

神木与杨凌地区长柄扁桃光合与生物学特性比较

罗树伟¹, 郭春会¹, 张国庆²

(1. 农业部西北园艺植物种质资源利用重点开放实验室, 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100;
2. 中国林科院沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200)

摘 要: 通过神木与杨凌两地区长柄扁桃的光合能力比较, 为长柄扁桃大面积栽植与发展提供理论参考。试验结合生物学观察, 利用 LI—6400 便携式光合作用测定仪系统, 分析了陕西省榆林市神木县境内毛乌素沙漠和杨凌西北农林科技大学苗圃中长柄扁桃的光合作用特性。通过田间活体测定光合参数, 对比研究了两地区内叶片净光合速率(P_n)的日变化等, 并采用非直角双曲线拟合方程与直角双曲线方程分别计算光响应与 CO_2 响应曲线相关参数, 并对测定结果进行单因素方差分析。结果表明: 生物学特性方面, 杨凌地区长柄扁桃萌芽早, 且生命周期较长; 神木地区长柄扁桃结果率较高。光合特性方面, 光合日变化均呈双峰曲线, 且都具明显“午休”现象。杨凌神木地区长柄扁桃 LCP, LSP 分别为 $49.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $1\,512.5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; $21.44 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $1\,500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。CCP, CSP 分别为 $84.46 \mu\text{mol}/\text{mol}$, $1\,000 \mu\text{mol}/\text{mol}$; $53.92 \mu\text{mol}/\text{mol}$, $781.25 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。长柄扁桃在两地生长情况与光合特性有显著差异, 神木地区长柄扁桃光合能力显著大于杨凌, 表现出对强光低浓度 CO_2 的高效光合特性及较强适应能力, 对于神木长柄扁桃的适应性需要进一步观察。

关键词: 长柄扁桃; 生物学特性; 光合作用对光响应; 光合作用对 CO_2 响应
中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0196-07

扁桃(*Amygdalus communis* L.)又名巴旦杏、巴旦姆、大杏仁,属蔷薇科扁桃亚属植物。主要分布在北半球亚热带和暖温带地区,是世界著名的干果和木本油料树种。扁桃分布于我国的有 6 个种,分别为普通扁桃、蒙古扁桃、西康扁桃、矮扁桃、榆叶梅和长柄扁桃^[1]。长柄扁桃(*Amygdalus pedunculata* Pall.)属落叶灌木,又叫野樱桃^[2],分布于我国内蒙古和陕西,主要分散于干草原地带的固定、半固定沙地,石砾质阳坡及山麓。利用其适应范围广、抗旱、固沙、抗风蚀能力强等优良特性,对我国西北干旱、半干旱地区山地和沙漠地带保土固沙具有重要意义^[3]。长柄扁桃果仁含油量较高,既可食用,也可做工业用,故有一定的经济效益。我国北方一些地区,已将长柄扁桃作为造林固沙树种进行不同程度的栽植,但长柄扁桃的光合特性研究在国内外尚未见报道^[4],植物光合作用是生态系统物质循环和能量流动的基础,栽培基础研究的欠缺成为引种栽培方面表现低效的重要原因。因此对不同地区(即不同纬度、不同环境内)栽植的长柄扁桃进行对照试验及光合特性研究,研究长柄扁桃的光合特性,尤其是毛乌素沙地的野生品种的光合特性,从生理生态因素入手,分析我国长柄扁桃在复杂环境因子影响下的适应性为其

资源的利用及大面积栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 自然概况

试验地自然环境见表 1。

1.2 试验材料

供试材料:①榆林市神木县境内毛乌素沙漠②杨凌西北农林科技大学苗圃。两地均为实生苗定植的四年生长柄扁桃幼树。

1.3 观测方法

生物学特性观察:随机选 10 株树,用软皮尺测量株高;再从每株树树冠中上部随机选择当年生枝,调查萌芽率、生长势以及叶片性状等,最后均取平均值作为调查结果。从初花期开始调查,分别记载两地的开花物候期进程^[5,6]。

光合测定:选择树高 1.8 m 左右,新梢平均长度 20~35 cm,树体健壮,生长势一致,开花结果正常,测量时为果实成熟落果时期。挂牌标记待测定株,每次选择树势较一致的 4 株,每株选树体南侧生长一致的 3 个新梢(3 次重复),叶位和叶龄相对一致,新梢中上部 5~7 节位(自上而下)的 2 片对生并无病虫害的功能叶进行测定。测量在不离体、不损害

