

# 生境条件对沙漠植物约书亚树(*Yucca brevifolia*)光合生理特性的影响

段亮亮, 满秀玲\*, 曲昭琪 (东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

**摘要** [目的] 研究生境条件对沙漠植物约书亚树(*Yucca brevifolia*)光合生理特性的影响。[方法] 于2011年8月初采用Li-6400便携式光合仪研究了移栽裸沙地、五角枫林地、银中杨林地以及樟子松林地的约书亚树幼苗光合生理特性的日变化规律, 并采用通径分析法分析各环境因子对约书亚树净光合速率的直接和间接影响。[结果] 裸沙地和银中杨林地的约书亚树Pn日变化呈典型的“双峰”型, 在11:00的光合“午休”现象, 为非气孔限制因素所致。裸沙地约书亚树日均Pn最大为9.67  $\mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 是五角枫林地的6.89倍, 樟子松林地的3.87倍, 银中杨林地的1.95倍。通过通径分析可以看出, 不同生境条件下约书亚树Pn的主导环境因子是PAR。[结论] 该研究提示了约书亚树对不同生境的响应机制, 可为在我国大面积种植和推广该树种提供依据。

**关键词** 约书亚树; 生境; 净光合速率; 通径分析

中图分类号 S181.3; Q945 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)13-03989-05

## Effects of the Different Habitats on the Photosynthetic and Physiological Characteristics of the Desert Plant *Yucca brevifolia*

DUAN Liang-liang, MAN Xiu-ling et al (College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract** [Objective] To study effects of habitats on the photosynthetic and physiological characteristics of the desert plant *Yucca brevifolia*. [Method] Daily dynamics of photosynthetic and physiological characteristics of *Yucca brevifolia* which were transplanted to the bare sandy land, *Acer mono Maxim woodland*, *Populus alba* × *P. berolinensis woodland* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica woodland* were studied using the Li-6400 photosynthesis system in early August of 2011. Direct and indirect effects of environmental factors and physiological factors on Pn were calculated through the path analysis. [Result] The results showed that: The diurnal changes of Pn of *Yucca brevifolia* in bare sandy land and *Populus* were woodland showed a typical double-peak, and had a significant “midday depression of photosynthesis” at 11:00. The reduction in Pn at midday originated from non-stomatal limiting factors. Daily average Pn of *Yucca brevifolia* in bare sandy land was the largest value of 9.67  $\mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , which was 6.89 times to the value of *Yucca brevifolia* in *Acer mono woodlands*, 3.87 times to the value of *Yucca brevifolia* in *Pinus sylvestris* var. *mongolica woodland*, 1.95 times to the value of *Yucca brevifolia* in *Populus alba* × *P. berolinensis woodland*. The dominant environmental factor which impact Pn of *Yucca brevifolia* in four different habitats was PAR. [Conclusion] The response mechanism of *Yucca brevifolia* to different habitats were revealed, which can provide reference for large area planting and extension of *Yucca brevifolia* in China.

**Key words** *Yucca brevifolia*; Habitat; Net photosynthetic rate; Path analysis

光合作用是研究植物生长生理过程的基本内容之一, 是植物生长的决定因素, 反映了植物对环境的适应能力<sup>[1]</sup>。在植物光合作用过程中, 外界环境条件和内在生理因子都直接或间接地影响光合反应<sup>[2-5]</sup>, 并且植物在长期的自然选择过程中, 不断与环境相互协调, 形成一系列对自然条件的适应机制<sup>[6]</sup>, 进而不同生境下形成不同的光合作用变化模式<sup>[7-9]</sup>。因此, 通过研究不同生境条件下植物的净光合速率与其环境及生理因子的关系可反映植物对生境的响应规律。

约书亚树(*Yucca brevifolia*)是百合科丝兰属的多年生单子叶常绿乔木, 树高可达15 m, 平均寿命150年, 主要分布在美国西北的沙漠地带<sup>[10-11]</sup>, 在美国荒漠化防治中发挥了巨大作用, 但目前对其苗期的光合生理研究较少, 尤其是引种到我国后对其在不同生境下的光合生理日变化及其与环境因子的关系尚未见报道。鉴于此, 该研究以移栽到不同生境条件下的3年生约书亚树幼苗为研究对象, 综合分析其光合生理的日变化及其与生理因子和环境因子的关系, 旨在揭示约书亚树对不同生境的响应机制, 为在我国大面积种植和推广该树种提供科学依据。

