

南亚热带森林几种乔木种子萌发和幼苗生长观察

张德明 陈章和 陈兆平

(华南师范大学生物系, 广州 510631)

摘要 本文对香椿(*Toona sinensis* (A. Juss.) Roem.)、木蝴蝶(*Oroxylum indicum* (L.) Vent.)、扁斗青冈(*Quercus hui* Chun)、泡桐(*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.)、罗浮柿(*Diospyros morrisiana* Hance)、枳椇(*Berchemia dulcis* Thunb.)等南亚热带森林乔木种子萌发和幼苗生长进行观察。香椿、扁斗青冈、罗浮柿种子在轻阴(55%光)条件下萌发率最高,分别为70%、90%、30%,木蝴蝶种子在重阴(38%光)条件下萌发率最高,为80%,枳椇种子在光照条件下萌发率最高,为15%。阳性树种香椿、木蝴蝶、泡桐、枳椇幼苗生长速度较快,属速生型树种,其幼苗在光照条件下生长速度最快,森林中树种扁斗青冈、罗浮柿幼苗生长速度较慢,属慢生型树种,其幼苗在轻阴条件下生长较好。随着施肥量的增加,幼苗生长速度明显提高。

关键词 亚热带森林乔木; 种子萌发; 幼苗生长; 生物量

SEED GERMINATION AND SEEDLING GROWTH OF SEVERAL TREE SPECIES IN LOWER SUBTROPICAL FOREST

Zhang Deming Chen Zhanghe Chen Zhaoping

(Department of Biology, South China Normal University, Guangzhou 510631)

Abstract Seeds of *Toona sinensis* (A. Juss.) Roem., *Oroxylum indicum* (L.) Vent., *Quercus hui* Chun, *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl., *Diospyros morrisiana* Hance and *Berchemia dulcis* Thunb. were collected from Guangdong and Guangxi. Seed germination and seedling growth of these tree species were examined under different light and fertilizer conditions. The experiments showed that the germination percentage of seeds of *T. sinensis* (A. Juss.) Roem., *Q. hui* Chun and *D. morrisiana* Hance under light shade (55% of natural light) were 74%, 90% and 30%, respectively, and *O. indicum* Vent. under deep shade (38% natural light) was 80%. However, the highest germination percentage of *B. dulcis* Thunb. observed under natural light condition was 15%. The seedlings of *T. sinensis* (A. Juss.) Roem., *O. indicum* Vent., *P. fortunei* (Seem.) Hemsl. and *B. dulcis* Thunb. grew fast, especially under light condition, showing that they are fast-growing trees. The seedlings of *Q. hui* Chun and *D. morrisiana* Hance showed slow growth, and they grew better under lightshade. The biomass and rate of height in growth of all the seedlings increased markedly with the

increase of applying urea.

Key words Subtropical forest tree; Seed germination; Seedling growth; Biomass

南亚热带森林具有十分丰富的经济用材、药材等多种多样的植物资源。随着地球上人口的增多及各种原因的影响,使绿色森林不论在面积上或植物资源方面不断受到破坏,而目前对南亚热带森林植物资源的保护和森林恢复等方面仍很落后。森林乔木树种用于造林种类很少,南亚热带常绿阔叶林乔木种子萌发和幼苗生长发育的研究对乔木树种的种植和森林的更新、发展具有十分重要的意义。本实验主要观察了南亚热带森林几种常见乔木的种子萌发和幼苗生长,为森林的更新、发展和某些重要种类的人工种植、生产利用提供参考。

1 材料与方方法

1.1 种子来源及处理

香椿(*Toona sinensis* (A. Juss.) Roem.)、扁斗青冈(*Quercus hui Chun*)、罗浮柿(*Diospyros morrisiana* Hance) 1993年2月采于广东省封开县黑石顶自然保护区,木蝴蝶(*Oroxylum indicum* Vent.)、枳椇(*Berberia dulcis* Thunb.)采自广西,泡桐(*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.)采自粤北连县。采后的香椿、木蝴蝶、泡桐、枳椇种子在室内自然风干后于广口瓶中密封储存,扁斗青冈和罗浮柿的种子与湿沙混合后置于阴凉处,每天适当浇水1-2次,保持湿润。

