

七种能源林植物的净光合速率 及其水分利用率的研究

傅 左 周泽生 王晗生 李 立

(中国科学院
水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要

本文研究了黄土高原地区 7 种能源林植物的光合速率,蒸腾强度和蒸腾系数以及环境因素对光合速率的影响。测定结果表明:在黄土高原半干旱黄土丘陵地区,环境因素对能源林树种的光合速率有很大影响。山杏、沙棘、刺槐具有蒸腾强度低、净光合力强的特点;小叶锦鸡儿和柠条属高光合速率、高蒸腾旱生植物类型。这 6 种植物的蒸腾系数较低,是适应性较强且具有高光合能力的优良能源林树种。

关键词 净光合速率 蒸腾强度 蒸腾系数 水分利用率

1987—1988 年我们在宁夏彭阳县硷沟门能源林试区内对十几种能源林植物做了形态解剖结构、水分生理指标等方面的测定研究,已初步筛选出了耐旱适应性较强的能源林树(草)种^[1,2]。能源林植物产量的高低是评价能源树种最重要的指标。而生物产量的积累必须通过光合作用来进行,因此,测定能源林植物的光合作用强度、研究环境因素对光合作用的影响,不仅能了解各种能源植物的光合能力,而且对我们了解各种能源林树种的生产能力,选择适应性强、产量高的能源林树种可提供理论依据。

1 试验区自然条件

试验区位于宁南山区彭阳县境内。该区为黄土丘陵,气候干旱,年降水量 350~450mm,多集中在 7~9 月,约占全年降水量 60% 左右。年平均气温 5.6℃~7.2℃,≥10℃ 的积温 2 376℃~2 581℃;无霜期 150~160 天。土壤为细黄土,肥力差,有机质含量低(0.7%)。植被为灌丛草原,覆盖度 0.4~0.5。海拔高度 1 500~1 700m。

2 试验树种和测定方法

2.1 试验树种

刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn.)

紫穗槐 (*Amorpha fruticosa* Linn.)

沙柳 (*Tamarix chinensis* Lour.)

山杏 (*Armeniaca sibirica* Linn.)

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.)

小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.)

柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii* Kom.)

2.2 测定方法

各树种分别选择生长发育正常、树体大小一致的植株5株,在树冠外围光照充足处随机选面积相同的叶片或复叶,用GH-Ⅲ型光合仪^[8]从早9h到下午21h检测叶片净光合速率,(每隔2h测一次);同时用快速称重法^[2]测叶片蒸腾强度;用烘干法测叶片含水率;用美国产LI-3000型便携式叶面积仪测叶面积;用ZF-77型照度计测光照强度;用瑞士产GT-L型手持温湿度仪测气温和空气相对湿度;烘干法测土壤含水量。

3 结果与分析

3.1 光合速率及蒸腾速率的日变化规律

测定结果表明,7种能源林植物一日中的光合速率和蒸腾速率变化幅度都较大(见图1)。从早晨起随着日照强度的增强,气温升高,植物叶片的光合速率和蒸腾速率都不断增大,且增长幅度较快。光合速率在10~12h达到高峰,蒸腾强度在中午12h~14h达到高峰。7种植物一日中的光合高峰都出现在各自的蒸腾高峰之前,这是因为中午气温高(27.6℃~28.5℃±0.5℃),空气湿度低,蒸腾速率增加过快,导致叶片含水量下降(见表1),造成叶片水分亏缺,水势降低^[2],虽然此时光照达到一日中最高值3~5万lx,但由于叶片失水,使光合作用下降。下午蒸腾减少,但叶片含水量恢复较慢,光合作用仍呈下降趋势。有资料表明^[4],在日照强烈的中午,光合作用降低的一个主要原因是叶片含水量降低。

