World Journal of Forestry 林业世界, 2015, 4(4), 76-84
Published Online October 2015 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/wjf
http://dx.doi.org/10.12677/wjf.2015.44013

Comparative Study on Drought Resistance of Seedling and Cutting of *Jatropha curcas*

Tianjiang Li[1*], Shaolong Wen[1#], Nanjun Lang[2]

[1]Yunnan Academy of Forestry, Kunming Yunnan
[2]Southwest Forestry University, Kunming Yunnan
Email: [#]nanjunlang@126.com

Received: Oct. 1st, 2015; accepted: Oct. 15th, 2015; published: Oct. 19th, 2015

Abstract

In recent years, Yunnan had suffered from the worst drought in a century, and there was the biggest challenge in front of the development of forestry industry, whereupon it would be particularly important for us to cultivate improved drought-resistant species and research its drought resistance mechanism. Therefore the drought resistance of two different modes of reproduction (seedlings and cuttings) of *Jatropha curcas* was researched from the growth indexes, physiological and biochemical indexes with the moisture gradient method to control water. And then the comprehensive evaluation and comparison of their drought resistance ability was made by use of variance analysis, correlation analysis and application method of subordinate function in SPSS software. The results showed that : 1) under the different degree of drought stress, the survival rate of those two different modes of reproduction seedlings were both up to 100%, and most of leaves didn't appear wilting, leaf curl, fallen leaves at the middle, late and last phase until under the severe drought stress; 2) the growth in seedling height was restrained with the increase of drought stress degree and the extension of time; 3) the total dry weight of the plant, stem, leaves and root were all in downtrend, compared to check samples, the decline range of above indexes of cuttings of *Jatropha curcas* was lower than its seedlings; 4) compared to check samples, the root shoot ratio of those two different seedlings took on apparent uptrend along with the increase of drought stress degree and extension of time; 5) the relative water content of seedling leaves declined, and the decline range was in proportion to the degree of drought stress and the length of time. And those two modes of reproduction differed in the decline range. It can be seen that *Jatropha curcas* seedling in whatever kind of reproduction still could maintain its normal physiological process, maintain relatively high growth rate and drought resistance ability. According to the drought coefficient and the relative growth in seedling height, the drought-resistant growth of cuttings was a little higher than that of seedlings.

[*]第一作者。
[#]通讯作者。

文章引用: 李甜江, 温绍龙, 郎南军. 膏桐实生苗与扦插苗的抗旱性对比研究[J]. 林业世界, 2015, 4(4): 76-84.
http://dx.doi.org/10.12677/wjf.2015.44013

Keywords

***Jatropha curcas*, Drought Resistance, Growth Trait, Seedling, Cutting**

膏桐实生苗与扦插苗的抗旱性对比研究

李甜江[1*]，温绍龙[1#]，郎南军[2]