## 1 材料与与方法

**1.1 试验地概况** 试验地选设在辽宁省章古台市的彰武县, 地处科尔沁沙地东南前缘。海拔高度226.5 m, 属干燥亚

湿润气候类型, 年平均降水量为450~500 mm, 年均蒸发量1300~1800 mm, 年平均气温6.2℃, 年平均风速3.8 m/s,  $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温2800~3200℃, 历年最低气温-30.5℃, 无霜期154 d, 植物生长期( $5^\circ\text{C}$ 以上)180 d。土壤主要为风沙土, C、N、P等养分元素含量较低。代表性植物主要有小黄柳(*Salix gordejewii*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)、山杏(*Prunus armeniaca* Var. *ansu*)、榆树(*Ulmus pumila*)等。

**1.2 试验材料** 选用温室大棚培育的3年生约书亚树幼苗, 幼苗生长状况基本一致, 平均株高为15.62 cm, 平均地径为1.37 cm。

**1.3 试验设计** 于2011年5月初, 在4种不同生境下移栽约书亚树幼苗, 每种生境下移栽100株, 具体情况见表1。

表1 约书亚树所处造林地基本状况

样地类型	郁闭度(盖度)	平均高度/m	株行距/m
裸沙地 Bare sandy land(I)	0.2	0.5	-
五角枫林地 <i>Acer mono woodland</i> (II)	0.9	2.2	2×2.5
银中杨林地 <i>Populus alba</i> × <i>P. berolinensis woodland</i> (III)	0.6	13.2	3×3.5
樟子松林地 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica woodland</i> (IV)	0.7	16.5	3×3

**1.4 指标测定方法** 于2011年8月初约书亚树生长旺盛期, 选择晴朗天气, 分别在不同生境下采用对角线取样法, 选择3株长势均匀幼苗的中部功能叶片作为供试叶片, 用Li-6400便携式光合仪2cm×3cm标准叶室测得活体约书亚树

基金项目 国家林业局948项目(2009-4-18)。

作者简介 段亮亮(1985-), 男, 辽宁阜新, 博士研究生, 研究方向: 水土保持与荒漠化防治。\*通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事水土保持与荒漠化防治方面研究。

收稿日期 2014-04-14

叶片的光合生理生态指标。由于约书亚树叶片不能充满叶室,观测结束后用方格纸计算叶面积,重新计算各参数。测定时间为:7:00~19:00,每小时测定1次,每次3组叶片重复,每组叶片取值3~5次。

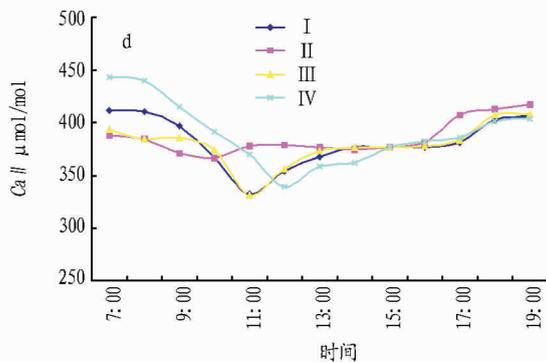
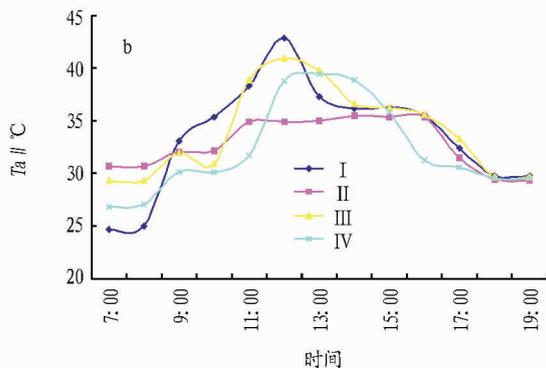
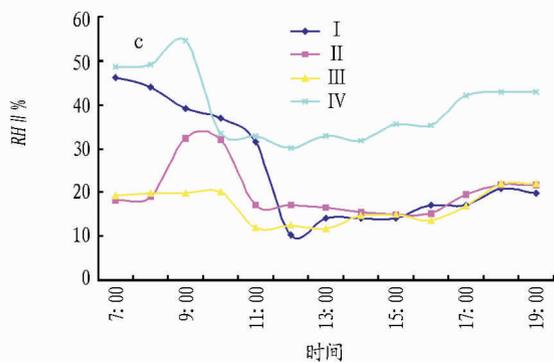
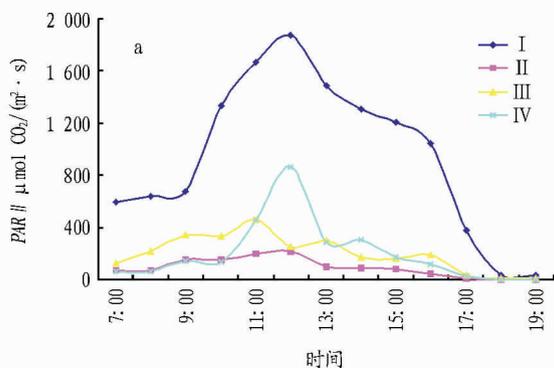
测定指标包括:供试苗木叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $Tr$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等生理指标,以及光合有效辐射( $PAR$ )、大气  $CO_2$  浓度( $Ca$ )、大气温度( $T_a$ )、空气相对湿度( $RH$ )等环境指标。根据光合和环境参数可计算水分利用效率  $WUE$  (Water use efficiency) =  $P_n/Tr$  和气孔限制值  $L_s$  (Stomatal limiting value) =  $1 - C_i/C_a$ 。

