

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0133

张华, 吴睿, 康雅茸. 民勤绿洲梭梭同化枝光合生理特性与形态. 草业科学, 2018, 35(2): 371-379.

Zhang H, Wu R, Kang Y R. Photosynthetic, physiological, and morphological characteristics of *Haloxylon ammodendron* assimilation twigs in Minqin Oasis. Pratacultural Science, 2018, 35(2): 371-379.

## 民勤绿洲梭梭同化枝光合生理特性与形态

张 华<sup>1,2</sup>, 吴 睿<sup>1</sup>, 康雅茸<sup>1</sup>

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**梭梭(*Haloxylon ammodendron*)是干旱区植被组成中的植被优势种,对区域生态系统稳定有着重要的作用。为进一步揭示生长季内不同时期梭梭同化枝光合生理特性和形态性状及其对环境因子的适应,本研究比较分析了民勤绿洲梭梭同化枝在5月下旬和7月下旬的光合生理特性及形态。结果表明,5月下旬和7月下旬梭梭同化枝净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和气孔导度( $G_s$ )的日变化均呈现双峰曲线。5月下旬中午前后 $P_n$ 降低主要是气孔限制因素,7月下旬中午前后 $P_n$ 降低主要是非气孔限制因素。7月下旬的同化枝面积(LA)、鲜重(FW)、干重(DW)、含水量(LWC)、干物质含量(LDMC)和比叶面积(SLA)较5月下旬分别增长了79%、94%、99%、33%、14%和3%。LA是梭梭同化枝最具代表性的形态性状。影响5月下旬梭梭同化枝的环境因子主要是光合有效辐射(PAR)、空气相对湿度(RH)和土壤含水量(SWC),影响7月下旬的主要是大气温度( $T_a$ )和SWC。

**关键词:**光合作用;同化枝;生理性状;形态性状;梭梭;民勤

中图分类号:S543<sup>+</sup>.9;Q945.11

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2018)02-0371-09\*

### Photosynthetic, physiological, and morphological characteristics of *Haloxylon ammodendron* assimilation twigs in Minqin Oasis

Zhang Hua<sup>1,2</sup>, Wu Rui<sup>2</sup>, Kang Ya-rong<sup>2</sup>

(1. College of Geographic and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

**Abstract:** *Haloxylon ammodendron* is a dominant species in arid zones and plays an important role in regional ecosystem stability. In order to more fully understand the photosynthetic, physiological, and morphological characteristics of *H. ammodendron* and to determine how they adapt to environmental factors, we employed comparative analytical methods to study these traits at the end of May and the end of July in Minqin Oasis. Our results showed that the change trends for assimilation twigs were bimodal on a daily scale for net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), and stomatal conductance ( $G_s$ ) in May and July. The  $P_n$  reduction was mainly due to stomatal limitation factors in May; the  $P_n$  reduction was caused by non-stomatal limitation factors in July. Morphological characteristics, including area (LA), fresh weight (FW), dry weight (DW), water content (LWC), dry matter content (LDMC), and specific leaf area (SLA) increased by 79%, 94%, 99%, 33%, 14%, and 3%, respectively, in July more than in May. Area was the most representative morphological character of the assimilation twigs. The environmental impact factors of *H. ammodendron* were mainly photosynthetically active (PAR), air relative humidity (RH), and soil water content (SWC) in May. Other factors of importance were atmospheric temperature ( $T_a$ ) and SWC in July.

**Key words:** photosynthesis; assimilation twigs; physiological characters; morphological characters; *Haloxylon*

\* 收稿日期:2017-03-20 接受日期:2017-07-12

基金项目:国家自然科学基金(41461011)

通信作者:张华(1978-),女,甘肃兰州人,副教授,博士,研究方向为干旱区生态恢复。E-mail:zhanghua2402@163.com

*ammოდendron*; Minqin

Corresponding author: Zhang Hua E-mail: zhanghua2402@163.com

旱生植物的叶片(同化枝)是进行光合作用最重要的器官<sup>[1]</sup>,它不仅是植物物质生产的基础,也是地球碳循环及其他物质循环的重要环节<sup>[2]</sup>。由于叶片的形状直接或间接影响到植物光合作用能力,因此叶片形态性状成为植物生态学研究的重点之一<sup>[3]</sup>。植物叶片光合生理特性和形态性状体现了植物生长策略和资源利用方式,是植物与环境因子长期相互作用的结果<sup>[4-5]</sup>。影响植物的环境因子在生长季内不同时期存在着较大差异,而这些差异导致植物在生长季内不同时期表现出不同的光合生理特性,并表现出不同的叶片形态性状<sup>[6]</sup>。所以,对生长季内不同时期植物的光合生理特性和形态性状及其与环境因子的关系进行研究,有助于更好地理解植物生长过程中对环境因子的适应表现。

梭梭(*Haloxylon ammodendron*)作为干旱区植被的优势植物,具有抗旱、耐盐碱的生理特性并具固沙等功能,在维持绿洲生态系统稳定中起着重要作用<sup>[7]</sup>。为适应干旱、半干旱环境和减少蒸腾面积,其形态性状发生了明显的趋异现象,叶片退化为膜质鳞片,幼茎肉质化呈绿色代替叶片进行光合作用,故将梭梭的叶片称为同化枝<sup>[8]</sup>。