[1]云南省林业科学院，云南 昆明
[2]西南林业大学，云南 昆明
Email: [#]nanjunlang@126.com

收稿日期：2015年10月1日；录用日期：2015年10月15日；发布日期：2015年10月19日

摘 要

近年来，云南遭受了百年不遇的严重旱灾，林业工程造林正面临着艰巨的考验，培育优良的抗旱树种及探索其抗旱机制显得尤为重要。因此，通过水分梯度法控水，我们从生长指标和生理生化指标等方面研究两种不同繁殖方式的膏桐(扦插苗与实生苗)的抗旱性，并利用SPSS软件进行方差分析和相关性分析、应用隶属函数法对其抗旱能力作出综合评价及比较。结果表明：1) 在不同程度干旱胁迫下，两种不同繁殖方式的膏桐苗木成活率均达到了100%，在重度干旱胁迫的中后期和末期部分叶片才出现了萎蔫、叶片卷曲、枯萎、落叶等现象；2) 膏桐实生苗和扦插苗的苗高生长均受到抑制，且随着干旱胁迫程度的加剧、时间的延长，苗高生长量受抑程度增加；3) 植株总干重、茎干重、叶干重和根干重均呈现下降趋势，与对照相比，膏桐实生苗上述指标的降幅均低于膏桐扦插苗；4) 与对照相比，膏桐实生苗及扦插苗苗木的根冠比都随着干旱胁迫强度的加强和胁迫时间的延长而呈现出明显的上升趋势；5) 苗木叶片相对含水量下降，下降幅度与干旱胁迫强度及时间成正比，且繁殖方式不同，下降幅度不同。由此可知：无论哪种繁殖方式的膏桐在干旱胁迫条件下苗木仍能维持较正常的生理过程，保持相对高的生长速率，抗旱能力较强。根据各项生长指标来判断，膏桐实生苗的抗旱生长略高于膏桐扦插苗。

关键词

膏桐，抗旱性，生长性状，实生苗，扦插苗

1. 引言

近年来，云南遭受了百年不遇的严重旱灾。如何高效地应用抗旱树种来改善生态环境，涵养水源，促进自然水良性循环已成为云南林业所迫不及待需解决的问题。膏桐具有很强的抗旱、耐贫瘠、耐高温的特性，且具有很高的经济价值、药用价值、农用价值、生态价值和潜在的开发价值[1]-[5]。由此可见，膏桐可作为云南抗旱造林的优良树种，进而对其抗旱性的研究成为了首当其冲的任务。

通过在干旱胁迫下直接研究苗木生长和产量等指标的受害程度，进而对苗木抗旱能力做出判断是应用最广泛的最直接的鉴定方法。在水分胁迫条件下植物仍维持较正常的生理过程，保持相对高的生长，是抗旱品种选育的根本目的所在。生长行为是植物受多种环境因子综合作用的最终表现[6]。膏桐是金沙江干热河谷的速生树种，广泛分布于干热河谷，该地域气候炎热干燥、降雨量少，土壤干旱贫瘠，而膏

桐对其表现了很强的适生性[7]。谢安德等的研究表明[8]：土壤自然干旱胁迫 14 d，各种源麻疯树质膜相对透性与 MDA 起到清除活性氧和自由 A 含量增加幅度缓慢，而 POD 与 CAT 活性随胁迫时间的增加积极响应，充分基透性与抑制膜脂过氧化的作用；一旦超过 14 d 这个阈值，质膜相对透性与 MDA 含量急剧增加，由于细胞膜系统被过度氧化损伤以致难以恢复。伊丽等对膏桐幼苗的研究表明[9]：干旱胁迫条件下，麻疯树幼苗茎和根部的游离脯氨酸、可溶性蛋白质和茎部可溶性糖大量积累，叶片中脯氨酸含量也随干旱胁迫程度的增加大幅度上升。吴涛等研究表明[10]：随着干旱胁迫时间的延长，红河、永涛和元阳 3 个种源膏桐的叶绿素含量逐渐缓慢降低，饱和水分亏缺、质膜相对透性、丙二醛含量、脯氨酸含量和可溶性糖含量值呈上升趋势，其中后 3 个指标的增幅明显，表明膏桐这一树种具有较强的抗旱能力。

在不同环境条件下，选择更适宜的繁殖方式，来满足生态环境建设及林业发展的需要显得尤为重要，然而对比膏桐的实生育苗与扦插育苗两种不同繁殖方式下的抗旱性研究鲜见报道。因此，本研究通过水分梯度法控水，从生长指标和生理生化指标等方面研究膏桐两种不同繁殖方式的抗旱性，利用 SPSS 软件进行方差分析和相关性分析；应用隶属函数法对其抗旱能力作出综合评价及比较，从而为膏桐抗旱性理论的研究打下基础，并为云南省的森林植被恢复、生态环境建设中培育种植膏桐的繁殖方法选择上提供科学的理论依据和实践上的指导意义。