Redmann(1974)指出,在较干

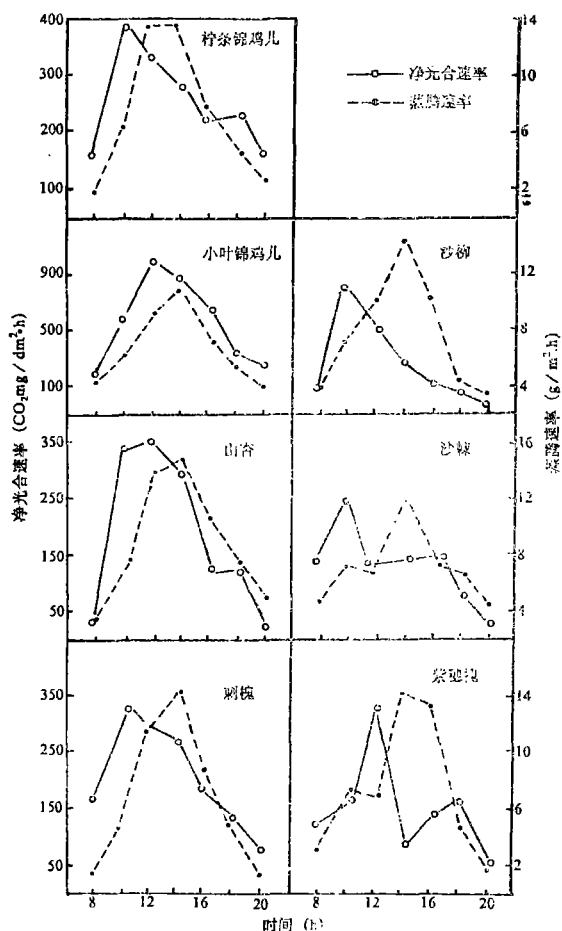


图1 7种植物的净光合速率(—○—)和蒸腾速率(---○---)的日变化

旱条件下,净光合随着温度到最大值(30℃)而增加,然而当湿度(RH)大于50%时,光合速率在任何温度下都较高,在RH低于50%的条件下,光合有所降低^[5]。这些论述都与本试验结果一致。

表1 7种植物一日中叶片含水量变化 (%)

植 物	8 h		10h		12h		14h		16h		18h		20h	
	含水率	水份降低率	含水率	水份降低率	含水率	水份降低率	含水率	水份降低率	含水率	水份降低率	含水率	水份降低率	含水率	水份降低率
刺 槐	65.0	—	62.1	4.5	59.7	8.2	59.3	8.8	59.5	8.5	60.5	6.9	61.2	5.9
紫穗槐	60.1	—	58.3	2.8	57.0	5.2	56.4	8.2	58.6	2.5	59.0	1.8	59.4	1.2
沙 柳	66.0	—	64.0	3.0	60.6	8.2	59.2	10.3	59.5	9.9	60.9	7.7	61.8	6.4
山 杏	71.7	—	70.0	2.4	68.3	4.7	67.1	6.4	66.7	7.0	68.5	4.5	69.1	3.6
沙 棘	66.9	—	65.1	2.7	62.2	7.0	61.8	7.6	61.5	8.1	63.2	5.5	64.3	3.9
小叶锦鸡儿	61.4	—	59.6	2.9	58.3	5.1	57.2	6.8	58.0	5.5	59.4	3.3	60.7	1.5
柠 条	62.2	—	61.0	1.9	58.6	4.2	58.0	6.8	57.8	7.1	58.9	5.3	59.0	5.1

由于植物的种类不同,其忍耐干旱的方式也不同。许多耐旱性植物是通过降低蒸腾强度减来少水分消耗,维持自身各种代谢活动的正常进行。而有些植物是靠大量蒸腾水分来降低叶面温度。这些植物往往有较发达的根系,从土壤深层很快的吸收水分,同时进行强烈的光合作用^[6]。测定结果表明,沙柳、小叶锦鸡儿、柠条属于这一类,其中小叶锦鸡儿、柠条还具有较高的光合能力。除紫穗槐外,其余6种植物的净光合速率及蒸腾速率都较稳定:即由低到高,达到高峰后,逐渐下降。

山杏净光合速率最高,高峰时达17.8CO₂mg/dm²·h,沙柳净光合速率最低(高峰时10.68CO₂mg/dm²·h),蒸腾速率最高,(高峰时1161.9g/m²·h)。沙棘蒸腾速率最小,最高时仅241.5g/m²·h。根据表2,可将7种植物蒸腾、光合速率的大小排列如下:

表2 7种植物蒸腾速率及光合速率

植 物		刺 槐	紫 穗 槐	沙 柳	山 杏	沙 棘	小叶锦鸡儿	柠条锦鸡儿
日蒸 腾速 率	最大	366.9	353.3	1161.9	314.7	241.5	755.8	422.6
	最小	38.8	36.0	69.2	39.5	64.8	100.9	89.8
	平均	167.5	183.5	540.8	178.5	121.5	356.3	234.9
日光 合速 率	最大	12.53	12.52	10.68	17.76	11.98	12.82	14.19
	最小	2.40	1.87	0.59	3.78	2.40	4.21	4.30
	平均	8.11	5.63	4.28	10.49	6.86	8.20	8.18