收稿日期:2009-02-20
基金项目:国家科技部成果转化资金项目园艺作物新品种中试(2006GB23600449);西北农林科技大学育种专项“扁桃的种质资源与新品种创制研究(05YZ031)
作者简介:罗树伟(1983—),男,甘肃兰州人,硕士,主要从事长柄扁桃生理生态与胚胎培养研究。
(C)1994-2022, CNKI 网络出版, 地址:北京海淀区中关村大街 29 号 2 层 100044, 电话:010-58882618, 电子邮箱:cnki@cnki.net, 网址:www.cnki.net
通讯作者:郭春会(1960—),女,陕西蒲城人,教授,主要从事扁桃引种、栽培技术、采后加工研究。http://www.cnki.net

叶片生理功能的情况下进行^[7]。

表 1 两地区间地理环境概况
Table 1 The general situation of geographic environment of two regions

地区 Region	神木 Shenmu (毛乌素沙漠) (Mu Us Desert)	杨凌 Yangling
	北纬:37°27.5′~39°22.5′	北纬:34°16′
地理位置 Geographic location	North latitude 东经:107°20′11″30′ East longitude	North latitude 东经:108°05′ East longitude
海拔 Altitude	1 100~1 300 m	435~563 m
气候 Climate	半干旱大陆性季风气候 Semi-arid continental monsoon climate	大陆性暖温带季风半湿润气候 Semi-humid continental monsoon climate of warm temperate zone
地貌 Landform	风沙草滩 Wind sand grass shoal area	塬、坡、滩地交错 Juncture Area of Tableland, Slope, Beach
年均温 Annual mean temperature	6.0℃~8.5℃	9.0℃~12.9℃
年降水量 Annual precipitation	250~440 mm	635.1~663.9 mm
年平均日照 Average annual sunlight	2 876 h	2 196 h
年无霜期 Annual frostless period	169 d	315 d
种植环境 Planting condition	沙土 Sandy soil	沙壤土 Sandy loam soil

叶片净光合速率试验分别于 2008 年 8 月下旬在两地进行:用美国 Li—cor 公司生产的 Li—6400 便携式光合仪开路系统测定,采用开放气路。测定叶片净光合速率(P_n)的同时,仪器同时记录:蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、细胞间 CO_2 浓度(C_i)、大气 CO_2 浓度(Ca)、叶片温度(T_l)、气温(T_a)和光合有效辐射(PAR)和相对湿度(RH)等生理生态因子。

1.3.1 净光合速率日变化测定 选择阳光充足,无云的晴天,从 8:00 到 19:00,每 2 小时测定一次,每次测 3 对互生叶得到 3 组重复数据,取其平均值。

1.3.2 光合—光强响应特性测定 测定时间为晴天上午 9:00~11:30。测定环境:采用仪器自带的 LED 红蓝光源,气温 24℃~27℃,RH 50%~70%,参比室 CO_2 浓度 360~390 $\mu mol/mol$ 。PAR 分别设定为 2 000, 1 700, 1 400, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 50, 20 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 和 0 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 。在 0~2 000 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 光强范围内制作 P_n —Par 光响应曲线。

利用 SPSS 统计分析软件计算拟合光响应曲线^[8],拟合公式为^[9]:

$$A = \frac{\phi \times Q + A_{\max} - \sqrt{(\phi \times Q + A_{\max})^2 - 4 \times \phi \times Q \times k \times A_{\max}}}{2k} - R_{day}$$

(1)

式中, A 为净光合速率; Q 为光合有效辐射; $A_{\max}$ 为最大净光合速率; ϕ 为表观量子效率(AQY); k 为光

响应曲线的曲角; R_{day} 为光下呼吸速率。

根据 P_n —PAR 实测值进行二元回归,用最小二乘法建立方程,得出光饱和点(LSP)及饱和光强下的 $P_{\max}$ 。再在(0~200 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$)光合有效辐射下,线性回归求光补偿点(LCP),暗呼吸速率^[10~12]。

1.3.3 光合— CO_2 响应特性的测定 测定时间为晴天上午 9:00~11:30。安装 CO_2 钢瓶,稳定 20 min 左右,在接近光饱和点附近的1 600 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 光合有效辐射下(LED 光源)测量,温度为 25℃,湿度为大气湿度的 99%,外接钢瓶供应 CO_2 ,其浓度梯度分别设定为 400, 300, 200, 150, 100, 50, 400, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 1 800 $\mu mol/mol$ 。最小等待时间为 120 s,最大等待时间为 180 s 每次变换 CO_2 浓度后都进行仪器的匹配操作,以保证所得光合速率数值的准确^[13,14]。

利用 SPSS 统计分析软件计算拟合 CO_2 响应曲线,采用如下公式^[15]:

$$A = CE \times C_i \times A_{\max} / (CE \times C_i + A_{\max}) - R_{esp}$$

(2)

式中, A 为净光合速率 P_n ; CE 为表观羧化效率; C_i 为胞间 CO_2 浓度; R_{esp} 为呼吸速率; $A_{\max}$ 为 $RuBp$ 最大再生速率。