近年来,有关学者在梭梭的光合生理特性和形态性状及环境关系等方面做了大量研究工作,如马婕等<sup>[9]</sup>研究了退化梭梭的光合特性,李家善等<sup>[10]</sup>研究了荒漠植物的形态性状特征,沈亮等<sup>[11]</sup>研究了脱水胁迫和光合日变化对梭梭叶绿素的影响,康建军等<sup>[12]</sup>分析了 $K_2SiO_3$ 促进梭梭生长并增强其抗旱性的机理,马红梅等<sup>[13]</sup>研究了专用有机肥对荒漠植物梭梭的生长及耐旱性的影响,张晓艳等<sup>[14]</sup>研究了环境因子对民勤绿洲梭梭林的蒸散影响。这些研究对梭梭的光合生理、抗旱性以及环境影响等方面有较全面的解析,但是对梭梭生长季内不同时期同化枝的差异性的比较研究较少。

位于干旱区石羊河下游的民勤绿洲是我国典型的绿洲型荒漠化地区,处在腾格里与巴丹吉林两大沙漠前缘交汇区<sup>[15]</sup>。近年来,气候的变化和人类活动干扰的加剧,导致民勤绿洲的生态环境不断恶化<sup>[8]</sup>。为了进行生态修复,民勤绿洲展开了大规模的植被保护与重建工作,其中对梭梭林的保护工作是重点之一。因

此,本研究针对生长季内不同时期梭梭同化枝光合生理特性、形态性状及其与环境因子的关系展开研究,拟解决的科学问题是甄别生长季内不同时期影响梭梭同化枝生长的主要环境因子,为民勤绿洲梭梭林恢复重建提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

民勤绿洲地理坐标为 $38^{\circ}27' - 39^{\circ}08' N$ 、 $102^{\circ}53' - 103^{\circ}49' E$ ,海拔 $1\ 000 \sim 1\ 940\ m$ 。沿石羊河两岸呈西南—东北向带状分布,地势自西南向东北缓倾,地面纵坡为 $1\%$ <sup>[16]</sup>。试验样地的地理坐标为 $38^{\circ}38'46'' N$ , $103^{\circ}08'55'' E$ ,海拔 $1\ 321\ m$ ,地形起伏不大。土壤类型为沙土,5月下旬平均土壤含水量(SWC)为 $2.15\%$ ,7月下旬平均SWC为 $4.79\%$ 。植被主要有胡杨(*Populus euphratica*)、小叶杨(*Populus simonii*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、梭梭、怪柳(*Tamarix chinensis*)、芦苇(*Phragmites australis*)、红砂(*Reaumuria songarica*)、碱蓬(*Suaeda salsa*)等。

### 1.2 方法

本研究采用CI-340便携式光合测定系统,分别于2015年5月下旬和2015年7月下旬晴朗无云天气下进行测定,在开放气路下选择3株长势良好且健康的梭梭,于每天08:00—18:00测量,每小时测定各相同部位,每次3个重复,取其平均值。测定指标包括净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )等。同时用WatchDog2000自动气象站在样地测定光合有效辐射(PAR)、大气温度( $T_a$ )、空气相对湿度(RH)等环境因子。

SWC的测定采用烘干称重法,在每株观测光合的梭梭旁,用土钻自表层开始向下取5个土层,分别为0—20、20—40、40—60、60—80、80—100 cm,在每层中部取样。取样后立即称得湿重,然后带回实验室置于 $105\ ^{\circ}C$ 的恒温箱内烘至恒重,冷却后称得干重,计算得SWC。在样地随机采集来自不同植株的健康梭梭同化枝100个,用细签字笔在同化枝上编号,再用电子天平(精度为 $0.001\ g$ )称鲜重(FW)。然后放在 $10\ cm \times 20\ cm$ 的白纸上,用玻璃片盖上拍照,最后放入水中,在 $5\ ^{\circ}C$ 的黑暗环境中浸泡12 h,取出后迅速用

吸水纸吸去叶片表面的水分,称取同化枝饱和鲜重(SFW)。并将同化枝在 80 °C 的烘箱里烘至恒重,称干重(DW)然后拍照,并用 Arcgis 计算面积(LA)<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用 Excel 2007 对梭梭同化枝光合数据进行处理,并做折线图进行分析。用变异系数(CV)表示梭梭同化枝形态性状在 5 月下旬和 7 月下旬的变幅。采用 SPSS 22 软件对梭梭同化枝形态性状进行相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 梭梭光合生理特性分析

5 月下旬梭梭同化枝  $P_n$  呈双峰曲线,在 10:00 左右达到第 1 峰值 $[0.33 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ ,14:00 左右达到第 2 峰值 $[0.31 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ 。7 月下旬  $P_n$  也呈双峰曲线,在 10:00 左右达到第 1 峰值 $[1.28 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ ,13:00 左右达到第 2 峰值 $[1.10 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ 。5 月下旬日均  $P_n$  小于 7 月下旬

(图 1)。5 月下旬  $T_r$  呈也呈双峰曲线,在 10:00 左右达到第 1 峰值 $[0.82 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ ,13:00 左右达到第 2 峰值 $[0.62 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ 。7 月下旬呈明显双峰曲线,在 11:00 左右达到第 1 峰值 $[0.64 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ ,14:00 左右达到第 2 峰值 $[0.81 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}]$ 。5 月下旬日均  $T_r$  小于 7 月下旬(图 1)。

5 月下旬  $G_s$  呈双峰曲线,在 10:00 之前上升,10:00 左右达到峰值后迅速下降,15:00 左右达到第 2 峰值。7 月下旬  $G_s$  变化与 5 月下旬相似,均呈双峰曲线,10:00 左右达到第 1 峰值,15:00 左右达到第 2 峰值。5 月下旬  $G_s$  日均值小于 7 月下旬(图 1)。