播种前,种子均经过浸种处理,枳椇种子用60℃热水浸24h,其他种子用自来水浸24h。

1.2 实验方法

实验分5个不同处理,分别为1. 光-重肥,2. 光-轻肥,3. 光-不施肥,4. 轻阴(55%光)-轻肥,5. 重阴(38%光)-轻肥。每个处理二次重复,每次用种子40-100粒。观察种子萌发及幼苗生长状况。不同光强等级的光照强度如表1,用绿色尼龙网遮阴。施肥以尿素分三次施用,三次施肥时间分别为种子萌发后20d、80d和113d。每次施肥量为重肥100g、轻肥50g和不施肥。施肥时将尿素均匀地洒于样地,然后用花洒淋水。

种子按不同的处理随机分组播于植物标本园试验地中,试验地土壤含砾石19.762%、有机质1.154%、N 0.035%、P 0.051%、K 0.040%。播种后,每天淋水一次。幼苗于1993年6月20日、7月6日、8月13日分三次收获,小心挖出全部根系并在水中冲洗干净,测定叶面积及各部分干重(于80℃烘箱中烘48h)。

叶绿素含量测定根据陈福明、陈顺伟的混合液测定法^[1]。用721型分光光度计测量其OD值。生物量测定用木村允的生物量测定法^[2]。

生长分析依Hunt (1972)方法^[3]。

表1 不同光强处理的光照强度

Table 1 Illumination intensity (Lux) in the treatments

测定时间 Measure time	光 Unshaded	轻阴 Light shade	重阴 Deep shade
上午 9 a. m.	35363	18960	11074
中午 at 12	59065	32694	23947
下午 4:30 p. m.	27738	16610	12257
平均值 Average	40722 (100%)	22755 (55%)	15759 (38%)

光强为1993年4月7日,6月19日,7月4日,8月28日四次测定的平均值 Illumination intensity was the average of four measurements obtained on April 7, June 19, July 4 and August 28, 1993.

2 结果和分析

2.1 种子萌发

种子开始萌发的时间随不同树种而异。播种后，香椿 14d 开始萌发，木蝴蝶 16d，扁斗青冈 17d，泡桐 18d，罗浮柿 33d，枳椇 38d，皆较快萌发，其中罗浮柿和枳椇的萌发时间较长，可能与种皮坚硬有关。香椿、木蝴蝶、罗浮柿在不同处理条件下的萌发时间无明显差异，扁斗青冈在轻阴和重阴条件下比光处理条件延迟 4-6d 萌发，枳椇在重阴条件下延迟 9d 萌发。种子的萌发类型除扁斗青冈种子为子叶留土外，其余均为子叶出土。

不同树种萌发率差异较大，这可能与种子寿命和生活力有关^[4]。扁斗青冈萌发率最高达 90%，枳椇只有 8-15%，萌发率高低依次为扁斗青冈 > 木蝴蝶 > 香椿 > 罗浮柿 > 枳椇。图 1 显示，种子萌发率由于光强不同而有所差别，香椿、木蝴蝶种子在阴蔽条件下萌发率最高，表现为忌光性；光对扁斗青冈和罗浮柿种子的萌发率影响不大，但适当的遮阴对种子萌发可能更好；而枳椇种子在光条件下萌发率最高，是需光性的。由于轻阴与重阴光强的差别不大，故对种子萌发率的影响不明显，不同光强对种子萌发率的影响有待进一步研究。由于泡桐种子十分细小，缺乏对其萌发率作统计，这是本文缺点之一。根据对泡桐种子的补充实验，在暗条件下其种子萌发率极低(为 9%)，若