2. 研究材料

以采自云南省元阳县海拔 218 m 的实验林场内同批膏桐种源的种子及扦插枝条为材料。将采集的种子及扦插枝条于 2012 年 3 月上旬实生、扦插于云南省林业科学院温室大棚中的苗床内。选择生长势比较一致的苗木于 2012 年 5 月下旬移植于塑料盆内(盆高 30 cm，内径 25 cm)，每盆栽 1 株，置于温室中，室内温度保持在 25℃左右。苗木在充足的阳光、温度、水分条件下生长。

3. 研究方法

3.1. 干旱控水处理方法

试验的干旱控水处理方法采用 Hsiao (1973)提出的关于植物的水分梯度法[11]。共设四个干旱胁迫处理水平，分别为：对照正常处理(CK)、轻度干旱胁迫(T1)、中度水分胁迫(T2)和重度干旱胁迫(T3)，即土壤含水量分别控制在基质田间最大持水量(40.4%)的 75%~80%、55%~60%、40%~45%、30%~35%。选择生长势比较一致的苗木于 9 月份开始进行抗旱试验。干旱梯度形成前使各盆的土壤相对含水量基本达到饱和，然后停止浇水让其自然干旱至设定标准。用烘干和称重相结合的方法控制土壤含水量，每天下午六点向盆中插孔用量杯补充消耗的水分，使各处理稳定在设定的土壤含水量范围内。每个处理 6 盆，即 6 个重复。为了防止雨水和处理外的其他水分影响，实验在两面通风的塑料遮雨棚内进行。在测量土壤相对含水量取土样时，同时记录土盒号和盆号，测定完土壤含水量的土样重新放到原来的苗木盆中，以保证每次取土样不会对试验结果产生影响。

3.2. 试验测定

试验过程中对苗木的形态特征、生长指标进行观察、测定，2012 年 9 月 1 日试验开始，每 10 天测定一次，共测定 4 次。

3.2.1. 苗木存活率的测定

分别在 9 月 1 日、9 月 11 日、9 月 21 日、10 月 1 日观测膏桐实生苗与扦插苗的存活率。存活率 = 干旱胁迫后苗木存活株数/苗木总株数 × 100%。

3.2.2. 苗高的测定

分别在 9 月 1 日、9 月 11 日、9 月 21 日、10 月 1 日测量每株苗木的高度。

3.2.3. 生物量的测定

将不同程度干旱处理的各苗木，用自来水洗去灰尘及根部的土壤，再用滤纸和吸水纸擦净苗木上的水分，将各部分剪断，分别置于托盘中，放入烘干机中 80℃烘干约 10 小时，直至相隔 30 分钟的两次测量值不变为止，再用电子天平称量出各部分干重，得出叶片生物量、茎枝生物量、根系生物量、根茎生物量、苗木总生物量。

3.2.4. 根冠比的测定

根冠比 = 地下部分生物量(干重)/地上部分生物量(干重)

3.2.5. 叶片相对含水量的测定

剪下叶片后立刻称鲜重，然后将它们放入装有蒸馏水的烧杯中，黑暗中放置 24 h 后称饱和重，之后于鼓风烘箱中 80℃烘干 48 h，称干重。每个处理重复三次，取平均值做为该次取样植物叶片的相对含水量。叶片相对含水量 RWC(%) = (鲜重 − 干重)/(饱和重 − 干重) × 100%。

3.3. 数据处理

实验测定数据经过初步整理后输入 Excel 软件绘制表格及制图，并应用 SPSS 软件进行数据分析处理。

4. 结果与分析

4.1. 苗木成活率对干旱胁迫的响应

水分是苗木体内的重要组成部分，是苗木成活的基本条件之一。由表 1、表 2 可知，在长期干旱控水处理下，膏桐的实生苗与扦插苗成活率均达到了 100%；且 T1 及 T2 处理对膏桐实生苗与扦插苗的影响在外部形态上出现的胁迫症状及差异不明显；在 T3 处理的中后期才出现叶片卷曲、萎蔫、落叶等现象，说明其忍耐干旱胁迫的能力较强。从外部形态和成活率来看，膏桐实生苗与扦插苗抗旱性表现无明显差异。