5 月下旬梭梭同化枝  $C_i$  总体呈“早晚高,中午低”,先下降后上升趋势,在 13:00 左右达到最低值。7 月下旬同化枝  $C_i$  也先下降后上升,在 14:00 左右达到最低值。5 月下旬  $C_i$  日均值与 7 月下旬相差不大(图 1)。

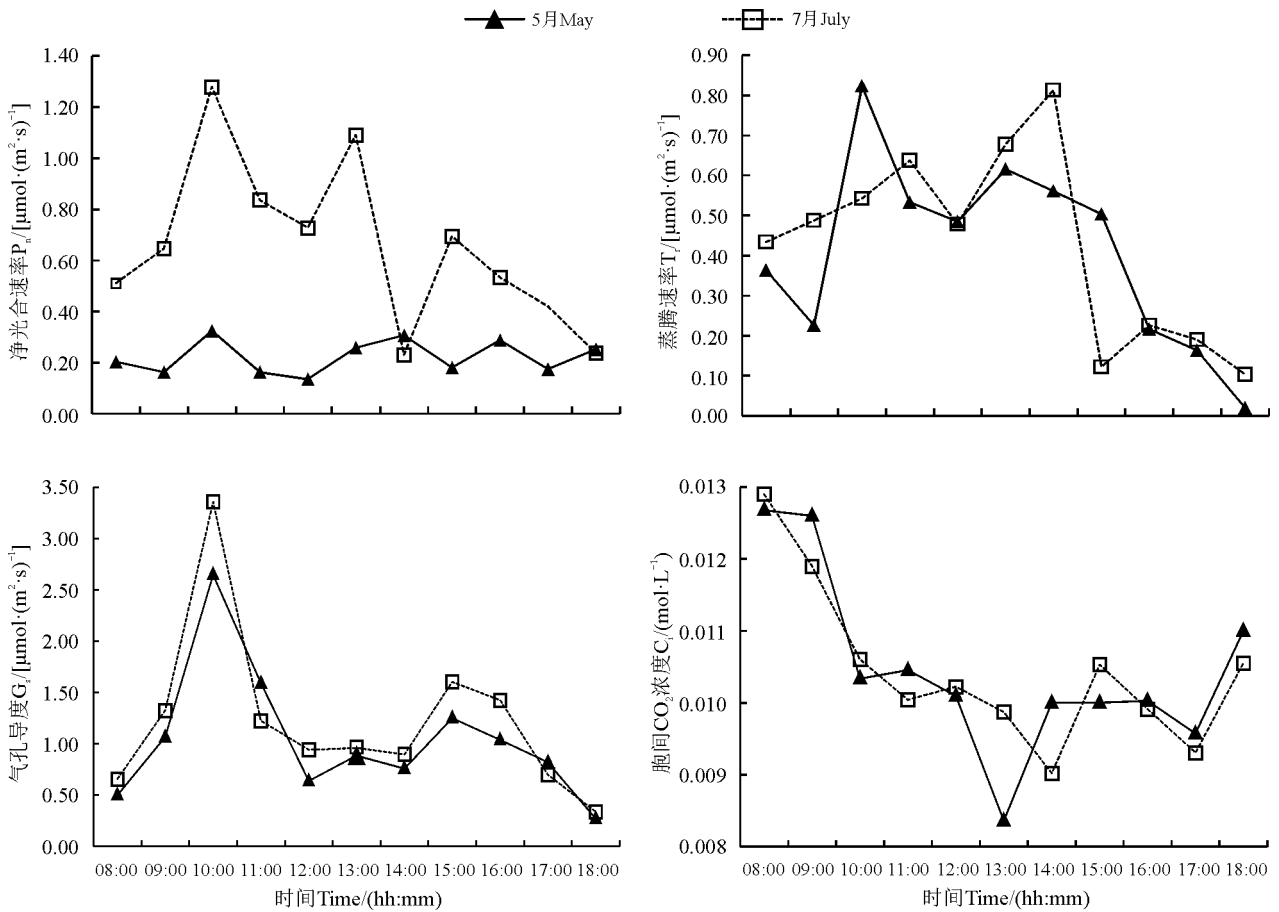


图 1 生长季内不同时期梭梭同化枝光合生理特性的日变化

Fig. 1 Diurnal changes in net photosynthetic and physiological characteristics in *Haloxylon ammodendron* assimilation twigs at different periods of the growing season

## 2.2 梭梭同化枝形态性状分析

5月下旬单叶面积最小值和最大值分别为0.10和9.09 cm<sup>2</sup>,7月下旬最小值和最大值分别为1.33和11.14 cm<sup>2</sup>。5月下旬变幅大于7月下旬(表1)。

5月下旬单同化枝鲜重最小值和最大值分别为0.02和0.30 g,7月下旬FW最小值和最大值分别为0.05和0.42 g。5月下旬FW变幅大于7月下旬(表1)。

5月下旬单同化枝干重最小值和最大值分别为0.004和0.090 g,7月下旬DW最小值和最大值分别为0.006和0.230 g。5月下旬DW变幅小于7月下旬(表1)。

同化枝含水量(LWC)是同化枝中水分含量占FW的百分比。5月下旬的LWC在1.6%~24%,7月下旬的LWC在4.5%~32%。5月下旬LWC变幅小于7月下旬(表1)。

同化枝干物质含量(LDMC)是DW与饱和鲜重的比值。5月下旬LDMC在0.02%~0.44%,7月下旬

在0.09%~0.53%。5月下旬LDMC变幅小于7月下旬(表1)。

比叶面积(SLA)是指叶面积与其干重的比值。5月下旬SLA分布在5.85~172.33 cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>,7月下旬在17.48~167.77 cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>。5月下旬SLA变幅小于7月下旬(表1)。