根据 P_n — C_i 实测值进行二元回归,用最小二乘法建立方程,得出 CO_2 饱和点(CSP)及饱和 CO_2 浓度下的 $A_{\max}$ (即 $RuBisCo$ 最大再生速率)。再在(0~200 $\mu mol/mol$) CO_2 浓度下,线性回归求 CO_2 补偿

点(CCP),光呼吸速率^[10~12]。

以上拟合方程得出的与 $A_{\max}$ 值均远大于实测值,而线性回归求出的饱和点值又偏小^[16,17],故选用二元回归求出以上观测值。

2 结果与分析

2.1 生物学特性观察

由表 2、3 看出,杨凌长柄扁桃的花芽萌发早于神木地区,杨凌地区气温回升快,3 月初现蕾。神木地区纬度高,气温偏低 5℃~6℃,树体萌动较晚,但花芽经过了较长时间的低温休眠,萌芽较整齐且花质量优于杨凌。故在成花结果方面,4 a 生长柄扁

桃,神木地区表现极佳,几乎每株都为枝枝开花,枝枝结果。这表明温度对长柄扁桃花芽的萌发起关键作用^[3]。据笔者初步观察,在神木地区,树体普遍稍高于杨凌地区,且树体较为健壮,多数呈自然开心类树形,利于充分吸收光能,且叶片在阳光直射的中午,有明显卷起的保护现象,而杨凌地区未发现。在神木地区处于秋冬季节转换期间,叶片大量蜷曲,叶表角质化严重,大量叶片迅速掉落。杨凌长柄扁桃从果熟期到落叶期,结果后期明显长于神木地区。作为落叶小灌木,长柄扁桃在杨凌虽叶片掉落早于神木地区,但叶片生命周期明显长于神木地区。

表 2 两地区间长柄扁桃主要物候期

Table 2 The main phenophase of *Amygdalus pedunculata* Pall. of two regions

地区 Region	物候期 Phenophase (M-d)				
	初花期 Semi-bloom	盛花期 Full-bloom	始果期 Early stage of fruiting	果熟期 Ripening	落叶期 Defoliation
神木 Shenmu	4.20±3	5.15±3	6.10±3	8.20±3	10.25±3
杨凌 Yangling	3.25±3	4.15±3	5.25±3	6.15±3	10.2±3

表 3 两地区间长柄扁桃树体生长情况

Table 3 The growth and development condition of *Amygdalus pedunculata* Pall. of two regions

地区 Region	生长情况 Growth condition			叶片性状 Leaf characters		成花 Flower formation	结果 Fruiting
	树高(m) Height	树势 Vigour	树姿 Appearance	叶色 Colour	叶形 Shape	完全花率(%) Perfect flower	坐果率(%) Setting rate
神木 Shenmu	1.95	强健 Strong	开张 Open	深绿;浅绿 Dark; light green	卷曲且叶面积小 Coiling small area	70.8	30.9
杨凌 Yangling	1.82	中庸 Medium	直立 Vertical	深绿;浅绿 Dark; light green	平展且叶面较大 Erect leaf big area	14.1	2.2

2.2 光合速率日变化

长柄扁桃叶片的净光合速率(P_n)日变化呈双峰曲线(图 1)。杨凌地区的双峰出现早于神木,早晨 10:00 达到第一个 P_n 高峰,中午呈明显“午休”现象,然后 14:00 出现次高峰。神木地区则表现高峰延后现象,12:00 出现 P_n 最高峰,14:00 回落出现“午休”,16:00 出现次高峰。次高峰后 P_n 都迅速下降,降到早晨光合水平以下。两地相比,神木一天内 P_n 日变化较为剧烈,最高峰值达 18 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,表现出较高的光合能力^[18,19]。两地在 12:00 净光合速率差值最大,说明杨凌地区长柄扁桃对光较敏感,同时也表明长柄扁桃在神木强光,高温环境下的适应性强于杨凌。

2.3 叶片生理生态因子日变化

气孔导度呈单峰曲线,杨凌长柄扁桃 G_s 整体大于神木地区(图 2)。两地 G_s 在早晨随光温的增

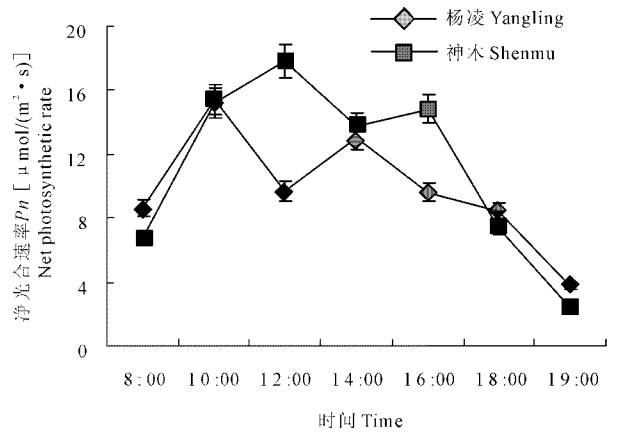


图 1 净光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal changes in net photosynthetic rate (P_n)

