

5 个不同产地藿香叶片解剖结构与 光合特性比较研究

苏芸芸, 王康才*, 李 丽

(南京农业大学 园艺学院, 南京 210095)

摘 要:以 5 个不同产地的藿香为研究对象, 通过比较叶片解剖结构、光合特性, 为藿香在引进地的栽培技术制定提供理论依据。结果显示: (1) 不同产地藿香叶片栅栏组织均由 1 列长柱形细胞构成, 其叶片海绵组织细胞在 4~6 层之间, 并在叶片下表皮有较多的气孔和非腺毛, 叶片气孔多为卵圆形; 其中, 成都藿香气孔密度、直径最大, 非腺毛长度最长, 且叶绿素含量明显高于其它产地。 (2) 不同产地藿香的光饱和点 (LSP) 和光补偿点 (LCP) 分别在 688.67~1 244.56 和 19.42~73.62 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间, 表观量子效率 (AQY) 则为商丘藿香最高。 (3) 5 个产地的藿香光合日变化曲线均呈双峰型, 两个净光合速率 (P_n) 峰值点均出现在 10:00 和 16:00 左右, 14:00 左右均出现光合午休现象, 且均由气孔限制因素导致。研究表明, 各产地间藿香叶片解剖结构存在明显差异, 并在部分产地中, 藿香叶片形态结构与光响应特性存在一定的相关性; 成都藿香表现出较强的光环境适应性和光合能力, 可作为当地引种优先考虑对象。

关键词: 藿香; 叶片解剖结构; 光合特性

中图分类号: Q944.56; Q945.11

文献标志码: A

Study on Leaf Anatomical Structure and Photosynthetic Characteristics of *Agastache rugosa* from Different Areas

SU Yunyun, WANG Kangcai*, LI Li

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to provide the theoretical basis for introduction and cultivation, we compared the leaf anatomical structure, photosynthetic characteristics of *Agastache rugosa* from different areas. The results showed that: (1) the leaf palisade tissue compose of a long columnar cell, and the leaf spongy tissue with 4—6 layers, the lower epidermis has more stomata and non-glandular hairs, leaf stomata shape were mostly oval of *A. rugosa* from different areas. The *A. rugosa* from Chengdu had the largest stoma diameter, greatest stoma density, and the longest non-glandular, the chlorophyll contents were also significantly higher than other eares; (2) the light saturation point (LSP) and light compensation point (LCP) of *A. rugosa* from different areas between 688.67—1 244.56 and 19.42—73.62 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, apparent quantum yield (AQY) of *A. rugosa* from Shangqiu was the highest; (3) the diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) of different areas *A. rugosa* were both bimodal curves, which appeared peak at 10:00 and 16:00. And an obvious midday depression of photosynthesis appeared at 14:00, and the photosynthesis siesta influenced mostly by stomatal limitation factor. Research showed that: among the five *A. rugosa* areas, the leaf struc-

收稿日期: 2015-09-24; 修改稿收到日期: 2015-12-27

基金项目: 工信部藿香规范化与规模化生产基地建设项目 (2014)

作者简介: 苏芸芸 (1991—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事药用植物栽培与生理研究。E-mail: 2014104128@njau.edu.cn

* 通信作者: 王康才, 教授, 硕士生导师, 主要从事药用植物栽培与生理方面研究。E-mail: wangkc@njau.edu.cn

ture existed significance differences, In some areas, there was a correlation between the leaf morphology and the light response characteristics. In addition, *A. rugosa* cultivated in Sichuan showed a better ability to adapt to the light environment and photosynthetic capacity, can be introduced as a local priority object.

Key words: *Agastache rugosa*; leaf anatomical structure; photosynthetic characteristics

藿香 [*Agastache rugosa* (Fisch. et Mey) O. Kitze] 为唇形科藿香属植物, 全草均能入药, 别名有土藿香、排香草、大叶薄荷、山茴香等, 其性微温、味辛、入脾、肺、胃经, 有芳香健胃、清咳解暑等功效。同时, 藿香具有抑菌、增强机体免疫力, 对流行性感冒有较好的预防作用, 该植物是一种非常好的预防和治疗感冒的中药材^[1]。此外, 由于藿香挥发油具有浓郁的香味, 从藿香中提取的挥发油, 作为食用香料, 以及在香精香料行业、化妆品的调制中具有一定的开发利用前景^[2]。