7月下旬的LA、FW、DW、LWC和LDMC较5月下旬分别增长了79%、88%、99%、71%和35%。说明梭梭同化枝形态性状在生长季内不同时期差异明显,反映了其对不同生境的适应对策,及其生长规律。

对5月下旬和7月下旬的梭梭同化枝进行形态性状相关分析得出,5月下旬LA与FW、DW和LWC呈显著( $P < 0.05$ )正相关关系(表2),7月下旬LA与FW、DW、LWC和LDMC均呈显著正相关关系(表3)。所以,当LA增大时,其他形态性状也增大,说明LA是梭梭同化枝最具代表性的形态性状。

表1 生长季内不同时期梭梭同化枝的形态性状

Table 1 Morphological characters of *Haloxylon ammodendron* assimilation twigs in different periods of the growth season

时间 Time	单同化枝面积 Area/ cm <sup>2</sup>	单同化枝鲜重 Fresh weight/g	单同化枝干重 Dry weight/g	同化枝含水量 Water content/%	同化枝干物质含量 Dry matter content/%	比叶面积 Specific leaf area/(cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )
5月下旬 End of May	CV=0.55 2.41±1.32	CV=0.58 0.08±0.05	CV=0.68 0.02±0.01	CV=0.19 7.45±4.15	CV=0.30 0.23±0.07	CV=0.30 74.78±8.31
7月下旬 End of July	CV=0.48 4.31±2.06	CV=0.48 0.15±0.07	CV=0.80 0.04±0.03	CV=0.47 11.99±5.68	CV=0.32 0.31±0.07	CV=0.44 73.43±8.26

表2 5月下旬梭梭同化枝形态性状的Pearson相关系数

Table 2 Pearson correlation coefficients for morphological characters in assimilation twigs of *Haloxylon ammodendron* at the end of May

形态性状 Morphological character	单同化枝 面积 Area	单同化枝 鲜重 Fresh weight	单同化枝 干重 Dry weight	同化枝含 水量 Water content	同化枝干物质 含量 Dry matter content	比叶面积 Specific leaf area
单同化枝面积 Area	1.00					
单同化枝鲜重 Fresh weight	0.67*	1.00				
单同化枝干重 Dry weight	0.87**	0.72*	1.00			
同化枝含水量 Water content	0.87**	0.69*	0.52*	1.00		
同化枝干物质含量 Dry matter content	0.35	0.02	0.84**	0.29	1.00	
比叶面积 Specific leaf area	0.31	0.01	0.03	0.01	-0.11	1.00

\*、\*\* 分别表示在0.05、0.01水平上显著相关。表3同。

\*, \*\* indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively; similarly for Table 3.

表 3 7 月下旬梭梭同化枝形态性状的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients for morphological characters in assimilation twigs of *Haloxylon ammodendron* at the end of July

形态性状 Morphological character	单同化枝 面积 Area	单同化枝 鲜重 Fresh weight	单同化枝 干重 Dry weight	同化枝含 水量 Water content	同化枝干物质 含量 Dry matter content	比叶面积 Specific leaf area
单同化枝面积 Area	1.00					
单同化枝鲜重 Fresh weight	0.91**					
单同化枝干重 Dry weight	0.61*	0.63*				
同化枝叶片含水量 Water content leaf	0.87**	0.98**	0.60*			
同化枝干物质含量 Dry matter content	0.87**	0.12	0.38	0.04		
比叶面积 Specific leaf area	0.02	0.22	0.23	0.12	-0.64	1.00

### 2.3 梭梭同化枝 $P_n$ 与环境因子的关系

本研究所测得影响  $P_n$  的环境因子主要有 PAR、 $T_a$  和 RH(表 4)。对生长季内不同时期梭梭同化枝环境因子与  $P_n$  做线性拟合,用  $F$  值检验有效性,得到 PAR- $P_n$ 、 $T_a$ - $P_n$  和 RH- $P_n$  的拟合曲线。5 月下旬  $P_n$  与 PAR 呈正相关关系( $P > 0.05$ ),7 月下旬  $P_n$  与 PAR 呈负相关关系( $P > 0.05$ ),5 月下旬  $P_n$  受 PAR 影响( $R^2 = 0.371$ )大于 7 月下旬( $R^2 = 0.268$ )(图 2)。

表 4 生长季内不同时期的环境因子

Table 4 Environmental factors in different periods of the growth season

时间 Time	光合有效辐射 PAR/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	大气温度 $T_a/^\circ\text{C}$	空气相对 湿度 RH/%
5 月下旬 End of May	1 246.87	25.5	33.24
7 月下旬 End of July	1 615.24	32.9	24.96

5 月下旬  $P_n$  与  $T_a$  呈负相关关系( $P > 0.05$ ),7 月下旬  $P_n$  与  $T_a$  也呈负相关关系( $P > 0.05$ )。5 月下旬  $P_n$  受  $T_a$  影响( $R^2 = 0.03$ )小于 7 月下旬( $R^2 = 0.04$ )。  $T_a$  升高时  $T_r$  增大,从而降低了  $P_n$ (图 3)。

5 月下旬  $P_n$  与 RH 呈正相关关系( $P > 0.05$ ),7 月下旬  $P_n$  与 RH 相关性不明显( $P > 0.05$ )。5 月下旬  $P_n$  受 RH 影响( $R^2 = 0.118$ )也大于 7 月下旬( $R^2 = 0.051$ )。由于 5 月下旬 RH 较高,7 月下旬  $T_a$  过高,蒸发量太大,大气中的水分大部分被蒸发(图 2)。