加,呈降低趋势,于 10:00 后反弹又逐渐回升,中午 12:00 达到最大峰值。午后 G_s 呈明显下降趋势,光强最弱时达到最低值。胞间 CO_2 变化幅度较为平缓

(图 3)。夜间呼吸积累,故早晨 C_i 浓度偏高,随后逐渐回落,10:00 以后 C_i 浓度渐进平稳。16:00 后,随光温等减小,光合减弱呼吸增强, C_i 又逐渐回升。不难看出,两地 G_s , C_i 都在 10:00 出现低谷,杨凌地区长柄扁桃 10:00, 14:00 P_n 出现峰值,且在 12:00 G_s 最大时,而 C_i 却未见升高,说明未受 G_s 限制^[20]。神木 P_n 出现最高峰值时, G_s 也为最大, C_i 保持平稳水平,说明此时叶肉细胞的光合效率非常高。两地 P_n 的次高峰出现时, G_s 处于下降阶段, C_i 也处于较低水平,说明导度下降,进入叶肉的 CO_2 也减少^[10]。从图 4 蒸腾速率日进程可看出,杨凌和神木地区差异明显,杨凌长柄扁桃 Tr 随光合有效辐射增强,变化幅度剧烈,最大峰值远大于神木。两地 Tr 虽都呈单峰曲线,但神木变化平稳,最高峰出现于 12:00,不足 $4 \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 。与高纬度地区风大叶表温度低,叶片角质严重有关。结合湿度变化曲线(图 5)可以看出,神木环境湿度明显小于杨凌。早晨与傍晚两地湿度都相对较高。12:00~14:00 是气温最高、光照最强的时段,杨凌地区 Tr 非常高,此时的 G_s 也处最大值,但 P_n 处于低谷,说明 Tr 与 G_s 相关, P_n 已处于光饱和状态,受光抑制并非气孔限制因素^[11]。而神木则不同, P_n 最大值时, Tr 、 G_s 也达到较大和最大值。

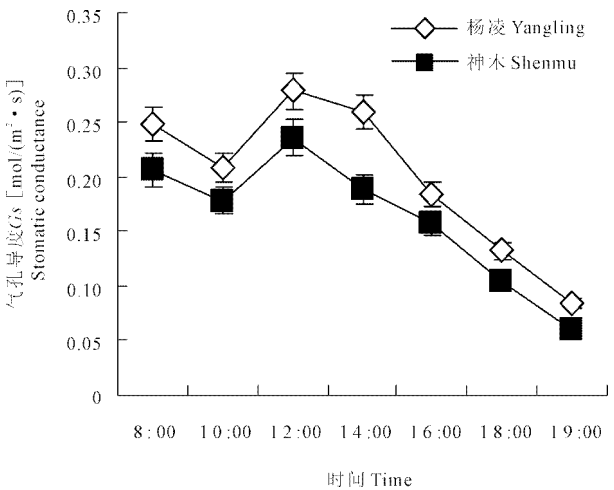


图 2 气孔导度日变化

Fig. 2 The diurnal variation of stomatic conductance (G_s)

2.4 长柄扁桃光合作用对光强响应

杨凌与神木地区光响应曲线存在显著差异(图 6)。在 $0 \sim 200 \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 光合有效辐射内,近似线性阶段,可知两地暗呼吸速率差异显著(表 4)。其中,杨凌地区表观量子效率(AQY)较小,而光补偿点(LCP)大于神木。说明神木长柄扁桃在弱光下光合效率依然很高。在 $200 \sim 1\,200 \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 光合