4.2. 干旱胁迫下膏桐苗木的苗高、生长速率和抗旱系数的变化

由表 3 可以看出，随着干旱胁迫时间的延长和胁迫程度的加剧，两种不同繁殖方式膏桐苗高的相对增长量和生长速率均呈现下降的趋势。干旱胁迫条件下，处理的苗高增长量与对照的苗高增长量之比值随着胁迫程度的加重而逐渐减小。在轻度干旱胁迫时，膏桐实生苗的抗旱系数为 67.06%，膏桐扦插苗的抗旱系数为 66.36%；在中度干旱胁迫时，膏桐实生苗的抗旱系数为 50.01%，膏桐扦插苗的抗旱系数为 42.89%；在重度干旱胁迫时，膏桐实生苗的抗旱系数为 37.38%，膏桐扦插苗抗旱系数为 32.52%。

对于两种不同繁殖方式的膏桐来讲，无论是实生苗还是扦插苗在干旱胁迫的过程中苗高的相对增长差异不明显。尤其是在严重干旱阶段膏桐实生苗和扦插苗的相对生长速率均在 30%以上，这说明无论哪种繁殖方式的膏桐在干旱胁迫条件下苗木仍能维持较正常的生理过程，保持相对高的生长速率，抗旱能力较强。根据膏桐苗高的相对增长量及抗旱系数来判断，膏桐实生苗的抗旱生长略高于膏桐扦插苗。

4.3. 干旱胁迫对生物量的影响

4.3.1. 干旱胁迫对茎、根、叶生物量的影响

由表 4 可知，不同程度干旱胁迫条件下，两种不同繁殖方式的膏桐植株其总干重、茎干重、叶干重

Table 1. Survival rate of *Jatropha curcas* seedlings and cuttings in the different drought stress condition
表 1. 不同程度干旱胁迫条件下膏桐实生苗及扦插苗存活率

树种	繁殖方式	处理时间(d)	存活率(%)			
			CK	T1	T2	T3
小桐子	实生苗	40	100	100	100	100
	扦插苗	40	100	100	100	100

注：CK、T1、T2、T3 分别表示正常水分处理、轻度、中度和重度干旱胁迫。

Table 2. Force symptom questionnaire of *Jatropha curcas* seedlings and cuttings in the different drought stress condition
表 2. 不同程度干旱胁迫条件下膏桐实生苗及扦插苗受迫症状调查表

繁殖方式	胁迫水平	调查时间和植株受迫症状			
		9月1日	9月11日	9月21日	10月1日
实生苗	CK	正常	正常	正常	正常
	T1	正常	正常	正常	正常
	T2	正常	正常	正常	正常
	T3	正常	正常	部分叶片萎蔫	叶片卷曲、枯萎，部分出现落叶
扦插苗	CK	正常	正常	正常	正常
	T1	正常	正常	正常	正常
	T2	正常	正常	正常	正常
	T3	正常	正常	少数叶片萎蔫	叶片枯黄、卷曲，少落叶

Table 3. Relative increment, growth rate and drought resistance coefficient of *Jatropha curcas* seedlings and cuttings in the different drought stress condition
表 3. 不同程度干旱胁迫下膏桐实生苗与扦插苗的相对增长量、生长速率和抗旱系数

