

不同乌桕幼苗生长特性及光合指标 日变化规律研究

王丽云¹, 蒋丽娟¹, 张冬林¹, 李昌珠^{2*}, 李培旺², 陈景震²

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 以乌桕优株 1 年生子代幼苗为材料, 对其生长特性及光合指标日变化规律进行研究。结果表明: 不同优株幼苗的净光合速率日变化规律均呈双峰型曲线, 有明显的午休现象, 其中 6 号乌桕为中光合速率、低耗水、高水分利用型; 12 号为低光合速率、低耗水、低水分利用型; 13 号为中光合速率、中耗水、低水分利用型; 21 和 23 号为高光合速率、高耗水、低水分利用型; 24 号为低光合速率、低耗水、高水分利用型。此外, 优株种子梓油含量与子代幼苗日均水分利用效率, 苗高相对生长量与日均净光合速率、日均蒸腾速率均呈显著正相关, 日均净光合速率和日均蒸腾速率呈极显著正相关。

关键词: 梓油含量; 净光合速率; 蒸腾速率; 水分利用效率; 苗高; 地径

中图分类号: Q 949.753.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-5710 (2011) 06-0050-04

doi: 10.3969/j.issn.1003-5710.2011.06.015

Study on plant growth characteristics and diurnal variation of photosynthetic indicators of different young *Sapium sebiferum* seedlings

WANG Liyun¹, JIANG Lijuan¹, ZHANG Donglin¹, LI Changzhu^{2*},
LI Peiwan², CHEN Jingzhen²

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;

2. Hunan Academy of Forestry, Changsha, 410004, China)

Abstract: The plant growth vigor and photosynthetic characteristics of different *Sapium sebiferum* seedlings were studied with the one-year-old seedling as experiment material. The results indicated that diurnal variation of net photosynthetic rate for all the tested seedlings showed a bimodal curve, and had distinct lunch break phenomenon. Seedling of No. 6 plus plant had medium photosynthetic rate, low water consumption and high efficiency of water utilization. Seedlings of No. 12 was low photosynthetic rate, low water consumption and low efficiency of water use. Seedling of No. 13 was medium photosynthetic rate, medium water consumption and lower efficiency of water use. Seedlings of No. 21 and 23 both were high photosynthetic rate, high water consumption and low efficiency of water use. Seedling of No. 24 had low photosynthetic rate, low water consumption and high efficiency of water use. *Stillingia* oil content positively related with the efficiency of water utilization. Relative height increment of the seedlings positively related with average daily photosynthesis and transpiration rate. Average daily net photosynthetic rate and average daily transpiration rate had significant positive correlation.

Key words: oil ratio; net photosynthetic rate; transpiration rate; water use efficiency; height; diameter

收稿日期: 2011-10-27

修订日期: 2011-12-01

基金项目: 国家林业局公益项目 (201004071)。

作者简介: 王丽云 (1986-), 女, 山西省阳泉市人, 森林培育专业在读硕士, 主要研究方向为城市森林培育。

* 为通讯作者。

乌桕 (*Sapium sebiferum* (Linn.) Roxb.) 为大戟科乌桕属落叶乔木。其自然分布北起陕西、甘肃南部、河南西部、江苏南部, 南至广东沿海及海南, 东到浙江、江苏沿海, 西至四川及云南^[1-2]。乌桕是一种重要的工业油料和能源树种, 被日本人誉为“绿色原子弹”^[3]。有关乌桕油脂加工利用和栽培、育种方面的研

究报道较多^[4-6]，而对其植株生长过程中的生理生化变化等基础研究较少。张翠等^[7]对乌桕光合特性的研究指出，乌桕为喜阳树种，夏季生长旺盛，可以保持高的水分利用效率。我们对不同优株的乌桕1年生子代幼苗的生长特性及光合指标日变化规律进行观测与分析，以期对乌桕优良种质的选择及引种栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

育苗用种子为2010年11-12月采自湖南桑植和道县、江苏南京及广东韶关等地初选出的27株优株中的6株(编号分别是6, 12, 13, 21, 23和24号)。2011年3月,于湖南省林业科学院试验林场种苗基地进行播种。