利用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理和作图,利用 SPSS17.0 数据处理软件进行显著性检验、相关性分析及通径

分析。

## 2 结果与分析

**2.1 不同生境的环境因子日变化** 在观测期间,不同生境  $PAR$  的日变化如图 1a 所示,裸沙地的  $PAR$  日变化呈日间高峰的单峰曲线,在 12:00 出现峰值,为  $1\ 875.67\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;其他 3 种生境的  $PAR$  日变化均呈双峰曲线,第 1 个高峰均出现在上午 9:00,随后均在 10:00 降低,五角枫林地和樟子松林地的  $PAR$  第 2 个高峰出现在中午 12:00,峰值分别为  $218.67$  和  $864.00\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,银中杨林地的  $PAR$  第 2 个高峰出现在 11:00,峰值为  $459.33\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,且其峰值极显著( $P < 0.01$ )大于其他时间点的  $PAR$  值。



注:I - 裸沙地,II - 五角枫林地,III - 银中杨林地,IV - 樟子松林地,下同。

图1 约书亚树所处不同生境的环境因子日变化

如图 1b 所示,由于裸沙地没有植被覆盖,空气温度的变化主要依靠太阳辐射,实际观测的裸沙地  $T_a$  日变化与其  $PAR$  的日变化也呈相同趋势,呈单峰曲线变化,高峰出现在中午 12:00,峰值为  $42.89\ ^\circ\text{C}$ ;五角枫林地  $T_a$  日变化与其  $PAR$  日变化不同,呈单峰曲线,在上午没有随  $PAR$  的降低而降低,而是一直持续升高,并从 11:00~16:00 平缓小幅上升,到 16:00 达到峰值;银中杨林地的  $T_a$  日变化与其  $PAR$  变化趋势相同,呈双峰曲线变化,在上午  $PAR$  下降时,其  $T_a$  值也随之降低,随后在 12:00 达到其峰值,之后逐渐下降;樟子松林地  $T_a$  日变化与其  $PAR$  变化一致,但是在上午 10:00  $PAR$  下降时,其  $T_a$  没有明显下降,温度略低于 9:00,随后在 13:00 达到峰值,较其  $PAR$  变化有 1 h 的滞后。

不同生境的  $RH$  日变化如图 1c,裸沙地  $RH$  在清晨最高,随着  $PAR$  和  $T_a$  的升高,其在 12:00 达到最低点  $10.26\%$ ,下

午平缓升高;由于林地夜间水汽大,上午随着  $PAR$  和  $T_a$  的逐渐上升,水汽蒸发,所以林地生境的  $RH$  均呈先上升再下降再升高的变化趋势,五角枫林地及樟子松林地  $RH$  的第 1 个峰值出现在 9:00,五角枫林地  $RH$  在 11:00 开始下降,在 17:00 到 19:00 缓慢上升,银中杨林地的  $RH$  全天变化不大,第一个峰值出现在上午 10:00,11:00 下降,之后平缓上升。

$Ca$  日变化见图 1d,4 种生境下的  $Ca$  均呈倒钟型曲线变化,从清晨开始先减小,裸沙地和银中杨林地的最低值出现在 11:00,五角枫林地的最低值出现在 10:00,樟子松林地出现在 12:00,之后 4 个生境下的  $Ca$  值持续上升。