繁殖方式	胁迫水平	苗高相对增长量、生长速率和抗旱系数							
		9月11日		9月21日		10月1日			
		A (cm)	B (cm/d)	A (cm)	B (cm/d)	A (cm)	B (cm/d)	C (cm)	D (%)
播种苗	CK	6.97	0.69	4.43	0.44	8.81	0.88	20.21	——
	T1	6.31	0.63	4.14	0.41	3.11	0.31	13.56	67.06
	T2	4.57	0.46	2.94	0.29	2.41	0.24	11.35	50.01
	T3	3.95	0.40	2.32	0.23	1.28	0.23	7.55	37.38
扦插苗	CK	7.53	0.75	7.48	0.75	4.68	0.47	19.68	——
	T1	6.02	0.60	3.98	0.40	3.06	0.31	13.06	66.36
	T2	4.05	0.41	2.51	0.25	1.89	0.20	8.44	42.89
	T3	3.01	0.30	2.02	0.22	1.37	0.14	6.40	32.52

注：A (相对增长量) = 第 n 次测量的苗高 − 第 n-1 次测量的苗高；B (生长速率) = A/10；C (增长量) = 第 4 次测量的苗高 − 第 1 次测量的苗高；D (抗旱系数) = 处理的苗高增长量/对照的苗高增长量 × 100%。

Table 4. Biomass change with two different reproductive modes of *Jatropha curcas* in the different drought stress condition
表 4. 不同程度干旱胁迫条件下两种不同繁殖方式膏桐生物量的变化

繁殖方式	处理水平	叶生物量	茎生物量	根生物量	总生物量	地上部分生物量	地下部分生物量	根冠比
播种苗	CK	19.75	59.16	21.47	100.38	56.52	43.86	0.776
	T1	17.83	57.82	20.56	96.21	52.49	43.72	0.833
	T2	15.31	54.22	19.21	88.74	43.75	44.39	1.014
	T3	13.91	46.10	18.51	78.52	36.83	41.69	1.189
扦插苗	CK	18.75	56.16	19.21	94.12	54.59	39.53	0.724
	T1	16.11	52.60	18.52	87.23	48.54	38.69	0.797
	T2	11.32	48.21	17.81	77.44	41.04	36.40	0.896
	T3	10.70	41.79	15.81	68.30	33.72	34.09	1.092

和根干重均呈现出不同程度的下降趋势，膏桐实生苗降幅依次为：26.21%、22.08%、29.69%、13.83%；膏桐扦插苗降幅依次为：27.55%、25.57%、40.61%、17.75%。可以看出其中叶干重下降幅度最大，茎干重次之，根干重下降程度最小。方差分析结果均达到了显著水平($P < 0.05$)。说明干旱胁迫是植物生物量下降的重要原因。在干旱胁迫条件下，苗木通过减小茎、叶干重使地上部分生物量减小，从而避免有限的水分在地上部分的消耗，以适应在干旱环境下的生存。

4.3.2. 干旱胁迫对根冠比的影响

从图 1 可以看出，在不同程度干旱胁迫过程中，两种不同繁殖方式的膏桐其根冠比都有所增加。与对照相比，膏桐实生苗根冠比增加了 1.53 倍，膏桐扦插苗根冠比增加了 1.51 倍，说明膏桐的实生苗与扦插苗都有着很强的抗旱能力。仅以根冠比的增加量作为评价抗旱能力的指标，膏桐实生苗略高于膏桐扦插苗。

4.4. 干旱胁迫对叶片相对含水量的影响

在植物对各种环境胁迫的反应中，水分状况的变化往往是比较明显的。在干旱胁迫时，植物的水分状况都有共同的表现，就是植物组织的含水量下降。干旱胁迫下，植物吸水量降低，蒸腾量同时也减少，但蒸腾仍大于吸水量。叶片含水量是反映植物缺水最敏感的指标之一。从图 2 中我们可以看出，在干旱胁迫过程中，与对照相比，膏桐实生苗及扦插苗叶片的相对含水量皆逐渐下降，但下降的幅度不同。膏桐实生苗的叶片相对含水量从对照时的 85.08%降到重度干旱胁迫末期时的 60.30%，降幅为 29.13%，膏桐扦插苗的叶片相对含水量从对照时的 85.78%降到重度干旱胁迫末期时的 51.94%，降幅为 39.49%。