1.2 方法

于2011年8月选择晴天,采用美国LI-COR公司生产的LI-6400便携式光合测定系统的红蓝光源进行连体叶片瞬时光合指标的标记测定。测定内容包括净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(G_i)、蒸腾速率(T_r)、光合有效辐射(PAR)、叶片水压亏缺(V_{pd})、气温(T_a)、叶温(T_l)。从08:00~

18:00,每隔2h测定1次,13:00测1次,每1次测定取长势一致,叶位相同的乌桕叶片3片,重复记录5次,测定结果取平均值。光合测定前后8月初和9月中旬对幼苗的苗高、地径等生长指标进行测定,每1个优株子代选取10株幼苗进行测定,结果取平均值。种子榨油和皮油含量在播种前用索氏抽提器进行测定。

1.3 数据分析

采用microsoft Excel 2003和SPSS17.0中相关性统计分析工具对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同优株子代含油率及生长特性

从表1可以看出:乌桕不同优株子代1年生幼苗8月至9月苗高和地径的增长率存在差异,其中,13号乌桕苗高和地径相对增长率最大,分别是40.99%和41.81%,即生长速率最大;24号的生长量增幅最小,苗高和地径的相对增长率分别是8.75%和9.58%。苗高的增长率从大至小依次是13、23、21、6、12、24。地径的增长率由大至小依次是13、12、21、6、24、23。对幼苗生长量与其种子油含量相关性分析显示,种子皮油和榨油总含量与苗高和地径相关性不显著。

表1 乌桕不同种子含油率及其幼苗生长特性
Tab.1 The oil content and growth characteristics of different plant

编号	优株编号	种子采集地	种子皮油+榨油含量(%)	种子榨油含量(%)	苗高			地径		
					8月(cm)	9月(cm)	增长率(%)	8月(cm)	9月(cm)	增长率(%)
1	6	桑植	44.80	32.08	66.1	78.5	18.76	6.64	7.29	9.79
2	12	桑植	41.96	28.24	56.7	62.1	9.52	5.92	7.04	18.92
3	13	南京	44.44	28.13	46.6	65.7	40.99	5.62	7.97	41.81
4	21	韶关	47.08	31.04	62.2	77.8	25.08	5.00	5.86	17.20
5	23	韶关	49.83	30.00	69.3	89.6	29.29	6.22	6.80	9.32
6	24	韶关	48.93	30.46	64.0	69.6	8.75	5.74	6.29	9.58

2.2 环境因子与净光合速率日变化规律

环境因子的日变化见表2。由表2可以看出:光合有效辐射日变化只有一个最高值,即呈现单峰曲线,峰值出现在12:00,为 $1399.63 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。气温随着光合有效辐射的变化而变化,其变化也呈现单峰曲线,

表2 光合有效辐射、气温、相对湿度及大气 CO_2 浓度的日变化

Tab.2 Diurnal variation of Photosynthetic active radiation, temperature, relative humidity, and CO_2 concentration

时间(时:分)	光合有效辐射($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	气温($^{\circ}\text{C}$)	相对湿度(%)	大气 CO_2 浓度($\mu\text{mol}/\text{mol}$)
8:00	149.69	35.05	60.09	393.90
10:00	1355.08	41.16	48.42	374.98
12:00	1399.63	42.27	44.33	377.70
13:00	1338.86	43.68	38.92	378.51
14:00	599.60	40.32	44.96	381.37
16:00	499.78	41.07	41.44	381.34
18:00	139.89	39.84	44.91	394.16

上午08:00最低,13:00达到最高,峰值出现较光合有效辐射滞后;大气相对湿度的变化规律与前两者相反,08:00最高,随着太阳辐射的增强不断降低,到13:00达到最低,此后,不断增大,到18:00达到44.91%;大气 CO_2 浓度的变化与相对湿度的变化规律一致。