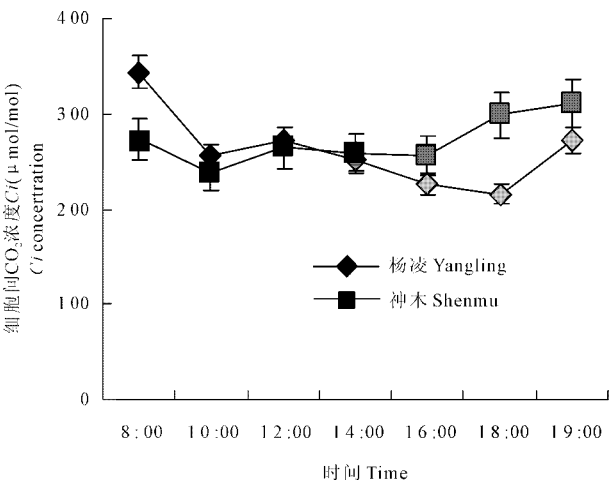


图 3 胞间 CO_2 浓度日变化

Fig. 3 The diurnal variation of C_i concentration

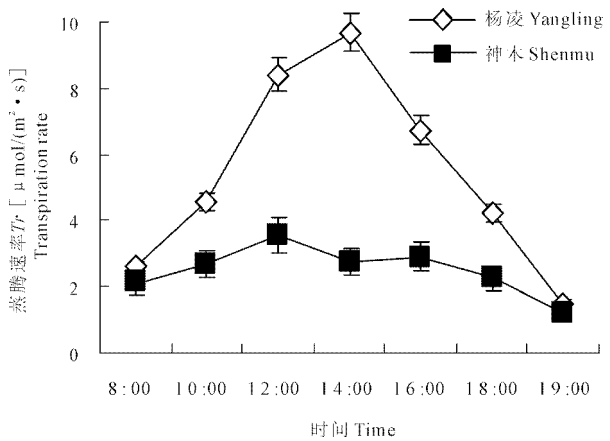


图 4 蒸腾速率日变化

Fig. 4 The diurnal variation of transpiration rate(Tr)

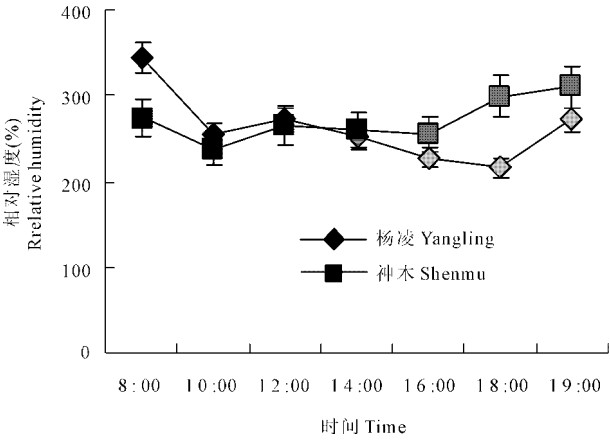


图 5 相对湿度日变化

Fig. 5 The diurnal variation of relative humidity (RH)

有效辐射内,曲角 ϕ 也叫凸度^[16],表示光响应曲线的弯曲程度($0 < \phi \leq 1$)。由表 4 可知,两地曲角存在显著差异,它决定着这一光强区间内的光合速率,说明中光区杨凌地区长柄扁桃光合能力较强。其次,

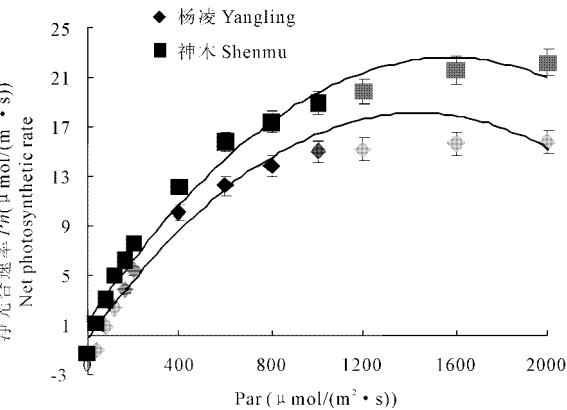


图 6 光响应曲线

Fig.6 Responses curve of the net photosynthetic rate

曲角大,表明随光强增强,长柄扁桃对光的反映程度高,即对光较为敏感,也可理解为 Rubisco 的活性/电子传递活性的比例低,则早进入饱和和区域。在 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 以后,逐渐呈饱和直线区,在此区间可找到光饱和点(LSP),两地饱和点基本一致,而对应的最大净光合速率(P_{max})则差异显著。神木地区远高于杨凌。相对而言,长柄扁桃具有较高光饱和点,证明了它作为喜光的阳生植物对较高光强的适应性。由 Walker (1989)^[9]非直角双曲线拟合^[21]得出的光下呼吸速率 R_{day} 看出,杨凌长柄扁桃呼吸消耗显著大于神木地区。 P_n —PAR 曲线回归方程为:神木: $y=-9E-06x^2+0.027x+1.117$, $R^2=0.979$, $P<0.01$;杨凌: $y=-8E-06x^2+0.0242x-0.5914$, $R^2=0.966$, $P<0.01$ 。