**2.2 不同生境下约书亚树光合特性日变化** 由图 2a 可见,裸沙地、银中杨林地林地生境下的约书亚树叶片  $P_n$  日变化曲线均为典型的“双峰”曲线,7:00~10:00 呈上升趋势,第 1 个峰值均出现在 10:00,均在 11:00 出现光合“午休”现象,裸

沙地约书亚树的  $P_n$  全天最大值出现在下午 15:00, 峰值为  $19.37 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 是第 1 峰值的 1.58 倍, 银中杨林地约书亚树  $P_n$  的第 2 个峰值出现在 16:00; 五角枫和樟子松林地约书亚树  $P_n$  的日变化趋势为“单峰”曲线, 峰值分别出现在 12:00 和下午 13:00。

随 PAR 和  $T_a$  的升高, 引起环境的饱和蒸汽压增大, 进而

促进了叶片的表面蒸发力, 上午不同生境下约书亚树叶片的  $Tr$  和  $G_s$  均逐渐增加, 裸沙地约书亚树最为明显, 在 11:00 达到了全天的峰值, 分别为  $16.83 \text{ mmol}$  和  $480.00 \text{ mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 是樟子松林地峰值的 2.46 倍和 3.64 倍; 之后随着  $T_a$  值持续增高, 不同生境下约书亚树叶片  $G_s$  值有所降低,  $Tr$  值也逐渐降低, 见图 2b 和图 2c。