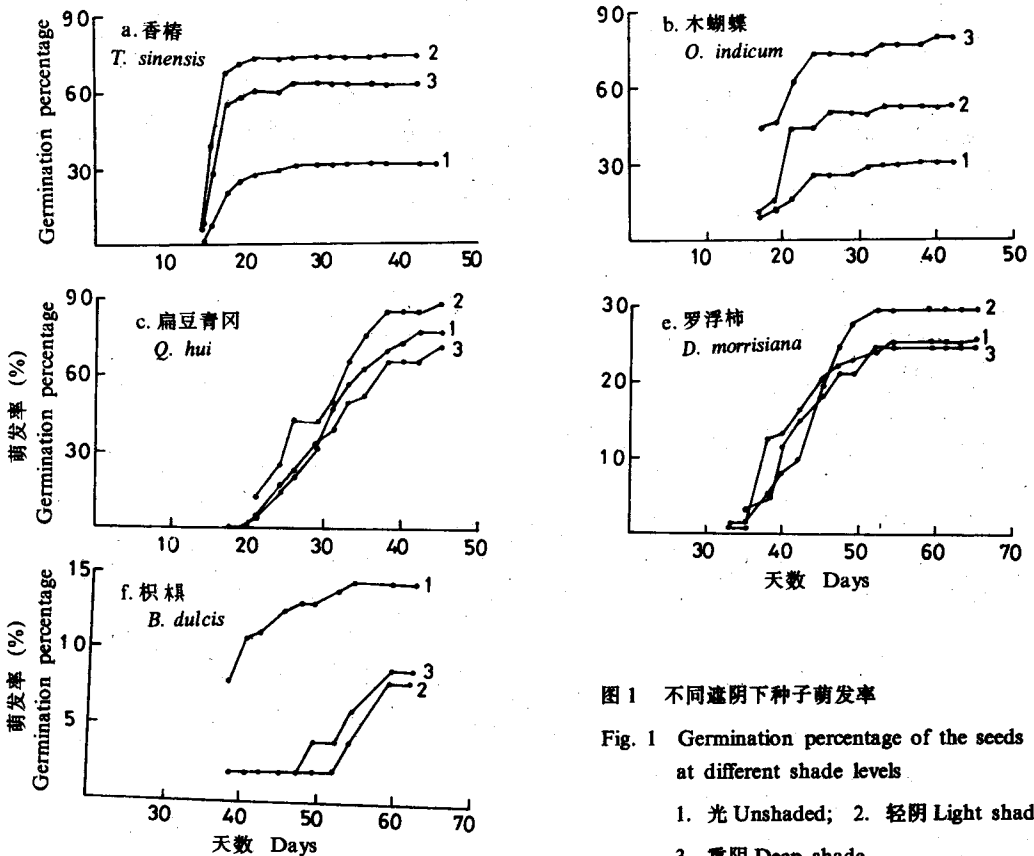


图 1 不同遮阴下种子萌发率
 Fig. 1 Germination percentage of the seeds at different shade levels
 1. 光 Unshaded; 2. 轻阴 Light shade;
 3. 重阴 Deep shade

将种子置于光照条件下继续萌发,萌发率可达80%以上,表明光对泡桐种子的萌发是必不可少的。

2.2 幼苗生长

2.2.1 幼苗的生长节律

香椿、木蝴蝶、泡桐、罗浮柿、枳椇等种子属子叶出土萌发类型,子叶出土后为绿色,叶状,可进行光合作用,子叶形状和大小见表2。幼叶的出现是在子叶伸出土表后约6-17d,不同树种间幼叶出现的时间不同。幼苗的生长呈现连续生长特性,即第一片幼叶还未长至最终大小时,便已出现第二片幼叶。香椿、木蝴蝶的第1-3片幼叶为单叶,约从第3-4片叶才开始出现复叶^[5]。

表2 出土子叶的形状和大小(长×宽 mm)

Table 2 Form and size of epigeous cotyledons at different shade levels

子叶 Cotyledon		香椿 <i>T. sinensis</i>	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	罗浮柿 <i>D. morrisiana</i>	泡桐 <i>P. fortunei</i>	枳椇 <i>B. dulcis</i>
形状 Form		椭圆形 Elliptical	倒心形 Obcordate	椭圆形 Elliptical	卵圆形 Ovate	卵圆形 Ovate
大小 (长×宽 mm)	光 Unshaded	13.8×7.3	23.2×39.6	32.2×16.5	4.2×4.1	14.6×11.2
Size (length× width, mm)	轻阴 Light shade	14.7×8.1	24.2×44.2	38.2×17.4	4.4×4.2	14.3×9.8
	重阴 Deep shade	19.9×9.2	25.6×44.2	38.8×16.9	4.7×4.3	12.8×10.3

扁斗青冈种子属子叶留土萌发表现为,胚根长出后约10d,幼茎开始出现,当幼茎长至4-6cm时,才形成幼叶2-5片,幼茎和幼叶被白色绒毛。待这几片幼叶长至最终大小时,幼苗生长出现相对静止阶段,约经过25-30d,顶芽才继续生长,其顶端带有2-5片幼叶,待长至一定高度后,幼叶再发育成最终大小。如此呈现生长期与相对静止期相交替节律,这与英国栎幼苗的生长状况相似^[6]。

我们还观察到,森林树种扁斗青冈和罗浮柿的幼苗在本文的光条件下,由于光强较大,会引起幼苗生长不良或死亡,幼苗的死亡率前者达50%,后者为15%。故两种的幼苗在适宜的阴蔽条件下生长较好。