## 3 讨论与结论

### 3.1 生长季内不同时期梭梭同化枝光合生理特性和形态性状的相关性

光合作用是植物生长发育的基础,也是生产力构

成的最主要因素<sup>[18]</sup>。已有的研究表明, $P_n$  下降主要由气孔部分关闭和叶肉细胞活性下降等原因引起<sup>[19]</sup>,而在光合作用的气孔限制分析中, $C_i$  的变化方向是确定  $P_n$  变化的主要原因<sup>[20]</sup>。本研究中,5 月下旬和 7 月下旬梭梭同化枝  $P_n$  均呈双峰曲线。5 月下旬  $G_s$  降低时, $C_i$  也随着降低,而 7 月下旬  $G_s$  降低时, $C_i$  变化不明显。表明 5 月下旬  $P_n$  在中午前后的降低主要是气孔部分关闭引起的,而 7 月下旬  $P_n$  在中午前后降低可能是由细胞活性下降引起的。

叶片(同化枝)在生长季内随着营养物质的累积,其形态性状也不断变化<sup>[21]</sup>。叶片(同化枝)形态性状之间常会表现出一定的相关关系,如果两个性状之间的相关关系显著,那么至少这两个性状在一定程度上是可以预测的,在某些研究中可以选取具有代表性的形态性状<sup>[22]</sup>。在本研究中,LA 是 5 月下旬和 7 月下旬最具代表性的形态性状。5 月下旬 LA 和 FW 的变幅大于 7 月下旬,DW、LWC、LDMC 和 SLA 的变幅小于 7 月下旬。究其原因可能是在生长季初期 LA 生长较快,在生长季中后期 LA 生长已基本完成,营养物质仍在缓慢累积,梭梭同化枝可能将大部分营养物质用于构建保卫细胞或增加叶肉细胞密度。

任吉青等<sup>[3]</sup>指出,在物种水平上, $P_n$  与 LA、 $T_r$  与 LWC 呈显著正相关关系( $P < 0.05$ )。且 LA 可以决定植物吸收和转化太阳辐射的能力,进而影响植物光合作用<sup>[23]</sup>。LWC 可反映自然条件下植物受水分胁迫的程度,叶片缺水不仅影响叶绿素的合成,而且还可以加速已形成的叶绿素的分解,在一定范围内会直接影响叶片的光合能力<sup>[24]</sup>。而在本研究中,5 月下旬的  $P_n$  和  $T_r$  日均值小于 7 月下旬,5 月下旬 LA 和 LWC 的均值也小于 7 月下旬,在时间尺度上验证了任吉青等<sup>[3]</sup>的研究结果。由于 7 月下旬梭梭同化枝 LA 增大,