5. 结论与讨论

5.1. 结论

从研究结果可以看出：1) 膏桐实生苗及扦插苗在不同程度干旱胁迫条件下均能正常生长，且成活率均达到了 100%。只有在重度干旱胁迫的中期和末期，膏桐实生苗及扦插苗部分叶片才出现了萎蔫、叶片卷曲、枯萎、落叶等现象；2) 随着干旱胁迫时间的延长和胁迫程度的加剧，两种不同繁殖方式膏桐苗高的相对增长量、生长速率和抗旱系数均呈现下降的趋势。且无论是实生苗还是扦插苗在干旱胁迫条件下苗木仍能维持较正常的生理过程，保持相对高的生长速率，抗旱能力较强；3) 在生物量研究方面，两种

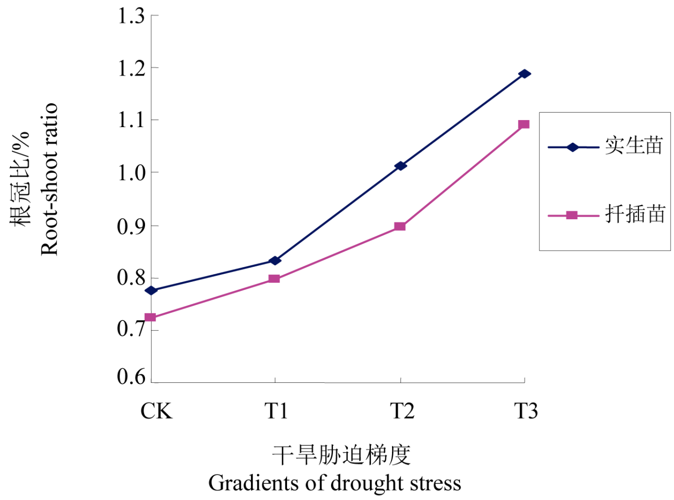
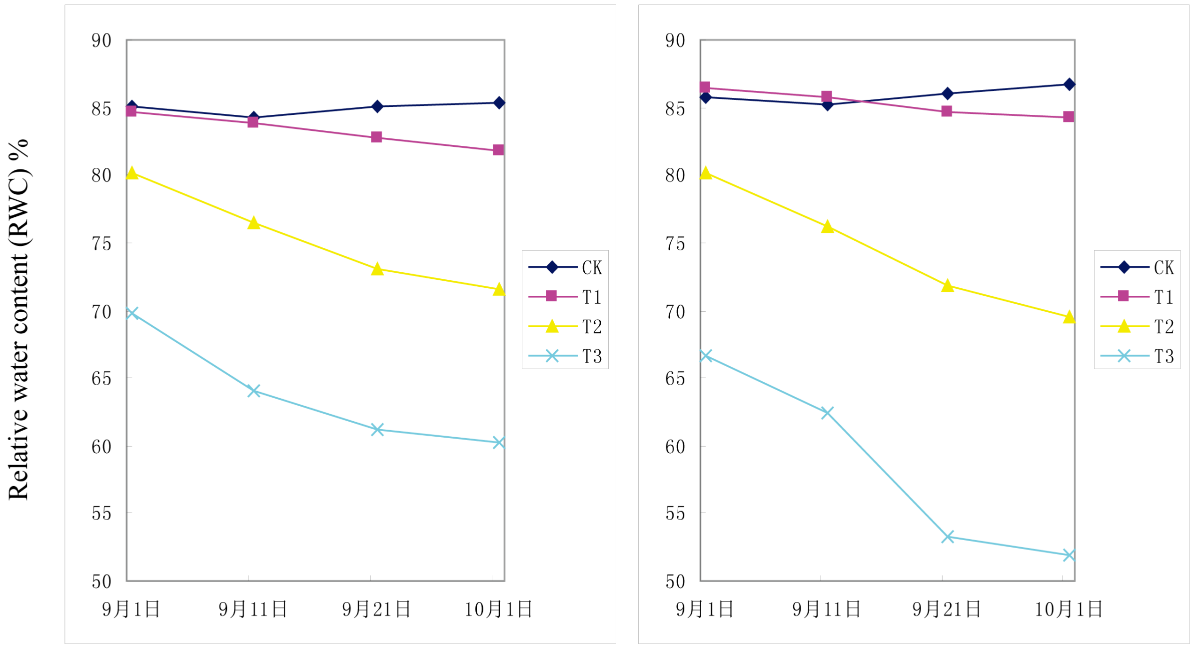