2.2.2 幼苗的高生长

不同树种的高生长速度差异较大,泡桐的高生长速度最快,最高可达178cm(137d),其次为香椿、枳椇、木蝴蝶,最慢为扁斗青冈,137d只有17.5cm。从幼苗的高生长速度亦可看见,泡桐、香椿、木蝴蝶、枳椇为速生树种。

采利尼克认为,植物的高生长与光强之间的关系更为复杂和更不稳定^[7]。光照不足会引起阳性树种香椿、木蝴蝶、泡桐不同程度的徒长,光照越弱徒长越明显,罗浮柿在阴蔽条件下的高生长速度也表现最快;而枳椇在光条件下的高生长速度最快,表现出需光性,光照不足则会抑制植株的高生长,这似乎与树种的生态特性有关。从图2幼苗高生长曲线显示,光与轻阴、重阴条件下的幼苗高生长速度相差较大,表明光明显影响幼苗的高生长速度。一般幼苗的高生长速度与施肥量呈正相关,香椿、木蝴蝶、泡桐、扁斗青冈、罗浮柿的高生长速度依次为重肥>轻肥>不施肥,枳椇在重肥条件下的高生长速度也表现最快。不同施肥条件下幼苗的高生长速度均有较大差异,尤其是香椿、木蝴蝶、泡桐和枳椇。

上述结果表明香椿和泡桐幼苗的高生长速度对光与肥的反应均十分明显，而木蝴蝶、罗浮柿、扁斗青冈和枳椇幼苗的高生长速度对光的反应较明显，对肥的反应不大。因此光是影响幼苗高生长速度的主要因子。