• 蒸腾速率: g/m²·h, 净光合速率: CO₂mg/dm²·h

沙棘、刺槐、山杏、紫穗槐、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿、沙柳

蒸腾速率增高顺序

山杏、小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿、刺槐、沙棘、紫穗槐、沙柳

净光合速率增高顺序

3.2 环境因素对光合速率的影响

植物的光合作用受环境因素的影响很大,光照强度、水分供应、空气中 CO_2 含量和气温直接影响光合速率的高低。空气相对湿度、土壤含水量和地温通过影响植物的蒸腾速率而对植物的光合作用产生间接的影响。一般来说,光合速率随光照的增强,气温的升高而增大。从图2可知,每天8h随着光照强度的增大,气温上升,空气相对湿度则下降。空气中 CO_2 含量也逐渐降低。中午12h~14h,光照最强,气温最高,相对湿度最小,空气中 CO_2 含量下降幅度也较大。14h以后,随着光照强度的减弱,温度下降,相对湿度上升。但 CO_2 含量升高幅度不大。

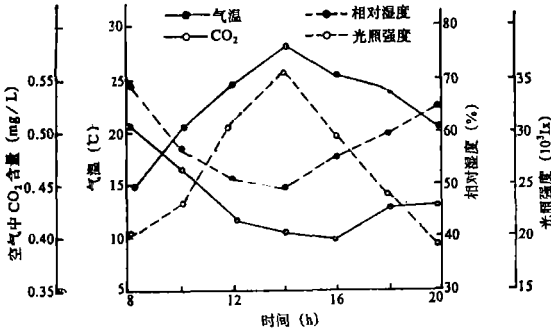


图2 气温、相对湿度、光照强度和空气中 CO_2 浓度日变化

度上升。但 CO_2 含量升高幅度不大。

光照强度与温度、湿度的变化有密切的关系。测定结果表明,光照强度与气温的高低成正相关($Y = 94.12 + 5.00x$)相关系数 $r = 0.992$,相关极显著(图3)。气温与相对湿度大小成负相关($Y = 95.03 - 1.899x$)相关系数 $r = -0.965$,相关极显著(图4)。即气温随光照强度的增大而升高,气温升高又使空气湿度降低。