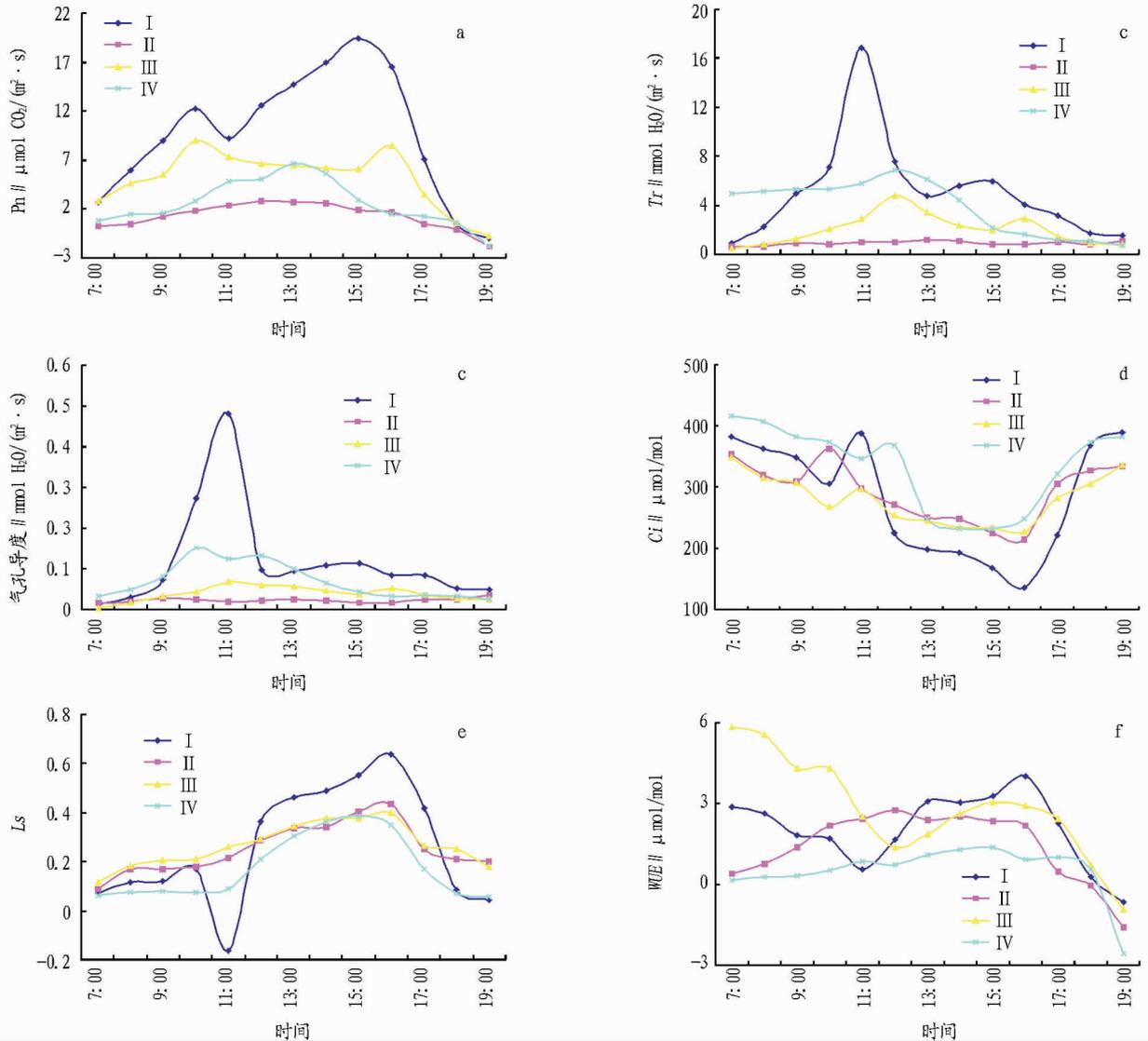


图 2 不同生境下约书亚树光合生理特性的日变化

图 2d 表明, 不同生境下约书亚树叶片的  $C_i$  的日变化趋势与  $P_n$  相反, 上午在出现光合“午休”之前  $C_i$  均持续降低, 在光合“午休”点出现时暂时性的增高, 之后逐渐降低, 16:00 均达到低值, 其中裸沙地约书亚树  $C_i$  最小(为  $136.07 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ), 其他 3 种处理比较接近, 在 16:00 之后逐渐升高。

由图 2e 可见, 裸沙地约书亚树  $L_s$  日变化趋势与  $P_n$  一致, 均在光合“午休”点出现明显下降, 在下午 15:00 ~ 16:00 出现最大值, 这是因为在光合“午休”点  $C_i$  明显升高,  $C_a$  明显下降所造成的; 其他 3 种林地约书亚树  $L_s$  值均下午在 16:00 左右达到最高值, 随后逐渐降低。

植物  $WUE$ , 即植物消耗单位重量的水分所固定  $\text{CO}_2$  的数

量, 是一个较为稳定的衡量碳固定与水分消耗关系的指标<sup>[12]</sup>, 由图 2f 可知, 由于  $P_n$  的上升速度明显大于  $Tr$ , 在光合“午休”之前, 裸沙地约书亚树和银中杨林地约书亚树的  $WUE$  持续下降, 并在光合“午休”点达到低值, 之后随着  $P_n$  的增大, 两者的  $WUE$  值也逐渐上升, 在 16:00 出现拐点, 随后逐渐降低; 五角枫林地约书亚树由于  $Tr$  全天均维持在较低水平, 而樟子松林地约书亚树的  $Tr$  值在 7:00 ~ 13:00 一直维持较高水平, 且两者的  $P_n$  全天内变幅不大, 所以  $WUE$  日变化曲线与  $P_n$  保持一致。

**2.3 不同生境下约书亚树净光合速率日变化与环境因子的关系** 由表 2 可知, 不同生境下约书亚树叶片的  $P_n$  与环境

因子关系较明显,裸沙地和银中杨林地约书亚树均以  $PAR$  对  $P_n$  的直接影响最大,直接通径系数分别为 0.981 及 0.839,其总相关系数也最大,说明两者影响  $P_n$  的主导环境因子均为  $PAR$ 。五角枫林地和樟子松林地约书亚树均以  $Ta$  对  $P_n$  的直接通径系数和总相关系数最大,总相关系数分别为 0.943 及 0.782,均达到了极显著水平,且其他环境因子通过  $Ta$  对  $P_n$  的间接通径系数绝对值也较大,五角枫林地约书亚树  $Ca$  通过  $Ta$  的间接通径系数为  $-0.507$ ,对总相关系数的贡献率达 63.06%,从而使得  $Ca$  对  $P_n$  的总相关系数达极显

著水平,可以看出,影响五角枫林地和樟子松林地约书亚树  $P_n$  的主导环境因子为  $Ta$ 。其他 2 种环境因子中, $Ca$  在所有处理中均与  $P_n$  有显著相关性,说明其与各生境下的约书亚树叶片的  $P_n$  存在紧密关系;而  $RH$  则与  $P_n$  的相关性较小,裸沙地和五角枫林地约书亚树的  $Ca$  无论从直接通径系数还是总相关系数来看均较小,且没有与  $P_n$  达到显著水平,五角枫林地约书亚树的  $Ca$  对  $P_n$  的直接相关系数仅为  $-0.007$ ,且银中杨林地和樟子松林地约书亚树的  $Ca$  与  $P_n$  的总相关系数也是由其主导因子的间接相关系数主导的。