Figure 1. The root shoot ratio change of *Jatropha curcas* seedlings and cuttings in the different drought stress condition
图 1. 不同程度干旱胁迫期间膏桐实生苗与扦插苗的根冠比变化



注：左图为膏桐实生苗，右图为膏桐扦插苗

Figure 2. The relative water content change of leaf of *Jatropha curcas* seedlings and cuttings in the different drought stress condition
图 2. 不同程度干旱胁迫条件下膏桐实生苗与扦插苗的叶片相对含水量变化

不同繁殖方式的膏桐植株总干重、茎干重、叶干重和根生物量均出现不同程度的下降；4) 对根冠比研究的结果还可看出，随着胁迫的增强膏桐实生苗及扦插苗的根冠比呈现出了显著的增加的趋势，即根部的干物质的积累呈现出上升的趋势。

5.2. 讨论

植物对水分需求及对水分亏缺的反映是与植物本身外部形态特征、生长状况及生态条件密切相关的。

一般来说，当水分条件不能满足植株需要时，即会带来一系列的缺水生理反应，以适应水分不足的条件，维持植株的生存，经过长期的作用，就会逐渐表现出适应性的外部形态特征。随着水分亏缺程度的加重，植物生长受到严重影响，甚至导致全株枯死。由于植物种类及受水分胁迫的状况不同，其规律性及表现也不完全一致[12]-[14]。在不同程度的干旱胁迫过程中，两种不同繁殖方式的膏桐外部形态发生着一系列的变化。干旱胁迫对膏桐的伤害最先表现在顶芽上，顶芽发生萎蔫。随着干旱胁迫强度的增加和干旱胁迫时间的延长，叶片萎蔫逐渐向下蔓延，苗木中下部的叶片出现黄化，最后萎蔫的叶片逐渐枯萎。干旱胁迫过程中，从苗高的测量可以看出，苗木生长较慢。也就是说干旱胁迫的强度越大、时间越长，植株所受伤害越严重。

生物量的变化，综合反映了外界因子对苗木生长的影响以及苗木对外界环境的适应能力。生物量是膏桐获取能量能力的主要体现，对植株的发育和结构的形成具有十分重要的影响。在生长发育过程中，植株要不断调整其生长和生物量的分配策略来适应环境变化。在干旱胁迫条件下，膏桐通过调整生物量分配将逆境伤害降低到最小来适应环境胁迫。当膏桐植株受到干旱胁迫时，根系生物量在整个植株生物量中所占比重提高，有助于植株从干旱的土壤中吸收水分，保持体内水分平衡。由研究结果可知，在不同程度干旱胁迫条件下膏桐实生苗及扦插苗的根系生物量占总生物量的比重升高，而且从根部干重和总生物量的相关分析可以看出，根干重和总的生物量呈现极其显著的正相关。