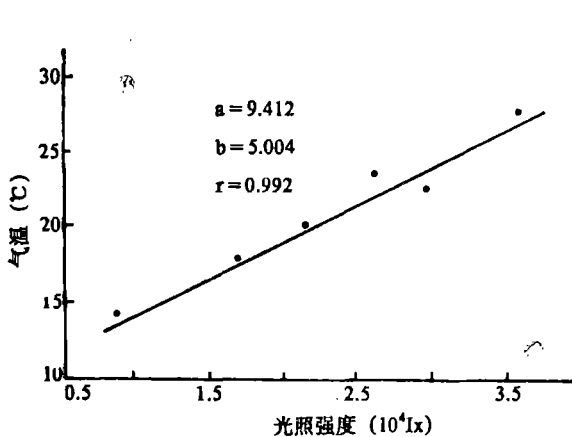


图3 光照强度与气温的关系

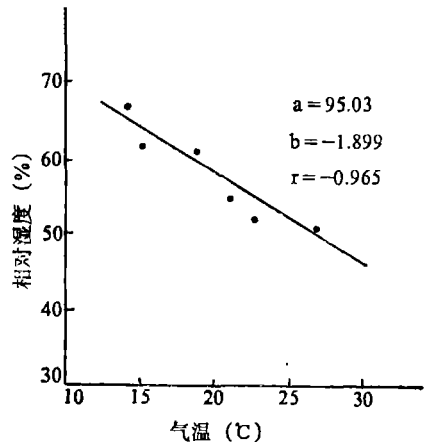


图4 气温与相对湿度的关系

从测定结果来看,中午光强 $3.8 \sim 4.5$ 万 lx ,气温 $27 \pm 1.5^\circ\text{C}$,对植物光合作用是较为有利的。但是10h以后,空气相对湿度急剧下降,12h到14h降至 $50.4\% \sim 50.8\% \pm 3\%$,引起植物蒸腾过快,叶片水分亏缺,影响了光合作用的正常进行,使光合速率下降。同时,空气中 CO_2 浓度在上午10h后也急剧下降(下降20%),这也是造成植物光合速率下降的原因。但7种植物光合速率下降的幅度不同,其中山杏、刺槐、小叶锦鸡儿和柠条光合速率下降幅度较小或基本稳定在某一水平(沙棘)。沙柳、紫穗槐光合速率下降幅度较大,紫穗槐光合速率在16h有所增加,这是由于光照、温度降低,蒸腾强度下降,叶片水分状况恢复较快的缘故。16h其叶片水分减少量只有2.5%,而其它树种都在6%以上。

3.3 光合速率和蒸腾系数

黄土高原地区干旱少雨,水分是影响能源林生长和产量的主要限制因子。因此,选择能源林树种,除了要求其有较强的抗旱适应性外,还必须具有速生、高产的特性。综合来讲,就是应选用抗旱适应性强、用较低的耗水产生较多的干物质。这就是蒸腾系数的概念,即:植物每制造一克干物质需要蒸腾水分的克数。蒸腾系数大,消耗水分多,表示植物利用水的效率低。

从测定结果可以看出,在生长季(8月份)土壤供水较好的条件下,刺槐、山杏、沙棘、紫穗槐光合作用强,蒸腾作用低,小叶锦鸡儿柠条为高光合、高蒸腾,沙柳为高蒸腾低光合图5是7种植物1日中净光合速率与蒸腾速率大小的比较。

因为CO₂同化后的主要产物是碳水化合物,所以,可由以下公式将CO₂净同化量转换成干物质重^[7]:
净光合强度=mg干物质/dm²·h×1.5
=mgCO₂/dm²·h.

式中1.5为将光合产物(主要是蔗糖、淀粉等碳水化合物)的干重换算成CO₂重量的系数。由表3可知山杏、沙棘蒸腾系数最小,刺槐次之、柠条、紫穗槐、锦鸡儿蒸腾系数较大,沙柳蒸腾系数最大,对水分的有效利用较低,而其余6种植物的水分利用率都较高。

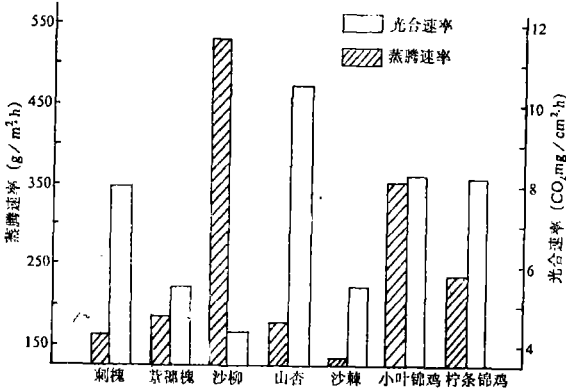


图5 7种植物日平均蒸腾速率和光合速率比较

表3 7种植物的蒸腾系数

植 物	日净光合速率 干物质mg/dm ² ·h	日蒸腾强度 H ₂ Og/m ² ·h	蒸腾系数 H ₂ Og/g干物质
刺 槐	5.40	167.5	137.8
紫 穗 槐	3.75	183.5	217.3
沙 柳	2.85	540.8	842.4
山 杏	6.99	178.5	113.4
沙 棘	4.57	121.5	118.1
小叶锦鸡儿	5.47	356.3	289.7
柠条锦鸡儿	5.45	234.9	191.4

4 小 结

植物的光合作用是一个非常复杂的生理过程,除了受植物种自身的遗传特性、叶片内部结构和诸多的生理因素的制约外,还受到外界环境的影响。同种植物光合作用的强弱在其生长季节的不同时期也不尽相同。因此,要想通过短时间的CO₂吸收测定来确定植物的生产潜力和有意义的定量比较是困难的。但是在植物生长旺季测定其光合作用,仍可对植物同化CO₂的能力作一初步的了解,在不同植物间进行光合能力的比较,还是有意义的。

根据测定结果,可以看出:

4.1 经试验选出的几种能源林树种都有较强的光合能力。其中山杏、沙棘、刺槐具有蒸腾低、净同化能力强的特点。小叶锦鸡儿、柠条属高光合、高蒸腾旱生植物类型,沙柳净同化能力相对较小,而蒸腾强度较大。