表 2 不同生境下约书亚树的净光合速率  $P_n$  与环境因子的通径分析

生境	因子	直接系数	间接通径系数				总相关系数
			通过 $PAR$	通过 $Ta$	通过 $RH$	通过 $Ca$	
裸沙地	$PAR$	0.981		0.098	0.070	-0.389	0.760**
	$Ta$	0.122	0.783		0.191	-0.408	0.689**
	$RH$	-0.296	-0.234	-0.079		0.182	-0.426
	$Ca$	0.464	-0.822	-0.108	-0.116		-0.582*
五角枫林地	$PAR$	0.017		0.391	-0.001	0.214	0.621*
	$Ta$	0.734	0.009		0.003	0.197	0.943**
	$RH$	-0.007	0.003	-0.350		0.034	-0.321
	$Ca$	-0.285	-0.013	-0.507	0.001		-0.803**
银中杨林地	$PAR$	0.839		-0.417	0.658	-0.406	0.675*
	$Ta$	-0.735	0.476		1.147	-0.369	0.520
	$RH$	-1.202	-0.460	0.701		0.382	-0.579*
	$Ca$	0.485	-0.702	0.559	-0.946		-0.605*
樟子松林地	$PAR$	0.182		0.403	0.097	-0.048	0.634*
	$Ta$	0.595	0.123		0.119	-0.055	0.782**
	$RH$	-0.161	-0.110	-0.441		0.051	-0.661*
	$Ca$	0.066	-0.132	-0.496	-0.123		-0.686**

### 3 讨论

**3.1 约书亚树的光合“午休”** 植物的光合速率在中午降低是一种普遍的现象<sup>[13-16]</sup>,使植物叶片  $P_n$  中午降低的自身因素有 2 个,即气孔因素和非气孔因素<sup>[17]</sup>,前者是由于中午田间光照、温度和湿度等环境因子的变化引起植物气孔的部分关闭, $CO_2$  进入叶片受阻而使光合下降,而后者是由于叶肉细胞自身羧化酶活性的下降而引起  $P_n$  的降低<sup>[18]</sup>。Farquhar 和 Sharkey 认为,只有当  $C_i$  和光合速率的变化方向相同,两者都减少,且  $L_s$  增大,才可以认为光合速率的下降主要是由气孔导度引起的,否则,如果光合速率下降  $C_i$  上升  $L_s$  减小,便可以断定光合速率的下降主要是由非气孔因素造成的<sup>[19]</sup>。

该研究中,裸沙地和银中杨林地林地的约书亚树有明显的光合“午休”现象,其  $P_n$  在 7:00 到 10:00 的上升之后在 11:00 明显降低,而在其  $P_n$  光合“午休”时间点,其  $G_s$  和  $C_i$  均有明显的上升, $L_s$  明显大幅降低,说明这 3 种生境下的约书亚树光合“午休”现象是由叶肉细胞活性下降引起的非气孔限制因素造成的,但是不能认为  $G_s$  的变化对植物无关紧要,在  $P_n$  下降时, $G_s$  没有降低,说明气体通道未被关闭,在上午  $G_s$  逐渐上升, $Tr$  也跟着上升,但在光合“午休”点以后,由于水分蒸腾过多, $G_s$  开始减小,这是长期的适应与进化过程使植物叶片的气孔获得了一种机制,在有利于快速同化时,气孔导度增加,在有利于快速蒸腾时,气孔导度减小,使叶片在一天中以有限的水分散失来获得最大的同化量<sup>[20]</sup>。

**3.2 不同生境条件下约书亚树的光合能力** 光合有效辐射是植物光合作用能量的最终来源,也是影响光合作用生态生理因子的最根本因素<sup>[21]</sup>,光合能力的强弱因物种的遗传特性不同而有很大差异,日均  $P_n$  能够反映植物光合能力的大小<sup>[22]</sup>,该研究中裸沙地生境下的约书亚树日均  $P_n$  为  $9.67 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,是日均  $P_n$  最小的五角枫林地的 6.89 倍,是日均  $P_n$  较大的银中杨林地的 1.95 倍,说明裸沙地上的约书亚树光合能力远远大于其他生境,而造成这种差异的主要原因是裸沙地生境的全天  $PAR$  显著大于其他生境,这与相关性分析和通径分析中  $PAR$  与  $P_n$  的相关性相吻合。