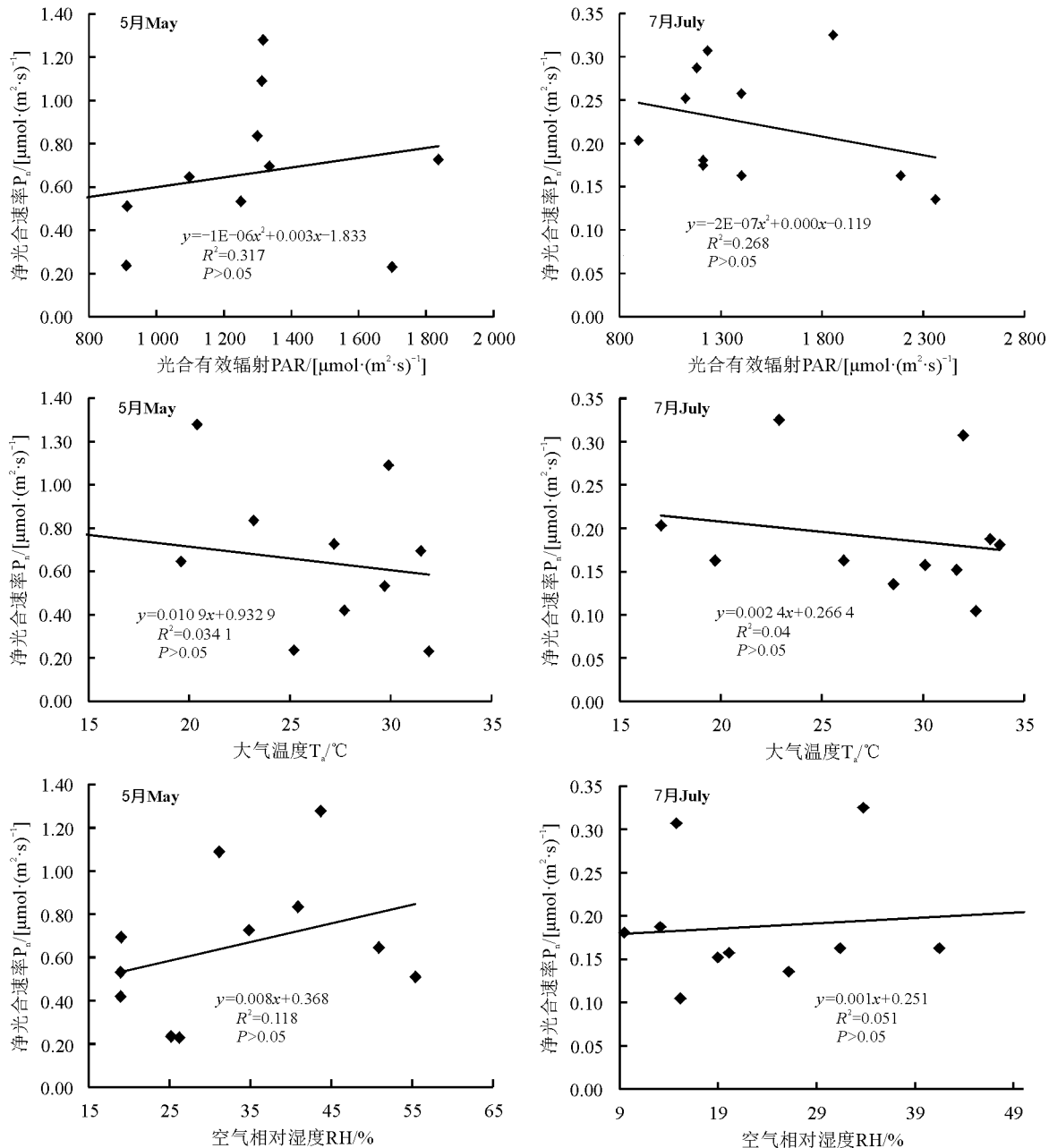


图2 生长季内不同时期环境因子与梭梭同化枝净光合速率的关系

Fig. 2 Relationships between environmental factors and photosynthetic and physiological characteristics in assimilation twigs of *Haloxylon ammodendron* at different periods of the growth season

LWC 增加, SWC 增多,  $T_a$  升高,  $T_r$  增加, 梭梭整体的水分代谢的速率加快。叶绿素含量增加, 吸收和转化太阳辐射的能力也随之增强, 最终使得梭梭同化枝的光合能力增强。

### 3.2 梭梭同化枝对生长季内不同时期环境的适应

环境因子主要通过长期作用于光合生理特性, 使得梭梭同化枝的营养物质不断累积, 资源配置不断优化, 最终形成反映环境适应性策略的形态性状<sup>[25-26]</sup>。梭梭同化枝  $P_n$  的大小是衡量植物光合作用能力强弱

的关键指标<sup>[27]</sup>, 生长季内不同时期对梭梭同化枝  $P_n$  起主导作用的环境因子有所差异<sup>[28]</sup>。在本研究中, 5月下旬  $P_n$  受 PAR 和 RH 的影响大于 7 月下旬, 7 月下旬  $P_n$  的主要受  $T_a$  的影响。由于各环境因子通过对梭梭同化枝  $P_n$  的作用, 从而影响营养物质的形成, 最后导致梭梭同化枝形态性状的变化。说明影响 5 月下旬梭梭同化枝生长的环境因子主要是 PAR 和 RH, 7 月下旬的主要是  $T_a$ 。

梭梭蒸腾作用消耗的水分大部分来自根系对土壤

水的吸收<sup>[29]</sup>。张晓艳等<sup>[14]</sup>证明,SWC 是调控梭梭蒸散的主导因子,苏培玺和严七娣<sup>[30]</sup>指出 SWC 是民勤绿洲梭梭生长的主要限制因子。本研究中,5 月下旬 SWC 小于 7 月下旬,与梭梭同化枝  $P_n$  和 LA 的变化具有同步性。说明 SWC 对生长季内不同时期梭梭同化枝光合生理特性和形态性状的变化均有重要影响。

通过分析梭梭同化枝对生长季内不同时期环境的适应性,本研究建议在 5 月下旬任意时刻对梭梭进行人工浇水,以增大 RH 和 SWC。由于湿润环境可以缓解高温对梭梭生长的不利影响<sup>[30-31]</sup>,建议在 7 月下旬的早晨或傍晚,对梭梭进行喷灌,既可减少水分的消耗,同时也可增加 RH 和 SWC。