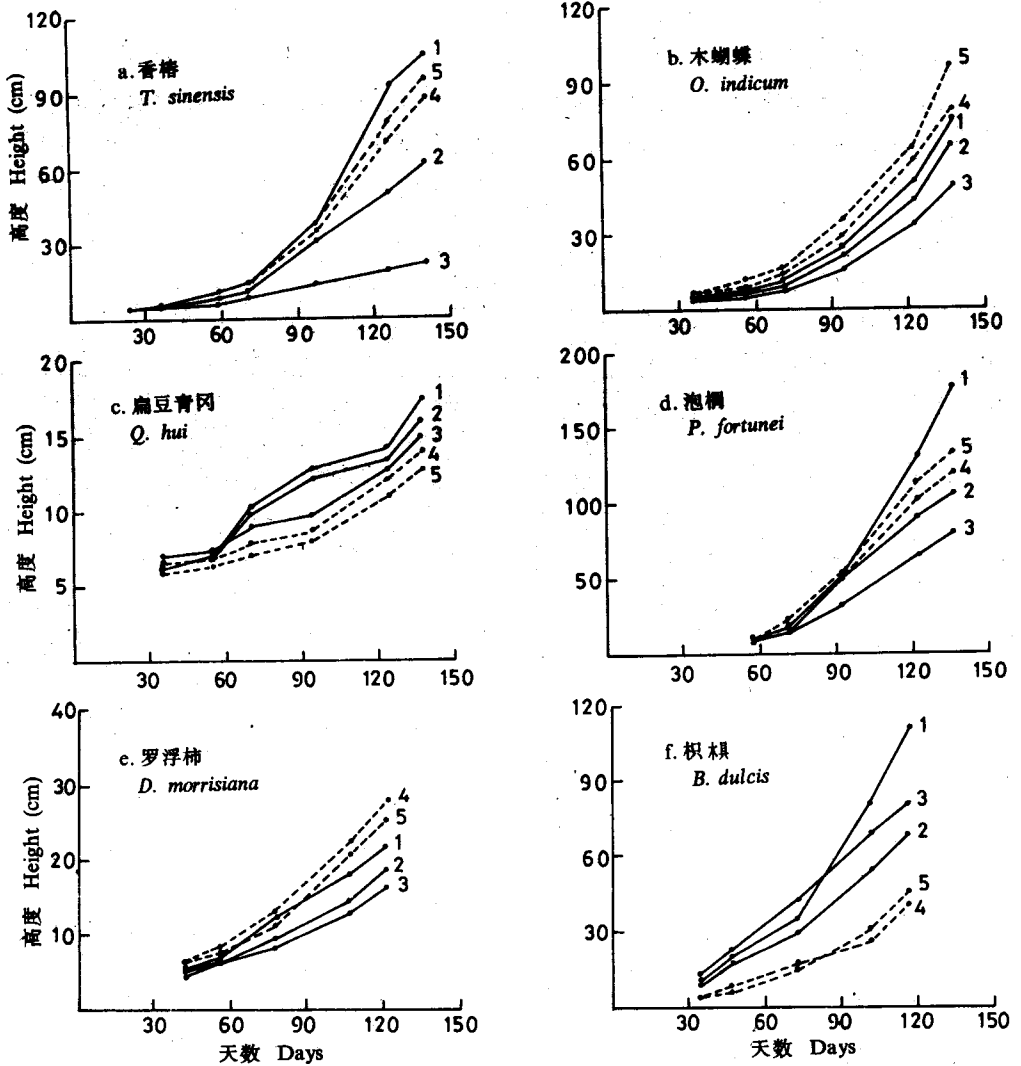


图2 不同遮阴和施肥条件下幼苗的高生长

Fig. 2 Growth height of the seedlings under different shade and fertilizer conditions

1. 光-重肥 Unshaded-Heavy fertilization;
2. 光-轻肥 Unshaded-Light fertilization;
3. 光-不施肥 Unshaded-Not fertilized;
4. 轻阴-轻肥 Light shade-Light fertilization;
5. 重阴-轻肥 Deep shade-Light fertilization

2.2.3 叶绿素含量与 a/b 值

所有树种经遮阴后都引起了叶绿素含量和 a/b 值的变化^[7]。其中香椿、泡桐和罗浮柿幼苗的

叶绿素含量随光强减弱而略有增高。在轻肥伴以不同的光照条件下, 幼苗的叶绿素含量和 a/b 值的变化缺乏规律性。幼苗的叶绿素 a/b 值 < 2.200, 大部分在 2.000 以内, 比一般选用生长发育成熟的植株叶片所测定的叶绿素 a/b 值低。随着幼苗的生长, 叶绿素 a/b 值有显著的变化, 60d 幼苗叶绿素 a/b 值较小, 在 0.210 以下, 93d 以上的幼苗叶绿素 a/b 值较大, 在 1.000 以上, 这可能是叶片还没有完全成熟, 与幼苗年龄较小有关, 有待于进一步研究和探讨。

不同树种叶绿素含量有一定的差别(表 3)。木蝴蝶的叶绿素含量最大, 最高可达 4.199mg dm², 其次是罗浮柿, 最低为扁斗青冈。叶绿素含量随着施肥量的增加而有不同程度的提高, 除扁斗青冈外, 所有种在重肥条件下的叶绿素含量最高, 这可能与植物相对吸收 N 素的含量增加, 为叶光合作用的生理活动提供了更多的 N 素, 合成叶绿素的量也相应增加^[9]。

表 3 幼苗叶片的叶绿素含量 (mg dm⁻²)
Table 3 Chlorophyll concentration in leaves of the seedlings

处理条件 Treatment	年龄 Age (day)	叶绿素 Chlorophyll	香椿 <i>T. sinensis</i>	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	扁斗青冈 <i>Q. hui</i>	泡桐 <i>P. fortunei</i>	罗浮柿 <i>B. morrisiana</i>	枳椇 <i>B. dulcis</i>
光-重肥 Unshaded- Heavy fertilization	60	a+b	2.529	3.489	1.526	2.285	3.468	2.572
		a/b	0.197	0.179	0.210	0.185	0.232	0.196
	93	a+b	3.565	3.967	1.726	3.424	3.489	3.142
		a/b	1.850	1.911	1.848	1.867	1.433	1.826
		a+b	3.826	4.122	1.921	3.183	4.375	4.088
		a/b	1.929	1.886	1.963	1.964	1.501	1.857
光-轻肥 Unshaded- Light fertilization	60	a+b	2.519	3.489	1.526	2.285	1.501	2.572
		a/b	0.197	0.179	0.210	0.185	0.232	0.196
	93	a+b	1.539	4.199	1.923	2.392	3.015	2.618
		a/b	1.932	1.822	1.893	1.902	1.363	1.906
		a+b	2.618	3.151	2.079	1.941	2.105	2.217
		a/b	1.906	1.978	1.718	2.083	1.396	2.012
光-不施肥 Unshaded- Not fertilized	60	a+b	2.519	3.489	1.526	2.285	3.468	2.572
		a/b	0.197	0.179	0.210	0.185	0.232	0.196
	93	a+b	2.199	2.572	1.277	1.539	2.840	1.939
		a/b	1.755	1.931	1.937	1.931	1.463	1.811
		a+b	2.754	2.294	1.619	1.988	2.526	1.974
		a/b	1.977	2.015	1.959	2.004	1.467	2.024
轻阴-轻肥 Light shade- Light fertilization	60	a+b	2.999	4.018	2.688	2.296	2.675	1.710
		a/b	0.191	0.159	0.191	0.206	0.229	0.209
	93	a+b	1.964	2.934	1.784	2.443	3.507	2.119
		a/b	1.906	1.755	1.893	1.690	1.495	1.731
		a+b	2.644	2.942	1.631	2.109	2.516	1.814
		a/b	1.928	1.922	2.020	1.982	1.421	1.871
重阴-轻肥 Deep shade- Light fertilization	60	a+b	3.366	3.244	2.891	2.534	2.683	1.468
		a/b	0.181	0.155	0.618	0.178	0.235	0.224
	93	a+b	2.570	3.154	1.673	2.582	3.869	2.674
		a/b	1.766	1.677	1.949	1.800	1.511	1.853
		a+b	3.492	3.889	1.965	2.973	2.675	2.632
		a/b	1.937	1.882	2.155	2.093	1.690	1.876