由图1可以看出:乌桕6个不同优株子代幼苗的净光合速率日变化均呈“双峰型”曲线,中午13:00净光合速率最低,此时气温最高,湿度最小,即呈现出明显的“午休”现象。不同优株子代幼苗出现峰值的时间不同,6、12、21、23、24号乌桕优株子代幼苗的第1个峰值出现在10:00,第2个峰值出现在14:00,13号乌桕第1个峰值出现在12:00,第2个峰值出现在16:00。6个乌桕优株子代幼苗按日均净光合速率大致可分为3类(见表3):21和23号乌桕的光合能力最强,积累的营养物质和能量最多,可归为高光合速率型;6和13号乌桕光合能力中等,可归为中

光合速率型; 12 和 24 号乌桕光合速率较低, 可归为低光合速率型。

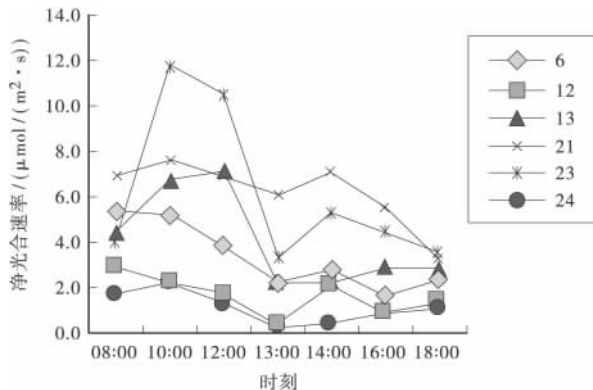


图 1 乌桕不同优株子代幼苗净光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal variation of Photosynthetic rate in different species (types) Sapium

表 3 乌桕不同优株子代幼苗净光合速率日平均值及标准差

Tab. 3 Diurnal variation average and variance of Photosynthetic rate in different species (types) Sapium

日均净光合速率变化范围 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	优株 编号	日均净光合速率 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	标准差
1.00 ~ 2.00	12	1.647	0.653
	24	1.124	0.420
2.00 ~ 4.50	6	3.364	1.938
	13	4.100	3.806
> 6.00	21	6.217	1.788
	23	6.152	10.501

日均净光合速率的波动性差异能反映植物光合作用方式的不同, 也能反映植物在光合作用过程中抗外界干扰能力的强弱^[8]。表 3 标准差显示, 6 个乌桕优株子代幼苗按日均净光合速率的波动性大致可分为 2 类: 6、12、13、21 和 24 号乌桕为稳定型, 其日均净光合速率波动幅度较小, 抗外界干扰的能力较强; 23 号乌桕波动幅度较大, 为波动型。

2.3 蒸腾速率日变化规律

图 2 显示: 6 个优株子代幼苗蒸腾速率日变化呈现 2 种不同的变化模式, 21 和 24 号乌桕为“双峰型”曲线, 第 1 个峰值均在 10:00 出现; 第 2 个峰值出现时间不同, 21 号乌桕的第 2 个峰值在 14:00 出现, 第 2 个峰值高于第 1 个峰值; 而 24 号乌桕的第 2 个峰在 16:00 出现, 第 2 个峰值低于第 1 个峰值。6、12、13 和 23 号乌桕为“单峰型”曲线, 6 和 23 号乌桕的峰值均出现在 10:00, 13 号乌桕的峰值出现在 12:00, 12 号乌桕的峰值出现在 13:00。蒸腾速率的日变化与环境的气温变化基本一致。依据乌桕各优株子代幼苗日平均蒸腾速率差异大小, 可将其划分为 3 类 (见表 4): 6、12 和 24 号蒸腾速率较低, 为低耗水型; 13 号的蒸

腾速率为 2.00 ~ 3.00 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 为中等耗水型; 21 和 23 号为高耗水型。在环境条件相同的情况下, 蒸腾速率的大小与植物形态结构有关, 蒸腾速率越大的植物, 在一定程度上输导组织越发达, 在干旱胁迫下, 植物更容易受到伤害。因此, 在比较干旱的地区种植乌桕应该尽量选择中耗水或低耗水的优良种苗。