## 参考文献 References:

- [1] 范晶,赵惠勋,李敏.比叶重及其光合能力的关系.东北林业大学学报,2003,31(5):37-40.  
Fan J,Zhao H X,Li M.The specific leaf weight and its relationship with photosynthetic capacity.Journal of Northeast Forestry University,2003,31(5):37-40.(in Chinese)
- [2] Tuittila E,Vasander H,Laine J.Sensitivity of C sequestration in reintroduced *Sphagnum sphagnum* to water-level variation in a Cutaway Peatland.Restoration Ecology,2004,12:483-493.
- [3] 任青吉,李宏林,卜海燕.玛曲高寒沼泽化草甸 51 种植物光合生理和叶片形态特征比较.植物生态学报,2015,39(6):593-603.  
Ren J Q,Li H L,Bu H Y.Comparison of physiological and leaf morphological traits for photosynthesis of the 51 plant species in the Maqu alpine swamp meadow.Chinese Journal of Plant Ecology,2015,39(6):593-603.(in Chinese)
- [4] 蒋高明,何维明.毛乌素沙地若干植物光合作用、蒸腾作用和水分利用效率种间及生境间差异.植物学报,1999,41(10):1114-1124.  
Jiang G M,He W M.Species and habitat variability of photosynthesis transpiration and water use efficiency of different plant species in Maowusu sand area.Acta Botanica Sinica,1999,41(10):1114-1124.(in Chinese)
- [5] 赵长明,魏小平,尉秋实,邓建明,陈栋梁,王根轩.民勤绿洲荒漠过渡带植物白刺和梭梭光合特性.生态学报,2005,25(8):1908-1913.  
Zhao C M,Wei X P,Wei Q S,Deng J M,Chen D L,Wang G X.Photosynthetic characteristics of *Nitraria tangutorum* and *Haloxylon ammodendron* in the ecotone between oasis and desert in Minqin, Region, County. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8):1908-1913.(in Chinese)
- [6] 郭自春,曾凡江,刘波,李尝君,张波.疏叶骆驼刺和多枝怪柳不同时期光合特性日变化及其与环境因子的关系.西北植物学报,2015,35(1):189-198.  
Guo Z C,Zeng F J,Liu B,Li C J,Zhang B.Photosynthetic characteristics *Alhagi sparsifolia* and of *Tamarix ramosissima* and the relevant environment factors in different periods.Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2015,35(1):189-198.(in Chinese)
- [7] 赵小仙,李毅,苏世平,白潇.3 个地理种群蒙古沙拐枣同化枝解剖结构及抗旱性比较.中国沙漠,2014,39(5):1293-1300.  
Zhao X X,Li Y,Su S P,Bai X.Drought resistance analysis based on anatomical structures of assimilating shoots of *Calligonum mongolicum* from three geographic populations.Journal of Desert Research,2014,39(5):1293-1300.(in Chinese)
- [8] 严昌荣,韩兴国,陈灵芝.北京山区落叶阔叶林优势种叶片特点及其生理生态特性.生态学报,2000,20(1):23-26.  
Yan C R,Han X G,Chen L Z.The relationship between the ecophysiological feature and leaf characteristics of some woody plants in Beijing mountain zone.Acta Ecologica Sinica,2000,20(1):23-26.(in Chinese)
- [9] 马婕,杨爱霞,马晓飞.甘家湖梭梭国家自然保护区退化梭梭的光合特性研究.干旱环境监测,2012,26(1):22-27.  
Ma J,Yang A X,Ma X F.Study on photosynthetic characteristics of degradation *Haloxylon* in Ganjiahu Haloxylon Forest National Nature Reserve.Arid Environmental Monitoring,2012,26(1):22-27.(in Chinese)
- [10] 李家善,苏培玺,张海娜,周紫娟,解婷婷.荒漠植物叶片水分和形态性状特征及其相互关系.植物生理学报,2013,49(2):153-160.  
Li J S,Su P X,Zhang H N,Zhou Z J,Xie T T.Characteristics and relationships of foliar water and leaf functional traits of desert plants.Plant Physiology Journal,2013,49(2):153-160.(in Chinese)

- [11] 沈亮,陈君,刘赛,徐荣,徐常青,刘同宁.脱水胁迫和光合日变化对梭梭和白梭梭叶绿素荧光参数的影响.应用生态学报,2015,26(8):2321-2328.  
Shen L,Chen J,Liu S,Xu R,Xu C Q,Liu T N.Influence of dehydration and diurnal variation on characteristics of chlorophyll fluorescence of leaves in *Haloxylon ammodendron* and *H. persicum*.Chinese Journal of Applied Ecology,2015,26(8):2321-2328.(in Chinese)
- [12] 康建军,赵文智,岳利军,赵明,郑颖. $K_2SiO_3$  促进梭梭生长并增强其抗旱性.草业科学,2015,32(10):1631-1640.  
Kang J J,Zhao W Z,Yue L J,Zhao M,Zheng Y. $K_2SiO_3$  promotes the growth and improves drought resistance of *Haloxylon ammodendron*.Pratacultural Science,2015,32(10):1631-1640.(in Chinese)
- [13] 马红梅,王锁民,张建全,张金林,岳利军,刘庭亮,王武成,柴琦.专用有机肥对荒漠植物梭梭的生长及耐旱性的影响.草业科学,2016,33(2):240-248.  
Ma H M,Wang S M,Zhang J Q,Zhang J L,Yue L J,Liu T L,Wang W C,Chai Q.The special organic fertilizer in improving the growth and drought tolerance of desert plant. *H. ammodendron*.Pratacultural Science,2016,33(2):240-248.(in Chinese)
- [14] 张晓艳,褚建民,孟平,郑宁,姚曾旺,王鹤松,姜生秀.环境因子对民勤绿洲荒漠过渡带梭梭人工林蒸散的影响.应用生态学报,2016,27(8):2390-2400.  
Zhang X Y,Chu J M,Meng P,Zheng N,Yao Z W,Wang H S,Jang S X.Effects of environmental factors on evapotranspiration characteristics of *Haloxylon ammodendron* plantation in the Minqin oasis-desert ecotone,Northwest China.Chinese Journal of Applied Ecology,2016,27(8):2390-2400.(in Chinese)
- [15] 张卫宾.古尔班通古特沙漠梭梭与白梭梭利用降雨的机制研究.石河子:石河子大学硕士学位论文,2011.  
Zhang W B.The study of rainfall use mechanism different of *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* in Gurbantonggut deser.Master Thesis,Shihezi,Shihezi University,2011.(in Chinese)
- [16] 张凯,韩永翔,司建华,韩海涛.民勤绿洲生态需水与生态恢复对策.生态学杂志,2006,25(7):813-817.  
Zhang K,Han Y X,Si J H,Han H T.Ecological water demand and ecological reconstruction in Minqin Oasis,Acta Ecologica Sinica,2006,25(7):813-817.(in Chinese)
- [17] 韩殿元,黄心渊,付慧.基于彩色通道相似性图像分割方法的植物叶面积计算.农业工程学报,2012,28(6):180-183.  
Han D Y,Huang X Y,Fu H.Measurement of plant leaf area based on image segmentation of color channel similarity.Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(6):180-183.(in Chinese)
- [18] 苏培玺,赵爱芬,张立新,杜明武,陈怀顺.荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征.西北植物学报,2003,23(1):11-17.  
Su P X,Zhao A F,Zhang L X,Du M W,Chen H S.Characteristic in photosynthesis,transpiration and water use efficiency of *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum* of desert species,Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2003,23(1):11-17.(in Chinese)
- [19] 许大全.光合作用气孔限制分析中的一些问题.植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.  
Xu D Q.Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis.Plant Physiology Communications,1997,33(4):241-244.(in Chinese)
- [20] 陈根云,陈娟,许大全.关于净光合速率和胞间  $CO_2$  浓度关系的思考.植物生理学通讯,2010,46(1):64-66.  
Chen G Y,Chen J,Xu D Q.Thinking about the relationship between net photosynthetic rate and inter-cellular  $CO_2$  concentration.Plant Physiology Communications,2010,46(1):64-66.(in Chinese)
- [21] Körner C,Farquhar G D,Wong S C.Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends.Oecologia,1991,88(1):30-40.
- [22] 潘沙.植物叶代谢生态指数和叶性状随环境梯度变化的研究.杭州:浙江大学博士学位论文,2014.  
Pan S.Variation in leaf metabolic ecological exponent and leaf traits along environmental gradients.PhD Thesis, Hangzhou: Zhejiang University,2014.(in Chinese)
- [23] 洪陈洁,林晗,洪伟,王珉,洪滔.不同品系福建山樱花叶功能性状研究.热带亚热带植物学报,2015,23(2):191-196.  
Hong C J,Lin H,Hong W,Wang M,Hong T.Leaf functional characteristics in different strains of *Prunus campanulata*.Journal of Tropical and Subtropical Botany,2015,23(2):191-196.(in Chinese)
- [24] 付晓玥.阿拉善荒漠植物叶片性状研究.呼和浩特:内蒙古大学硕士学位论文,2008.