2.2.4 幼苗的生物量

不同树种的总生物量有显著的差异(图 3), 总生物量最大为木蝴蝶、泡桐, 其次为香椿、枳椇, 最低为扁斗青冈和罗浮柿。从总生物量可以明显地反映树种的生长特性, 表明阳性树种木蝴蝶、泡桐、香椿、枳椇为速生树种, 扁斗青冈、罗浮柿为慢生树种。

图 3 还显示,在不同的处理条件中,香椿、扁斗青冈、泡桐和罗浮柿幼苗的总生物量对 N 肥的反应十分明显,重肥条件下的幼苗总生物量均有明显的增加,尤以香椿和泡桐更为显著。光对幼苗总生物量的影响不大,只有香椿、泡桐幼苗在光条件下的总生物量比阴蔽条件下略有增加,扁斗青冈和罗浮柿幼苗总生物量则变化减小,N 肥是影响香椿、扁斗青冈、泡桐和罗浮柿幼苗总生物量的主要因子,与苏亚庆报告 N 肥明显促进小麦植株干物质积累的结果^[9]一致。而木蝴蝶和枳椇幼苗总生物量对光与 N 肥的反应均较明显,其幼苗总生物量在光和重肥条件下均有显著的增加,表明光与 N 肥是影响木蝴蝶和枳椇幼苗总生物量的主要因子。幼苗总生物量对光强的反应特性,反映出树种的生态习性和对生长环境的适应特性,本文的结果显示香椿、泡桐等与扁斗青冈、罗浮柿的光生态和生长习性的差异。

图 4 显示,叶生物量占总生物量的比例明显大于根生物量所占的比例,香椿、木蝴蝶、泡桐和罗浮柿的叶生物量占总生物量的比例最高,可达 71% 以上,根生

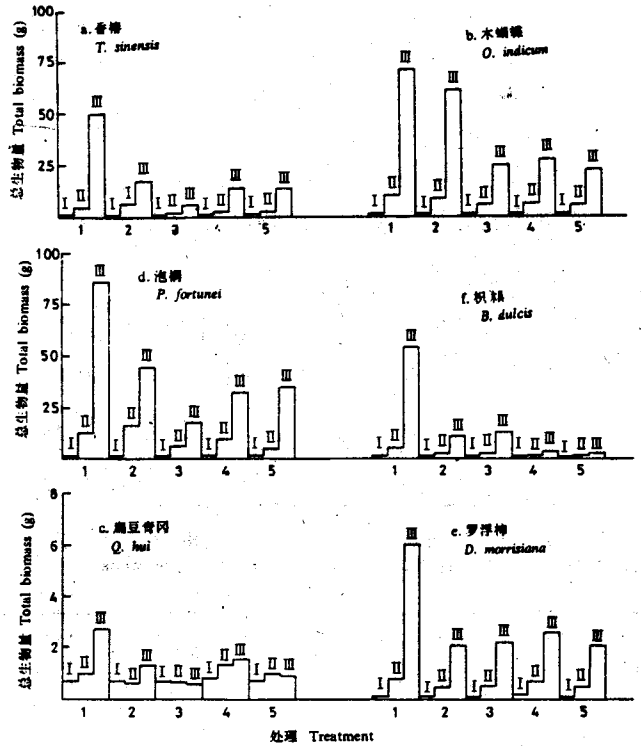


图 3 幼苗总生物量

Fig. 3 Total biomass of the seedlings

1. 光—重肥 Unshaded—Heavy fertilization; 2. 光—轻肥 Unshaded—Light fertilization; 3. 光—不施肥 Unshaded—Not fertilized; 4. 轻阴—轻肥 Light shade—Light fertilization; 5. 重阴—轻肥 Deep shade—Light fertilization. I. 60d; II. 93d; III. 131d