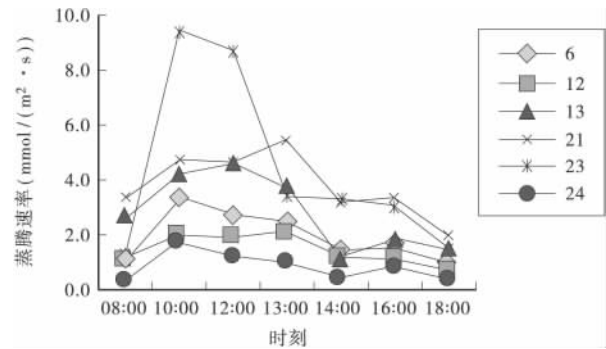


图 2 乌桕不同优株子代幼苗蒸腾速率日变化

Fig. 2 Diurnal variation of Transpiration rate in different species (types) Sapium

表 4 乌桕不同优株子代幼苗蒸腾速率日平均值及标准差

Tab. 4 Diurnal variation average and variance of Transpiration rate in different species (types) Sapium

蒸腾速率变化范围 ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	优株 编号	蒸腾速率 ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	标准差
< 2.00	24	0.809	0.280
	6	1.929	0.835
2.00 ~ 3.00	12	1.407	0.299
	13	2.804	1.980
> 3.00	21	3.795	1.442
	23	4.363	11.167

表 4 显示, 乌桕 6 个优株子代幼苗按日均蒸腾速率波动性大致可分为 2 类: 6、12、13、21 和 24 号乌桕为稳定型, 日均蒸腾速率波动幅度较小, 抗外界干扰的能力较强; 而 23 号乌桕为波动型, 波动幅度较大。

2.4 水分利用效率日变化规律

水分利用率是指植物光合作用同化二氧化碳与蒸腾消耗的水分之比, 通常用叶片的净光合速率与蒸腾速率的比值来表示, 它是反映农业生产中作物能量转化效率的一个生理生态指标^[9]。乌桕各优株子代幼苗的水分利用效率在早上较高, 10:00 以后变化不明显 (见图 3)。乌桕的 6 个优株子代幼苗按水分利用率日均值大致可以分为 2 类 (见表 5): 6 和 24 号为高水分利用效率型 ($> 2.00 \text{ mmol}/\text{mol}$); 12、13、21 和 23 号为低水分利用效率型 ($< 2.00 \text{ mmol}/\text{mol}$)。高水分利用效率的优株子代幼苗在消耗等量水分时能固定更多的 CO_2 , 也就是能更高效地利用土壤中的水分。

表 5 显示, 乌桕的各优株子代幼苗水分利用效率

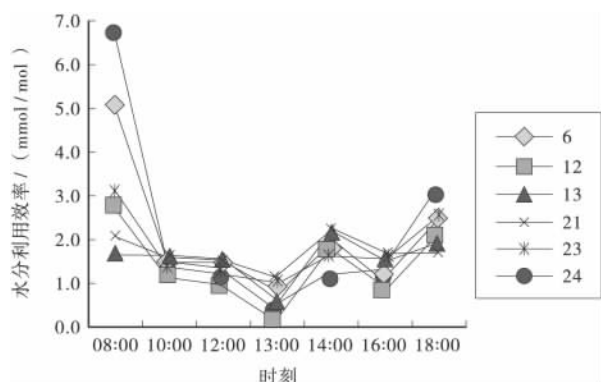


图3 不同优株子代幼苗水分利用效率日变化

Fig. 3 Diurnal variation of water use efficiency in different species (types) *Sapium*

也具有一定的波动性。按水分利用效率波动性大致可以将其分为2类：6和24号乌桕为波动型；12、13、21和23号乌桕为稳定性。波动型植物对环境条件较敏感，稳定型植物对外界环境条件反应迟缓，不敏感。

表5 乌桕不同优株子代幼苗水分利用效率日平均值及标准差

Tab. 5 Diurnal variation average and variance of water use efficiency in different species (types) *Sapium*