- Fu X Y. Study on leaf traits of Alashan desert plants abstract. Master Thesis. Huhhot: Inner Mongolia University, 2012. (in Chinese)
- [25] 张锦春, 赵明, 张应昌, 徐延双. 灌溉植被梭梭、白刺光合蒸腾特性及影响因素研究. 西北植物学报, 2005, 25(1): 0070-0076.  
Zhang J C, Zhao M, Zhang Y C, Xu Y S. A research between photosynthetic, transpiration characteristics and impact of irrigated vegetation of *Haloxylon ammodendron* and *Nitraria tangutorum*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(1): 0070-0076. (in Chinese)
- [26] 杜晶, 赵成章, 宋清华, 史元春, 王继伟, 陈静. 祁连山北坡霸王枝一叶性状关系的个体大小差异. 植物生态学报, 2016, 40(3): 212-220.  
Du J, Zhao C Z, Song Q H, Shi Y C, Wang J W, Chen J. Plant size differences with twig and leaf traits of *Zygophyllum xanthoxylum* in the northern slope of Qilian Mountains. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 40(3): 212-220. (in Chinese)
- [27] 丁友芳, 张晓霞, 史玲玲, 张蕴薇, 杨富裕, 刘玉军. 葛根净光合速率日变化及其与环境因子的关系. 北京林业大学学报, 2010, 35(5): 132-137.  
Ding Y F, Zhang X X, Shi L L, Zhang W W, Yang F Y, Liu Y J. Diurnal change of net photosynthetic rates in *Pueraria lobata* and its relation with environmental factors. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 35(5): 132-137. (in Chinese)
- [28] 王建丽, 张永亮, 朱占林, 张鹏, 梁怀宇. 杂花苜蓿叶片光合生理特性. 草地学报, 2006, 14(2): 138-141.  
Wang J L, Zhang Y L, Zhu Z L, Zhang P, Liang H Y. Analysis on characteristics of leaf photosynthesis ecophysiological of *Medicago varia* cv. Gannong No.1. Acta Agrestia Sinica, 2006, 14(2): 138-141. (in Chinese)
- [29] 王健, 朱仲元, 宋小圆, 赵宏瑾. 浑善达克沙地土壤水热对黄柳蒸腾速率的影响研究. 干旱区资源与环境, 2015, 29(1): 77-82.  
Wang J, Zhu Z Y, Song X Y, Zhao H J. The effects of the soil temperature and moisture on the evapotranspiration of yellow willows in Hunshandak sand area. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(1): 77-82. (in Chinese)
- [30] 苏培玺, 严巧娣. C<sub>4</sub> 荒漠植物梭梭和沙拐枣在不同水分条件下的光合作用特征. 生态学报, 2006, 26(1): 75-82.  
Su P X, Yan Q D. Photosynthetic characteristics of C<sub>4</sub> desert species *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum* under different moisture conditions. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 75-82. (in Chinese)
- [31] Voronin P Y, Ivanova L A, Ronzhina D A. Structural and functional changes in the leaves of plants from steppe communities as affected by aridization of the Eurasian climate. Russian Journal of Plant Physiology, 2003, 50: 604-611.

(责任编辑 武艳培)

## 2018 年第 2 期《草业科学》审稿专家

安沙舟	包玉山	柴国华	柴琦	常文环	陈先江	崔霞	邓蕾
刁其玉	丁路明	董宽虎	董书伟	董云社	高永刚	郭良栋	何学青
侯扶江	黄琳凯	姜怀志	金樑	李成云	李纯斌	李金花	李胜利
李世雄	李祥妹	梁天刚	刘华梁	刘文献	刘志鹏	柳小妮	马飞
马红彬	任安芝	尚占环	邵涛	田沛	万云帆	王中华	翁秀秀
武高林	谢文刚	徐炳成	许立新	杨惠敏	于应文	张红香	张巨明
张世挺	张铁军	张微	张兴旭				

承蒙以上专家对《草业科学》期刊稿件的审阅, 特此表示衷心的感谢!