**3.3 不同生境条件下约书亚树  $P_n$  的主导因子** 对  $P_n$  与环境因子的通径分析发现,4 种生境下对约书亚树叶片  $P_n$  变化起主导作用是  $PAR$  和  $Ta$ 。对  $PAR$  与  $Ta$  的相关分析可知,不同生境  $PAR$  与  $Ta$  均具有较大的相关性系数,其中裸沙地的相关性系数最大(为 0.799),并达极显著水平( $P < 0.01$ ),说明  $PAR$  直接影响  $Ta$  的变化,可以推断主要影响约书亚树  $P_n$  的环境因子是  $PAR$ 。

### 4 结论

裸沙地、银中杨林地生境下的约书亚树叶片  $P_n$  的日变化曲线均为典型的“双峰”曲线,均在 11:00 ~ 12:00 间有明显的光合“午休”现象,这是由于叶肉细胞活性下降引起的非气孔限制因素造成的。裸沙地生境下的约书亚树日均  $P_n$  为  $9.67 \mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,是五角枫林地的 6.89 倍,是银中杨林地的 1.95 倍,说明裸沙地上的约书亚树光合能力远远大

于其他生境。约书亚树 *Pn* 的主导环境因子是 *PAR*。

## 参考文献

- [1] SCHOLLES J D, PRESS M C, ZIPPERLEN S W. Differences in light energy utilization and dissipation between dipterocarp rain forest tree seedlings [J]. *Oecologia*, 1997, 109: 41–48.
- [2] 周兴元, 曹福亮. 遮荫对假俭草抗氧化酶系统及光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(3): 32–36.
- [3] 范志平, 曾德慧, 朱教君, 等. 林网内作物光合作用生理生态过程特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 189–192.
- [4] 张新慧, 张恩和. 当归叶片光合参数日变化及其与环境因子的关系[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2314–2319.
- [5] 张往祥, 吴家胜, 曹福亮. 光照对银杏光合作用和光化学效率的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(6): 179–183.
- [6] ZHAO Z G, DU G Z, ZHOU X H, et al. Variations with altitude reproductive traits and resource allocation of three Tibetan species of Ranunculaceae[J]. *Australian Journal of Botany*, 2006, 54(7): 691–700.
- [7] 朱军涛, 李向义, 张希明, 等. 昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 611–619.
- [8] 鞞刚, 赵忠. 不同土壤水分下 4 种沙生灌木的光合光响应特性[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4019–4026.
- [9] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 等. 不同光环境对麻栎和刺楸幼苗生长和光合特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3098–3107.
- [10] MUNZ P A. A flora of southern California [M]. California: University of California Press, 1974.

- [11] KEITH, SANDRA L. A tree named Joshua [J]. *American Forests*, 1982, 88(7): 40–42.
- [12] 陈托兄, 郝文军, 陈小兵, 等. 10 个紫花苜蓿品种光合特性的比较[J]. 中国草地学报, 2009, 31(2): 41–45.
- [13] 韩瑞宏, 田华, 张亚光, 等. 北京地区工农 1 号紫花苜蓿叶片光合作用日变化特征[J]. 草业科学, 2008, 25(6): 34–37.
- [14] 张露, 郭联华, 杜天真, 等. 遮荫和土壤水分对毛红椿幼苗光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(5): 63–66.
- [15] 高辉远, 邹琦, 陈敬锋, 等. 大豆光合午休原因的分析[J]. 作物学报, 1994, 20(3): 357–361.
- [16] 张翠霞, 张秋良, 常金宝. 库布其沙漠几种植物的光合蒸腾及水分利用效率[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(4): 81–84.
- [17] 刘玉华, 贾志宽, 史纪安, 等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1468–1477.
- [18] 杜占池. 羊草和大针茅光合作用午间降低与生态因子关系的研究[J]. 自然资源学报, 1990, 5(2): 177–186.
- [19] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1982, 33: 317–345.
- [20] COWAN I R, FARQUHAR G D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment [J]. *Symp Soc Exp Biol*, 1997, 31: 471–505.
- [21] 金则宏, 柯世省. 云锦杜鹃叶片光合作用日变化特征[J]. 植物研究, 2004, 24(4): 447–452.
- [22] 傅松玲, 黄成林, 曹恒生, 等. 黄山松更新特性与光因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 801–804.