4.2 环境条件对各种能源林植物的净同化能力影响较大。光照强度、气温和空气相对湿度之间的相关性极其显著,且是影响光合速率的主要限制因子。同时还发现,大气干旱对植物净光合速率有非常大的影响,在影响光合速率的各环境因素中较为突出。中午大气中 CO_2 含量下降,也使植物的光合作用受到影响。大气干旱对沙柳、紫穗槐的净光合速率的影响较大,山杏、锦鸡儿、柠条、刺槐对大气干旱的耐受力相对较强,沙棘对大气干旱也有一定的耐受力。

4.3 一般植物每制造 1 克干物质,需要耗水 125~1 000g 左右^[6],从对 7 种能源林植物的蒸腾系数的测定结果表明,除沙柳外,其它 6 种植物对水分的利用率都很高,其蒸腾系数都在 300g 以下,沙柳的蒸腾系数高达 842g。据 7 种植物的蒸腾系数,可将它们对水分利用率的高低排列为:山杏>沙棘>刺槐>柠条>紫穗槐>小叶锦鸡儿>沙柳。

本试验只是对 7 种能源植物的净同化能力和与环境的关系做了初步的测定和探讨,揭示了它们在生长旺季的一个阶段中净光合速率与蒸腾速率及环境因素的相互关系和部分规律。要全面了解各树种在全年中的光合能力及与环境、产量之间的关系,还必须做大量深入的研究工作。

参 考 文 献

- [1] 周泽生等. 黄土高原能源林植物选择研究之一. 水土保持学报, 1989 年第 1 期
- [2] 傅左等. 黄土高原能源林植物选择研究之二. 水土保持学报, 1989 年第 3 期
- [3] 伍寿彭等. 便携式 GH-1 型光合仪的研制及使用. 南京林产工业学报, 1981 年第 1 期
- [4] 卢荻义次等. 薛德裕译. 作物的光合成与物质生产. 科学出版社, 1981; 172~192 页
- [5] Singh J S et al. 1980 Autotrophic subsystem, processes and productivity, in grasslands systems analysis and man. ed. By A L Bormeyer and G M Van Dyne. IBP 19pp 59-200 cambridge University Press.
- [6] 杨学荣. 植物生理学. 教育出版社, 1982
- [7] 上海植物生理研究所. 植物生理实验手册. 科学出版社, 1986, 99~100 页

A STUDY ON NET-PHOTOSYNTHETIC RATE AND WATER UTILIZATION RATIO OF 7 SPECIES OF ENERGY-FOREST PLANTS

Fu Zuo Zhou Zesheng Wang Hansheng Li Li
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,
the Chinese Academy of Sciences and the Ministry
of Water Conservancy Yangling·Shaanxi·712100)

Abstract

The paper has studied the main factors effecting photosynthetic
(continued on p116)

THE STUDY ON THE RAPID GROWTH BEHAVIOUR OF MAIN ENERGY FOREST SPECIES OF THE LOESS PLATEAU

Wang Hansheng Zhou Zesheng Li Li Yi Xiaogang
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the
Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water
Conservancy Yang Ling·Shaanxi·712100)

Abstract

In this paper the rapid growth period of 10 anergy plantation species was determined by simulation of growth period with logistic equation. They were classified into 3 high growth types, i.e., short-term rapid growth type, long-term rapid growth type and intermediate type. 7 species including Common Seabuckthorn, Black Locust, etc. were selected for energy plantation according to their drought tolerance, rapid growth behaviour and vigorous sprouting ability.

Key words energy forest logistic equation rapid growth behaviour

(continued from p96)

rate of 7 plants used for energy-forest and their photosynthetic rate, transpiration rate, transpiration coefficient. The result shows, the net-photosynthetic rate of energy-forest plants is greatly influenced by the surrounding factors around them in arid region of the loess plateau. *Armeniaca sibirica* Linn., *Hippophae rhamnoides* Linn. and *Robinia pseudoacacia* Linn. have the character of higher netphotosynthetic rate and lower transpiration rate. *Cargana Korshinskii* Kom. and *Cargana microphylla* Lam. belong to the varieties of higher photosynthetic rate and transpiration rate. Six plants mentioned above, having lower transpiration coefficient, are fine energyforest plants which have the character of stronger adaptability to surroundings and higher photosynthetic rate.

Key words net-photosynthetic rate transpiration rate transpiration coefficient water utilization ratio.