水分利用效率变化范围 (mmol/mol)	优株编号	水分利用效率 (mmol/mol)	标准差
<2.00	12	1.373	0.745
	13	1.588	0.248
	21	1.705	0.137
	23	1.744	0.618
>2.00	6	2.074	2.057
	24	2.052	4.737

2.5 生长指标与光合指标相关性分析

表6显示：优株种子梓油含量与其幼苗日均水分利用效率呈显著正相关， $F = 0.819, P = 0.046 < 0.05$ ；苗高差值与日均净光合速率呈显著正相关， $F = 0.879, P = 0.021 < 0.05$ ；苗高差值与日均蒸腾速率也呈显著正相关， $F = 0.889, P = 0.018 < 0.05$ ；日均净光合速率与日均蒸腾速率呈极显著正相关， $F = 0.981, P = 0.001 < 0.01$ 。

表6 乌桕不同优株子代幼苗生长指标与光合指标的相关性

Tab. 6 The positive correlation of growth characteristics and photosynthetic indicators in different species (types) *Sapium*

指标	F 值	P 值
优株种子梓油含量与日均水分利用效率	0.819	0.046
苗高差值与日均净光合速率	0.879	0.021
苗高差值与日均蒸腾速率	0.889	0.018
日均净光合速率与日均蒸腾速率	0.981	0.001

3 结论与讨论

(1) 乌桕6个不同优株子代1年生幼苗的净光合速率日变化规律为“高-低-高”类型的“双峰型”曲线，有明显的“午休”现象。根据乌桕6个不同优株子代幼苗的日均净光合、蒸腾速率和水分利用效率可以得出：6号为中光合速率、低耗水和高水分利用型；12号为低光合速率、低耗水和低水分利用型；13号为中光合速率、中耗水和低水分利用型；21和23号为高光合速率、高耗水和低水分利用型；24号为低光合速率、低耗水和高水分利用型。此外，根据乌桕6个不同优株子代幼苗的日均净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率波动幅度中可以得出：12、6、23和24号乌桕的净光合速率和蒸腾速率波动性较小，抗外界干扰的能力较强；12、13、21和23为水分利用效率稳定型。综上所述，在比较干旱的地区种植乌桕应该尽量选择中低耗水和高水分利用的优良种苗，即6和24号；而在水分充足的南方地区，经营目标为提高产量时，应主要考虑高光合速率的优良种苗，即21和23号。

(2) 优株种子梓油含量与其幼苗日均水分利用效率呈正显著相关；苗高差值与日均净光合速率呈正显著相关；苗高差值与日均蒸腾速率也呈正显著相关；日均净光合速率与日均蒸腾速率呈正极显著相关。因此，为了提高乌桕产量及出油率，应该尽可能的提供充足的水分，并通过通风、透气的措施，提高日均净光合速率。

参考文献：

[1] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴 (第二册) [M]. 北京: 科学出版社, 1980.

[2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第44卷第三分册) [M]. 北京: 科学出版社, 1980.

[3] 梁仰贞. 乌桕催根扦插育苗 [J]. 湖北林业科技, 2004 (1): 5.

[4] 刘光斌, 刘苑秋, 黄长干, 等. 5种野生木本植物油性质及其制备生物柴油的研究 [J]. 江西农业大学学报, 2010, 32 (2): 339-344.

[5] 魏永进. 乌桕的繁育与栽培 [J]. 湖南林业, 2007 (11): 22.

[6] 章其霞. 乌桕播种育苗与无性繁殖技术 [J]. 现代农业科技, 2007 (18): 44.

[7] 张翠, 吴统贵, 方炎明, 等. 滨海围垦地2种木本植物光合特性的研究 [J]. 福建林学院学报, 2011, 31 (1): 52-55.

[8] 张江涛, 刘友全, 赵蓬晖, 等. 欧美杨无性系幼苗的光合生理特性比较 [J]. 中南林业科技大学, 2007, 27 (4): 8-11, 22.

[9] 黄占斌, 山仑. 小麦水分利用效率日变化及其生理生态基础的研究. 应用生态学报, 1997, 8 (3): 263-269.

(文字编校: 唐效蓉, 杨 骏)