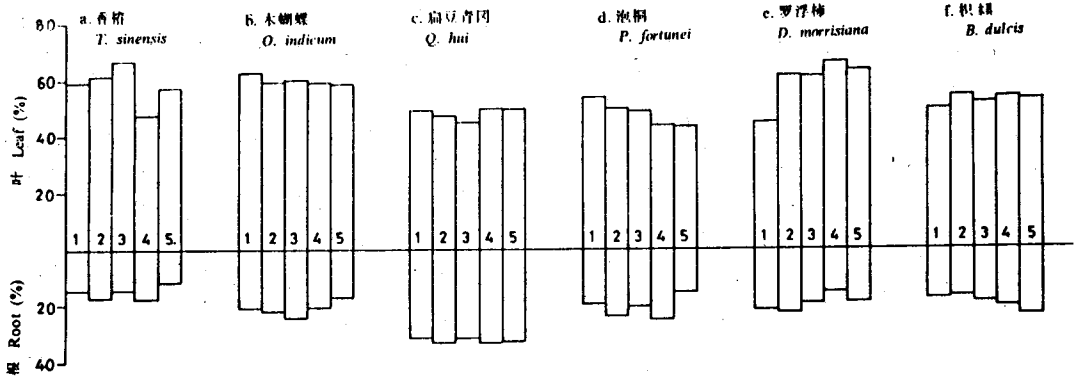


图 4 幼苗叶生物量与根生物量占总生物量的比例

Fig. 4 Percentage of leaf and root biomass in total biomass of the seedlings

1. 光—重肥 Unshaded—Heavy fertilization; 2. 光—轻肥 Unshaded—Light fertilization; 3. 光—不施肥 Unshaded—Not fertilized; 4. 轻阴—轻肥 Light shade—Light fertilization; 5. 重阴—轻肥 Deep shade—Light fertilization

物量所占比例较低, 只有15-35%; 而扁斗青冈的根生物量占总生物量的比例较其它种高, 最高可达39%, 叶生物量所占的比例则只有40-60%。结果表明, 地上部分(包括茎和叶)的生长大于根系的生长。但光和肥对叶生物量和根生物量占总生物量的比例影响不明显。随着幼苗的生长, 叶生物量和根生物量占总生物量比例的变化不大, 总的趋向是, 阳性树种香椿、木蝴蝶、泡桐、枳椇的叶生物量所占比例有所减小, 根生物量所占比例有所增加; 扁斗青冈、罗浮柿的叶生物量所占比例有所增加, 根生物量所占比例有所减小。

2.3 幼苗生长分析

表4为幼苗生长分析结果, 其相对生长率(R)、净同化率(E)、叶面积比率(F)均高于 Rao 对 *Quercus floribunda* Lindl. 和 *Cupressus torulosa* D. Don 研究的结果^[1], 与英国栎研究结