2.5 长柄扁桃光合作用对 CO₂ 响应

杨凌与神木地区长柄扁桃 CO₂ 响应曲线也存在显著差异(图 7),也存在 3 个阶段^[22]。在 $0\sim200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 内,近似直线阶段。从表 5 结果来看,杨凌地区 CO₂ 补偿点(CCP)显著大于神木地区。神木长柄扁桃羧化效率(CE)极显著大于杨凌地区。CE 越大,表明在较低的 C_i 下,有较高的 P_n , CCP 差异正说明这点,同时也说明神木地区长柄扁桃羧化加氧酶(Rubisco)在低 CO₂ 浓度下含量多或者活性高。在 C_i 为 $200\sim800\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 阶段, P_n 随 C_i 的升高而曲线增高。呼吸速率 Resp, 神木地区极显著大于杨凌,表明在随 C_i 不断增加的过程中,与光下呼吸速率(表 4)相比,植物被充分活化。

C_i 大于 $800\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 以上, P_n 基本上不再随 C_i 的升高而上升,表明已达到了饱和水平接近直线阶段。CO₂ 饱和点 CSP 差异不大,此时饱和点处的光合速率达到最大,由于在饱和光强下,故也称 RuBp 最大再生速率^[18]差异显著。显然神木地区长

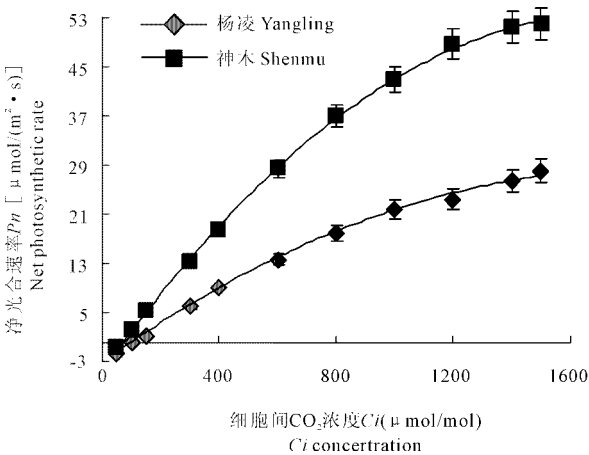


图 7 长柄扁桃 CO₂ 响应曲线

Fig.7 Responses curve of P_n to CO₂ level of *A. pedunculata* Pall.

表 4 两地区长柄扁桃光合参数差异

Table 4 The differences of photosynthetic parameters of *Amygdalus pedunculata* Pall. between two regions

光响应参数 Light-response of photosynthetic parameter	杨凌 Yangling	神木 Shenmu (毛乌素沙漠) (Mu Us Desert)
光补偿点 LCP [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] Light compensation point	49.08 a	21.44 a
光饱和点 LSP [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] Light saturation point	1 512.5 a	1 500 a
最大净光合速率 P_{max} [$\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] Maximum net photosynthetic rate	17.71 Bb	21.37 Aa
表观量子效率 AQY Apparent quantum yield	0.05 a	0.06 a
暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] Dark respiration rate	2.29 a	0.95 b
曲角 Curved angle	0.71 Aa	0.58 Bb
光下呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] Respiration rate under the Sunshine	3.1 Aa	1.19 Bb

注:不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同

Note: Different capital letters show significant difference at $P<0.01$, and different small letters show significant difference at $P<0.05$. They are the same in the following tables.

柄扁桃表现出较高的光合电子传递能力和光合磷酸化的活性(表 5)。 P_n — C_i 曲线回归方程为:神木: $y=-8E-05x^2+0.125x-5.969$, $R^2=0.997$, $P<0.01$;杨凌: $y=-3E-05x^2+0.060x-4.375$, $R^2=0.980$, $P<0.01$ 。

3 讨论

1) 从两地生物特性比较发现,杨凌地区的物候期比神木提前开始。两地的环境差异直接影响生理生长发育过程,乃至生育期的不同。生长情况,也不

尽相同,神木地区具有较强适应性的形态特性。从产量来看,尽管影响花芽分化的因素很多^[3],但从温度角度出发,神木地区完全花率较高,可能是长柄扁桃需寒量较高,故结果率也相应明显高于杨凌。杨凌地区长柄扁桃叶片保持常绿状态的生理周期更长。

表 5 两地区间长柄扁桃 CO₂ 参数差异

Table 5 The differences of CO ₂ parameters of <i>Amygdalus pedunculata</i> Pall. between two regions		
CO ₂ 响应参数 CO ₂ response of photosynthetic parameters	杨凌 Yangling	神木 Shenmu (毛乌素沙漠) (Mu Us Desert)
CO ₂ 补偿点 CCP (μmol/mol) CO ₂ compensation point	84.46 b	53.92 a
CO ₂ 饱和点 CSP (μmol/mol) CO ₂ saturation point	1 000 a	781.25 a
RuBp 最大再生速率 [μmol CO ₂ /(m ² ·s)] Maximum regeneration rate of RuBp	24.93 b	42.86 a
羧化效率 CE Carboxylation efficiency	0.12B b	0.22 Aa
呼吸速率 [μmol/(m ² ·s)] Respiration rate	9.2 Bb	11.38 Aa
光呼吸速率 [μmol/(m ² ·s)] Photorespiration rate	6.67 a	6.42 a