(上接第 3899 页)

农药厂的 800 倍液株防效最好, 2 个厂家的 800、1 000 倍液不存在显著性差异, 株防效相当。以 1 500 倍液株防效最低, 和 2 个厂家的其他共 4 个处理差异显著。药后 20 d 调查, 由重庆永川农药厂生产的 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油 800、1 000、1 500 倍液, 对田旋花的株防效分别为 96.5%、96.0%、83.2%, 由郑州市互惠农业科技有限公司生产的 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油 800、1 000 倍液, 对田旋花株防效分别为 96.6%、95.8%, 具有较好的持续性, 2 个厂家的 800、1 000 倍液不存在显著性差异, 株防效相当, 以 1 500 倍液株防效最低, 和 2 个厂家的其他共 4 个处理差异显著。因此可以看出, 2 个不同厂家生产的 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油 800、1 000 倍液对田旋花的株防效无显著性差异, 且 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油防除田旋花效果非常明显, 随着浓度和时间增加株防效越好, 株防效达到 94% 以上。

表 1 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油对田旋花的防除效果

处理	株防效//%	
	施药后 10 d	施药后 20 d
①	96.2 a	96.5 a
②	95.4 a	96.0 a
③	82.5 b	83.2 b
④	95.2 a	96.6 a
⑤	94.6 a	95.8 a
⑥(CK)	—	—

注: 数据为 4 次重复平均值, 同列相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著。

**2.2 氯氟吡氧乙酸异辛酯对枣树的安全性** 整个试验期间, 哈密地区气候正常, 未出现特殊天气, 施药 10 和 20 d 观察调查表明, 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油在试验剂量下, 红枣树的株高、枝、叶、果实, 座果率等参数无异常变化, 对红枣生长不具有影响。

## 3 小结与讨论

不同除草剂对田旋花的防除效果不同, 在生产上常用的除草剂对枣园田旋花效果一般, 原因是哈密地区的矮化种植模式, 以及哈密地区气候条件干燥, 温差大等, 很多除草剂都不理想。如常用的 41% 草甘膦粉剂 1 000 倍液的株防效一般为 79%, 33% 二甲戊灵乳油 800~1 000 倍液的株防效为 75%~80%。且常用除草剂毒性较大, 半衰期时间较长<sup>[6-7]</sup>, 对红枣生长安全性有影响。根据试验结果, 结合哈密地区红枣园的实际情况, 考虑对枣园田旋花的防效、成本, 农药残留、质量安全等因素, 推荐使用 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油防除红枣园区田旋花草害, 建议使用浓度为 800~1 000 倍液, 在红枣幼果期, 田旋花相对旺盛时期开始施药。用氯氟吡氧乙酸异辛酯防除枣园田旋花, 需要注意用药间期, 为防止农药残留超标, 延缓田旋花自身对其的抗性。每次施药安全间隔期为 30 d。

试验仅调查了 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油对枣园区田旋花的防除效果, 对其他杂草危害的防除效果有待进一步验证。研究表明, 288 g/L 氯氟吡氧乙酸异辛酯乳油对猪殃殃、卷茎蓼、马齿苋、龙葵<sup>[6]</sup>等也具有很好的防除效果。

## 参考文献

- [1] 李志军, 于军, 段黄金, 等. 田旋花营养器官及不定芽发生的解剖学研究[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(3): 185–187.
- [2] 苏金生, 相益涛, 李海燕. 28.8% 氯氟吡氧乙酸异辛酯 EC 防除小麦田杂草效果[J]. 现代化农业, 2012(7): 6–8.
- [3] 孔素萍, 段乃彬, 杨崇良, 等. 大蒜田除草剂筛选研究[J]. 天津农业科学, 2010, 16(4): 37–40.
- [4] 何付丽, 代丽婷, 曲春鹤. 防除大豆田铁苋菜的茎叶处理除草剂筛选[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 202–205.
- [5] 安瑞军, 张立明, 张冬梅. 紫花苜蓿苗期除草剂筛选及防效试验[J]. 草业科学, 2006, 23(2): 71–72.
- [6] 王肃鲁, 卢志叶. 化学防除果园田旋花试验初报[J]. 新疆农垦科技, 1994(2): 24–25.
- [7] 孙乃波, 冯孝严, 里程辉. 果园如何正确选择和使用除草剂[J]. 北方果树, 2012(2): 31–32.