表4 幼苗生长分析
Table 4 Growth analysis of the seedlings

处理条件 Treatment	树种 Species	相对生长率(R) g/g week		净同化率(E) g/m ² week		叶面积比率(F) cm ² /g	
		93d	131d	93d	131d	93d	131d
光—重肥 Unshaded— Heavy fertilization	香椿 <i>T. sinensis</i>	0.502	0.451	46.593*	40.055	197.885	132.612
	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	0.483	0.360	37.198	33.818*	135.034	110.423
	泡桐 <i>P. fortunei</i>	0.788*	0.360	58.705*	29.658	166.386	67.756*
	扁斗青冈 <i>Q. hui</i>	0.054**	0.094**	8.901**	14.376	60.351**	65.277*
	罗浮柿 <i>D. morrisiana</i>	0.387	0.378	32.654	32.075	120.868	72.728
	枳椇 <i>B. dulcis</i>	0.479	0.488	37.568	40.969*	199.930	104.604
光—轻肥 Unshaded— Light fertilization	香椿 <i>T. sinensis</i>	0.571	0.198	31.634	16.743	191.404	130.491
	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	0.426*	0.382	37.099*	29.325	145.958	114.492
	泡桐 <i>P. fortunei</i>	0.743	0.190	61.671	17.531	169.568*	73.075*
	扁斗青冈 <i>Q. hui</i>	0.106**	0.025*	19.617*	9.927*	63.410*	65.277**
	罗浮柿 <i>D. morrisiana</i>	0.293	0.269	23.910	23.175*	145.145	127.105
	枳椇 <i>B. dulcis</i>	0.327*	0.426	24.255	31.618*	219.635*	143.341
光—不施肥 Unshaded— Not fertilized	香椿 <i>T. sinensis</i>	0.274	0.272	15.676	15.035	216.790*	188.058
	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	0.305	0.311*	22.960	29.433	136.066	110.053
	泡桐 <i>P. fortunei</i>	0.515	0.217	38.013	16.924	203.091	118.881*
	扁斗青冈 <i>Q. hui</i>	-0.012**	-0.030*	-2.014*	-5.529**	57.449**	54.860*
	罗浮柿 <i>D. morrisiana</i>	0.216*	0.252	22.462	23.311	138.360	117.458
	枳椇 <i>B. dulcis</i>	0.215*	0.456	19.355	33.806**	237.968*	162.890*
轻阴—轻肥 Light shade— Light fertilization	香椿 <i>T. sinensis</i>	0.473	0.295	9.1622	17.725	275.849	180.108
	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	0.417	0.287	26.813*	20.733	175.696*	131.173
	泡桐 <i>P. fortunei</i>	0.717*	0.235	56.341*	23.405	285.360	117.761**
	扁斗青冈 <i>Q. hui</i>	0.106	0.037	16.094*	3.641	65.984**	67.709*
	罗浮柿 <i>D. morrisiana</i>	0.268	0.248	24.59**	23.054*	168.576	147.826
	枳椇 <i>B. dulcis</i>	0.325*	0.348*	11.438	19.776	311.877*	186.308
重阴—轻肥 Deep shade— Light fertilization	香椿 <i>T. sinensis</i>	0.462	0.299	28.168	15.594	335.258*	211.688
	木蝴蝶 <i>O. indicum</i>	0.362	0.272	26.916*	20.594	327.607	151.326
	泡桐 <i>P. fortunei</i>	0.700*	0.364	52.815*	29.426	410.584*	159.795
	扁斗青冈 <i>Q. hui</i>	0.056*	-0.008**	8.001*	-0.672*	70.510*	72.025
	罗浮柿 <i>D. morrisiana</i>	0.297*	0.209	19.400	17.518*	183.717	154.918
	枳椇 <i>B. dulcis</i>	0.237	0.293	11.218*	17.130	328.856**	251.537

表中数据为二次重复之平均数 Values are means of two replicates. R: Relative growth rate; E: Net assimilation rate; F: Leaf area ratio. * 差异显著, ** 差异极显著. *, ** Represent significance at 0.05 level and 0.01 level, respectively.

果^[6]和Jarvis等对若干温带乔木测定结果相近^[10]。泡桐的R、E值最大，其次是木蝴蝶、香椿，最小为扁斗青冈。

参考文献

- 1 陈福明, 陈顺伟. 混合液法测定叶绿素含量的研究. 林业科技, 1984, 6:4-8
- 2 木村允. 姜恕等译. 陆地植物群落的生物量测定法. 北京: 科学出版社, 1981
- 3 Hunt R. 陆弦辉译. 植物生长分析. 北京: 科学出版社, 1980, 10-32
- 4 陈章和. 热带湿润森林种子及幼苗生理生态学研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 第六集, 北京: 科学出版社, 1990, 153-163
- 5 廖勉之等. 湖南主要经济树种. 长沙: 湖南科学出版社, 1982, 327-417
- 6 陈章和. 英国栎种子萌发及幼苗生长分析. 华南师范大学学报(自然科学版), 1991, 2:56-62
- 7 采利尼克尔 Ю. И. 王世绩译. 木本植物耐阴性的生理学原理. 北京: 科学出版社, 1986, 48-171
- 8 陈相如, 谢永泉. 黑石顶黄果厚壳桂叶子成分生态分析. 生态科学, 1987, (1,2 合刊):110-120
- 9 苏亚庆. 氮素营养在不同生态型小麦品种上的增产效应. 土壤肥料, 1980, 2:31-33
- 10 Jarvis P G et al. Growth rates of woody plants. *Physiologia plantarum*, 1964, 17(3):654-666
- 11 Rao P R. Effects of environmental factors on germination and seedling growth in *Quercus floribunda* and *Cupressus torulosa*, tree species of Central Himalaya. *Annals Bot*, 1988, 61(4):531-540