2) 两地长柄扁桃叶片的净光合速率 (*P_n*) 都呈双峰曲线,杨凌与神木的“午休”现象分别出现于 12:00 与 14:00。杨凌长柄扁桃蒸腾速率 (*Tr*) 变化幅度较大,神木长柄扁桃气孔导度 (*G_s*) 小于杨凌。*G_s* 不断增大的过程,TR 也在增大,神木地区净光合速率 *P_n* 值也随之增大,且有较明显的强光下的光抑制和光保护机制,比如, *Tr* 减缓, *G_s* 逐渐减弱, *P_n* 出现低谷等。但杨凌地区表现相反, *P_n* 与 *Tr*、*G_s* 关系并非其他文献^[10,20] 中出现的正相关关系。说明杨凌地区长柄扁桃午休的光合机制并非气孔限制,可能由非气孔性限制因子引起。

3) 杨凌与神木地区长柄扁桃光响应曲线存在显著差异。其中,杨凌地区表观量子效率 (AQY) 较小,而光补偿点 (LCP) 大于神木。说明神木地区长柄扁桃在弱光下光合效率依然很高。其次,从曲线分析看,杨凌地区长柄扁桃对光较为敏感,这点从日变化中也可以看出(峰值先于神木)。神木地区长柄扁桃最大光合能力显著大于杨凌。造成这些差异的原因,笔者认为长柄扁桃本属沙地植物,分布在光照充足的沙漠地带(表 1),故对强光有足够的适应性^[18],由于沙漠气候的复杂多变,使得沙地环境生长的长柄扁桃具有更宽泛的光强利用范围。最后,两地都表现出长柄扁桃喜光且高光合的特性。

4) 两地长柄扁桃对 CO₂ 响应曲线也存在显著

差异。有结论认为增加 CO₂ 浓度对光合作用有促进效应,本试验通过不同浓度的 CO₂ 梯度,明显的挖掘了长柄扁桃的光合潜力。曲线分析得出两地 CE 都远大于一般 C³ 植物^[18],表现出很强的羧化能力。研究发现神木地区长柄扁桃具有较低 CCP,且 CE 较高,都表明了低浓度 CO₂ 下较强的 Rubisco 酶活性带来的光合能力的高效性^[22]。饱和点处的光合速率,就相当于 RuBp 最大再生速率。神木长柄扁桃远大于杨凌。两地都存在明显的光呼吸现象。由于 CO₂ 影响光合在于气孔导度,水蒸汽压, RuBp 羧化酶的数量等,所以两地出现差异,主要还是由于环境的改变^[23],致使比如叶片内部结构发生改变,叶肉细胞欠发达叶绿体含量较少,或者 RuBp 羧化酶活性降低加氧活性增强,或数量减少等。还有可能就是“源—库”关系的不协调^[10],调控 CO₂ 吸收能力的蛋白受到抑制,或者存在种间差异等。

5) 本试验研究发现长柄扁桃在两地生长情况与光合特性有显著差别。神木地区有较强适应性,是毛乌素沙地自然选择的结果。毛乌素沙地的地理位置,沙的优势覆盖度与水分特点,决定了这里的优势生活型是耐风沙与干旱的灌木。与扁桃相比而言^[11,18],长柄扁桃表现出“午休”延后,光饱和点高,光合羧化能力强等野生种质优势。因此,长柄扁桃可作为荒山、沙漠地区的造林树种。在面积栽植时应选择光照充足的地域,充分利用其高光合特性^[10,18,19]。

6) 同一物种,放置于不同环境下,会适应性的去改变其本来固有的一些性状,如显微结构,树势形态,生长习性、生理机制提前或延迟,抗逆性的减弱或增强,甚至于内部遗传基因的改变等。本文仅针对光合特性间的差异进行探讨,当然为了让长柄扁桃不断推广开来,得到大面积的栽植,还需要进行更多有针对性的研究,比如,不同生长环境条件下的生长发育进程、多年的产量、品质及抗性研究,种间差异性研究等。

参 考 文 献:

[1] 苏贵兴,姚玉卿. 我国的野生扁桃资源[J]. 野生植物研究, 1993, (2), 7—11.

[2] 刘孟军. 中国野生果树[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998, 1—8.

[3] 郭春会, 罗 梦, 马玉华, 等. 沙地濒危植物长柄扁桃特性研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(12): 125—129.

[4] 王红霞, 张志华, 玄立春. 果树光合作用研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(增刊): 49—52.

[5] 刘立波, 张 巍, 张志环. 刺玫果的生物学特性[J]. 经济林研究, 2005, 23(3): 21—23.

