**	143.13**	1.957**
家系(类别)	28	0.502**	0.040**	0.060ns	0.076ns	0.116ns	3.33*	8.88**	0.502**
残差	246	0.210	0.019	0.043	0.059	0.076	2.02	3.70	0.210

注：数字后*、**和 ns 分别表示 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 和差异不显著。

施用多效唑使粗皮桉的家系间、杂种无性系间原有的树高显著差异消失，种内差异均不显著，矮化差异在各阶段树高增长幅度上有体现，如：最速生的 5 个家系(表 4)处理前的树高为 2.57 ~ 2.87 m，最大差异为 30 cm；而多效唑处理 4 个月后，树高的范围在 4.57 ~ 5.01 m 之间，最大差异为 44 cm，而同期树高平均增长约 210 cm，明显使家系间的差异率缩小。无性系间也有类似结果：在处理前 4 个无性系的 H0 为 2.61 ~ 2.98 m，最大差异为 37 cm；多效唑处理 4 个月后的 H4 范围在 5.08 ~ 5.87 m 之

间，最大差异为 79 cm，同期树高平均增长 258 cm，4 个无性系增长值为 2.40 ~ 2.89 m。

由表 3 可知，树种类别间、类别内的家系/无性系间的开花率均存在极显著差异($P<0.01$)。在树种类别水平，粗皮桉的开花率为 40%，而杂交种无性系的为 70%(表 4)。在树种内，4 个杂交种无性系的开花率在 33% ~ 100% 之间，表现了极大的差异；而粗皮桉的家系间，开花率更是分布在 0 ~ 100% 之间，多效唑处理之后仍然具有极大的差异。

表 4 粗皮桉家系和杂交种无性在多效唑处理前后的树高

项目		H0	H1	H2	H2	H4	H12	Ht17	开花率/%
类别均值									
粗皮桉		2.47	2.71	3.15	3.72	4.25	5.71	7.43	40.00
杂交种		2.76	3.10	3.87	4.75	5.34	7.12	9.49	70.00
家系/无性系均值									
无性系	1149	2.98	3.43	4.35	5.42	5.87	7.42	10.72	42.00
无性系	1148	2.65	2.97	3.60	4.39	5.20	7.31	10.22	100.00
无性系	1103	2.8	3.03	3.79	4.61	5.20	7.45	9.73	100.00
无性系	1126	2.61	2.98	3.77	4.64	5.08	6.24	6.60	33.00
家系	524	2.57	2.90	3.41	4.1	4.93	6.41	9.33	56.00
家系	120	2.66	2.93	3.43	4.14	4.78	6.75	8.78	50.00
家系	24	2.87	3.07	3.69	4.51	5.01	5.82	8.53	100.00
家系	66	2.67	2.9	3.4	3.96	4.57	6.47	8.27	89.00
家系	819	2.70	2.92	3.51	4.22	4.81	6.39	8.08	25.00
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
家系	84	2.23	2.36	2.74	3.50	4.09	4.73	6.53	33.00
家系	187	1.95	2.18	2.48	2.95	3.46	5.05	6.36	40.00
家系	91	2.23	2.40	2.77	3.31	3.67	4.87	6.35	45.00
家系	180	2.02	2.22	2.61	3.1	3.53	4.97	5.96	40.00
家系	812	2.07	2.24	2.61	3.14	3.52	4.44	5.62	17.00
总平均		2.51	2.77	3.27	3.89	4.43	5.86	7.59	47.06

3 结论与讨论

3.1 多效唑剂量和矮化效果

对9个月生的粗皮桉、桉树杂交无性系施用多效唑均具有显著的矮化作用,但所用3种剂量(0.75、2.25和3.75 g 株⁻¹)的矮化作用无显著差异。直到第2次施药后,才表现出随剂量增加、矮化效果越好的趋势,这与之前的研究结果相似^[21]。由于本研究施用的剂量更大,但第1次施药后不同剂量间未出现显著的矮化差异,与之前的结果不同^[21],这可能是研究施用多效唑时植株初始高度大、施用药剂的被吸收效果强等导致。有研究表明,并非施用的多效唑剂量越高其矮化作用越显著,如:低浓度对杨柴株高具有最显著的抑制效果^[25]、中等浓度能够有效抑制辣椒幼苗徒长、达到壮苗效果^[26],若不考虑差异的显著度,本研究的某些阶段也会得出类似的结论。

3.2 矮化的有效期

本研究发现在施用多效唑1个月后即对植株产生显著的矮化效果,但到4个月时矮化作用不再显著,这与此前的研究相似^[21]。虽然施药4个月后各处理与对照的树高增长差异已不显著,但到12个月时各处理的树高仍显著小于对照,表明多效唑的矮化导致的生长差异可以保持12个月,甚至更长时间。在第2次施用多效唑5个月(第1次处理17个月)后,本研究不同剂量的处理间出现显著的矮化效果差异,呈现剂量越大矮化作用越强的趋势。这在一定程度上说明:随着剂量的增大,不同处理间的矮化效果会出现显著差异。