根冠作为相互作用的共同体，在二者的消长变化及干物质的分配关系中水分扮演着重要角色。从本研究的结果看，随着胁迫的增强，膏桐实生苗及扦插苗的根冠比呈现出了显著的增加的趋势，即根部的干物质的积累呈现出上升的趋势。造成根冠关系的原因可能是：在植株的生长过程中，由于干物质优先供应于作物的根系，从而促进了根系的发育，提高或维持根的活性，吸收更多的水分，减少水分不足对根、冠的损坏。因此根冠比增大有利于缓解干旱胁迫、防止水分以更快速度丧失，使苗木更加有效地利用水分资源，长时间维持生存。

随着干旱时间的延长和干旱强度的增加，苗木会发生一系列的生理生化反应，如细胞膜相对透性增大，呼吸强度减弱，叶片水势降低，相对含水量减少，pH 值改变，破坏了离子平衡，酶失活，代谢失调，最终导致植株伤害甚至死亡[15] [16]。随着干旱程度的增加，膏桐叶片含水量逐渐减少，以此来适应干旱对膏桐植株造成的影响。

综上所述，膏桐实生苗和扦插苗均具有良好的抗旱性，说明膏桐是一种耐旱的树种，可以运用到云南抗旱造林中。在不同程度的干旱胁迫条件下，膏桐实生苗的保存率、抗旱系数、根冠比和叶片相对含水量均大于扦插苗的，说明膏桐实生苗比膏桐扦插苗对干旱胁迫的适应能力大一些。因此，在抗旱造林时，可以多培育膏桐实生苗，以增大早期保存率。

基金项目

国家林业局 948 项目“生物质柴油树种小桐子良种及培育技术引进”(2008-4-04)。

参考文献 (References)

[1] 丘华兴 (1996) 中国植物志. 科学出版社, 北京.

[2] 中国科学院华南植物研究所 (1965) 海南植物志(第二卷). 科学出版社, 北京.

[3] Heller, J. (1996) Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Volume 1: Physic nut (*Jatropha curcas*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

[4] 罗通, 马丹炜, 邓骛远, 等 (2005) 低温对麻疯树生理指标的影响. *中国油料作物学报*, **4**, 50-54.

[5] 王宏广, 储富祥, 张洪勋 (2006) 生物质能源开发需要更大政策支持. *中国改革报*, 12-14.

[6] Beadle, C.L. (1993) Growth analysis. In: Hall, E.O., Scurlock, J.M.O. and Bolhar-Norderkampf, H.R., Eds., *Photo*

Synthesis and Production in a Changing Environment. A field and Laboratory Manual, Chapman & Hall, London, 36-46.

[7] 曾觉民 (2006) 可大力发展的生物质能源植物——膏桐. *云南林业*, **2**, 21-22.

[8] 谢安德, 唐春红, 潘启龙, 李远发, 王凌挥 (2011) 干旱胁迫对不同种源麻疯树幼苗生理特性的影响. *江西农业大学*, **2**, 306-311.

[9] 伊丽, 刘永安, 谢财永, 江雪 (2012) 干旱胁迫与施氮对麻疯树幼苗渗透调节物质积累的影响. *应用生态学报*, **3**, 54-60.

[10] 吴涛, 陈少瑜, 彭明俊, 李丹 (2008) 不同种源膏桐在干旱胁迫下生理指标的变化. *西北林学院学报*, **2**, 7-11.

[11] Hsiao, T.C. (1973) Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, **24**, 519-570. http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511

[12] 蒋进 (1992) 几种旱生植物盆栽苗术的水分关系和抗旱性排序. *干旱区研究*, **4**, 31-37.

[13] Levitt, J. (1972) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, 325-358.

[14] 郭卫东, 沈向, 李嘉瑞, 等 (1999) 植物抗旱分子机理. *西北农业大学学报*, **4**, 102-108.

[15] 胡荣海 (1996) 反复干旱法的生理基础及其应用. *华北农学报*, **3**, 51-56.

[16] 杨敏生, 梁海永, 王进茂, 等 (2002) 水分胁迫下白杨双交杂种无性系苗木生长研究. *河北农业大学学报*, **4**, 2-6.