- [6] 王善波. 11 个杏品种生物学特性试验研究[J]. 中国果树, 2007, (1), 26—30.
- [7] 焦旭亮, 惠竹梅, 张振文. Li—6400 光合作用测定仪在有萄上应用的商榷[J]. 西北农业学报, 2007, 16(1), 258—261.
- [8] 刘宇峰, 萧浪涛, 童建华, 等. 非直线双曲线模型在光合响应曲线数据分析中的应用[J]. 中国农学通报, 2005, 121(8), 76—79.
- [9] GRAHAM D F. Models of photosynthesis[J]. Plant Physiology, 2001, 125, 42—45.
- [10] 杨江山, 常永义, 种培芳. 3 个樱桃品种光合特性比较研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(5), 773—777.
- [11] 李延菊, 李宪利, 张序, 等. 3 个扁桃品种的光合特性[J]. 林业科学, 2006, 42(11), 23—28.
- [12] 翟敏, 李永华, 杨秋生. 盆栽和地栽牡丹光合特性的比较[J]. 园艺学报, 2008, 35(2), 251—256.
- [13] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4), 241—244.
- [14] 陈根云, 俞冠路, 陈悦, 等. 光合作用对光和二氧化碳响应的观测方法讨论[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(6), 691—696.
- [15] OLSSONT, LEVERENZ JW. Non-uniform stomatal closure and the apparent convexity of the photosynthetic photon flux density response curve[J]. Plant, Cell and Environment, 1994, 17, 701—710.
- [16] 叶子飘. 光响应模型在超级杂交稻组合—II 优明 86 中的应用[J]. 生态学报, 2007, 26(8), 1323—1326.
- [17] 叶子飘, 于强. 一个光合作用光响应新模型与传统模型比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(6), 771—775.
- [18] 潘晓云, 曹琴东, 王根轩, 等. 扁桃与桃光合作用特征比较研究[J]. 园艺学报, 2002, 29(5), 403—407.
- [19] 惠竹梅, 焦旭亮, 张振文. 渭北旱源‘赤霞珠’葡萄浆果膨大期光合特性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(4), 112—122.
- [20] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4), 241—244.
- [21] 高峻, 孟平, 吴斌, 等. 杏—丹参林药复合系统中丹参光合和蒸腾特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28, 64—67.
- [22] 叶子飘, 高峻. 丹参羧化效率在其 CO₂ 补偿点附近的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(5), 160—164.
- [23] 潘晓云, 王根轩, 曹孜义. 扁桃在我国的适宜气候生态引种区研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6), 1069—1075.

Comparative study on photosynthetic characteristics and biological characteristics of *Amygdalus pedunculata* Pall. between two regions of Shenmu and Yangling

LUO Shu-wei¹, GUO Chun-hui¹, ZHANG Guo-qing²

(1. Key Laboratory of Horticultural Plant Germplasm Resources Utilization for Northwest China,

Ministry of Agriculture, College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: The study is to further confirm the comparatively adaptability of *Amygdalus pedunculata* Pall. through experiment, so as to provide theoretic basis for its enormous production of and sustainable development. The photosynthetic characteristics of *A. pedunculata* Pall. were studied with LI—6400 portable photosynthesis system in the Mu Us Desert area of Shenmu County in Yulin and nursery of Northwest A & F University in Yangling of Shaanxi Province, including observation of its biological characteristics. Some photosynthetic parameters were separately measured in two regions, such as diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n), and the response of leaf net photosynthesis to light level and to CO₂ could be modelled by a non-rectangular hyperbola, a rectangular hyperbola, respectively, then the correlated parameters were obtained. The parameters were analyzed by single factor analysis of variance. The results show that in the aspect of biological characteristics, the yield of *A. pedunculata* Pall. in Shenmu is more than that in Yangling. Comparatively longer time is taken on the green leaves in Yangling. In the aspect of photosynthetic characteristics, the curves of diurnal variation of net photosynthesis rate in leaves of *A. pedunculata* Pall in the two test sites show two peaks, and midday depression of P_n (11:00~14:00) can be found in leaves of both areas. The LCP and LSP of *A. pedunculata* Pall. in Yangling and Shenmu is 49.08 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 1 512.5 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 21.44 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, respectively. CCP and CSP is 84.46 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ and 1 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$; 53.92 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ and 781.25 $\mu\text{mol}/\text{mol}$. *A. pedunculata* Pall. in different regions shows significant difference on growth conditions and photosynthetic characteristics. The photosynthetic ability of *A. pedunculata* Pall in Shenmu is marked better than in Yangling, showing stronger adaptability and great efficiency in photosynthesis, especially to high light and light concentration of CO₂.

Keywords: *A. pedunculata* Pall.; biological characteristic; light-response of photosynthesis; CO₂-response of photosynthesis