3.3 矮化效果的种间/种内差异

本研究发现粗皮桉比杂交种无性系易于矮化,无论从处理后的树高增长量、增长率均表现出这个特点。多效唑处理会使树种内树高差异显著度降低,促使树种内的树高更均一,无论是粗皮桉还是杂交种无性系都如此。此前对桉树无性系的矮化研究发现不同无性系矮化特征存在差异,但未总结树种水平的差异特点^[21]。多效唑对桉树不同树种的矮化作用存在显著差异,为取得理想的矮化效果,对不同

树种的矮化,应在用药剂量、初始植株高度等方面具有针对性。

由于本研究的植株定植在野外开放条件下,部分植株会遭受病虫害、风害等,从而产生一定数量的生长干扰,甚至导致植株损失,这在一定程度上影响研究结果的精确度。此外,由于本研究的药剂采用根施法投放,其总体吸收效果、不同植株的吸收差异均不易控制,也可能导致研究结果的差异。

参考文献

- [1] LENTON J R,APPLEFORD N J, Temple-Smith K E. Growth retardant activity of paclobutrazol enantiomers in wheat seedlings[J]. Plant Growth Regulation, 1994, 15(3): 281-291.
- [2] MACDONALD J E. Applying paclobutrazol at dormancy induction inhibits shoot apical meristem activity during terminal bud development in *Picea mariana* seedlings[J]. Trees, 2016, 31(1): 1-7.
- [3] WILLIAMS D R, POTTS B M, SMETHURST P J. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33(1): 74-81.
- [4] HETHERINGTON S, JONES K M, KOEN T B. Stimulation of bud production in *Eucalyptus globulus* by paclobutrazol application[J]. South African Forestry Journal, 1992, 160(1): 39-41.
- [5] HASSON E P, WEST C A. Properties of the system for the mixed function oxidation of kaurene and kaurene derivatives in microsomes of the immature seed of *marah macrocarpus*: electron transfer components[J]. Plant Physiology, 1976, 58(4): 473-478.
- [6] 杨忠义,范春晖,郭平毅.氮肥与多效唑对冬小麦叶片生理功能的调控[J].植物营养与肥料学报,2008,14(5):947-950.
- [7] 兰星,王玺.干旱胁迫下多效唑包衣对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].玉米科学,2008,16(2):94-96.
- [8] 唐建卫,殷贵鸿,韩玉林,等.多效唑对周麦23号主要农艺性状与品质的影响[J].中国种业,2011(7):40-42.
- [9] 王军民,何龙飞,莫克,等.施用氯吡脞和多效唑改良山药的品质[J].基因组学与应用生物学,2010,29(2):344-348.

- [10] 杨清,刘国杰.多效唑浸种对番木瓜幼苗生长的影响[J].中国果树,2008(6):31-32.
- [11] 崔向东,史素霞.多效唑对水仙高度和花期的影响[J].安徽农业科学,2011,39(12):6979-6980.
- [12] 袁蒲英,宋兴荣.多效唑对盆栽蜡梅的矮化效应及抗性的影响[J].西南农业学报,2012,25(4):1253-1256.
- [13] 刘红明,李晶,朱春华,等.多效唑对柠檬营养生长和生殖生长的影响[J].南方农业学报,2013,44(10):1694-1699.
- [14] 王竞红,刘素欣,王非,等.多效唑对不同生境多年生黑麦草抗旱性的影响[J].草业科学,2016,33(5):926-934.
- [15] 王竞红,多多.多效唑对 6 种草坪草苗期抗旱性影响的研究[J].草业学报,2014,23(6):253-258.
- [16] 杨文权,寇建村,刘勇,等.多效唑对 2 种冷季型草坪草生长的影响[J].草业科学,2008,25(11):117-119.
- [17] 赵超鹏,周琴,曹春信,等.多效唑对多花黑麦草物质积累和种子产量的影响[J].草业科学,2010,27(3):72-75.
- [18] 毛轶清,郑青松,陈健妙,等.多效唑浸种对 NaCl 胁迫麻疯树幼苗的生长调节效应[J].西北植物学报,2010,30(8):1653-1659.
- [19] 宋海凤,李绍才,孙海龙,等.根施不同浓度多效唑对紫穗槐生长特性和相关生理指标的影响[J].植物生理学报,2015,51(9):1495-1501.
- [20] 郭楠,张颖颖,刘娜娜,等.多效唑对青钱柳苗木生理特性的影响[J].东北林业大学学报,2014,42(4):42-45.
- [21] 罗建中.多效唑矮化桉树无性系的效果研究[J].广东林业科技,2000,16(4):6-9.
- [22] KAWABATA O, DEFRANK J. Purple nutsedge suppression with soil-applied paclobutrazol[J].Hortscience,1993,28(1): 59.
- [23] KEEVER G J, COX D A. Growth inhibition in marigold following drench and foliar-applied paclobutrazol[J].Hortscience, 1989, 24(2): 390-390.
- [24] 朱丽华,李明亮,曹庆昌.多效唑在核桃上的应用效果研究[J].林业科学研究,1994,7(1):33-37.
- [25] 李芸.多效唑对杨柴和沙地柏生理生态的影响研究[D].北京:中国林业科学研究院,2014.
- [26] 王林闯,孙玉东,赵建锋,等.不同浓度多效唑对辣椒苗期生长的影响[J].安徽农业科学,2016,44(34):14-15.