藿香产地分布跨度大, 主产四川、江苏、河南、河北及东北等地。王冬梅等^[3]对 3 种不同产地的藿香挥发油成分比较发现, 各产地挥发油品质差异较大。经大田种植也发现不同产地藿香的产量存在差异性。植物的叶片是进行光合作用的主要器官, 其形态结构是植物一系列生理活动基础, 与植物的产量及品质有密切关系^[4]。有研究认为, 植物叶片是植物进化过程中对环境变化比较敏感且可塑性较大的器官, 环境变化常导致叶的厚度、叶表面气孔、表皮细胞、叶肉栅栏组织、海绵组织等形态解剖结构的响应与适应^[5]。同时, 植物叶表皮的解剖结构在一定程度上能反映出类群间的关系, 具有重要的分类学意义^[6]。近年来, 许多研究认为植物叶片解剖结构与光合特性存在密切关系。如王康才等^[7]对江苏地区 3 个居群细柱五加叶片显微结构及光合特性研究发现, 不同居群细柱五加叶片形态结构与光响应特性有一定相关性, 如汤山居群叶片色深, 气孔密度大, 其光饱和点、光补偿点均高于其他; 宝华山居群叶片色浅, 气孔密度小, 其光补偿点、光饱和点较其它居群低。杨江山等^[8]发现不同樱桃品种成龄叶片

的气孔密度、栅栏组织与海绵组织比值均对其净光合速率有影响。本试验从不同产地藿香叶片结构入手, 主要研究其叶片结构以及光合特性的差异性, 为藿香品种选育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

藿香的种子分别引自商丘、成都、长春、安国、邯郸 5 个产地, 其种子均为长卵圆形、棕色, 千粒重在 0.438 2~0.486 9 g 之间, 采集信息见表 1。经南京农业大学王康才教授鉴定均为唇形科藿香的种子。选择各产地饱满、大小均一的藿香种子, 于 2015 年 4 月种植于南京农业大学园艺学院日光温室内, 水肥管理一致。进行叶片解剖结构观察及光合特性测定时, 每个产地均选择生长良好、大小基本一致的健康植株各 5 株, 每株选择大小基本一致的顶部生长叶片。

1.2 方法

1.2.1 叶片显微结构观察 2015 年 8 月上旬, 于晴天上午将采集自 5 个产地藿香植株的成熟叶片装入冰盒保鲜, 分别撕取下表皮制作徒手切片, 在显微镜下观察组织结构, 并随机选取视野观察并计数叶片气孔密度, 测量气孔大小以及非腺毛的长度。

1.2.2 叶绿素含量测定 叶绿素、类胡萝卜素含量采用李合生的方法测定^[9]。

1.2.3 光响应曲线及其特征参数测定 光响应曲线测定于 7 月中旬、晴天早上 9:00~11:00 进行, 选取不同产地生长良好的藿香顶部叶片, 使用美国 Li-COR 公司的 Li-6400 便携式光合仪测定。选择 Li-6400 红蓝光源调控叶室光合有效辐射 (*PAR*), 在

表 1 藿香种子采集地信息
Table 1 The collection sites information of *A. rugosa* seed

取样地点 Collection site	经度 Longitude(E)	纬度 Latitude(N)	海拔 Altitude/m	原产地气候 The climate in original region
商丘 Shangqiu	115°33′38.5″	34°24′16.9″	50.3	暖温带半湿润大陆性季风气候 Sub-humid warm temperate continental monsoon climate
成都 Chengdu	103°55′9.12″	30°32′51.7″	507.4	亚热带季风气候 Subtropical monsoon climate
长春 Changchun	125°23′51.7″	43°48′46.1″	215.7	温带大陆性季风气候 Warm temperate continental monsoon climate
安国 Anguo	115°17′33.7″	38°24′51.1″	34	暖温带半湿润大陆性季风气候 Sub-humid warm temperate continental monsoon climate
邯郸 Handan	114°34′48.3″	36°36′30.9″	59.5	暖温带半湿润大陆性季风气候 Sub-humid warm temperate continental monsoon climate

0、20、50、80、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 500、1 800、2 000 和 2 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强梯度条件下测定净光合速率(P_n)。 P_n 、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)等参数由仪器直接测得,再根据 P_n -PAR 回归方程得出光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP),以及利用 0~200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 低光强下的 P_n -PAR 直线回归求得斜率即为表观量子效率(AQY)。

1.2.4 叶片光合日变化测定 光合日变化测定在 7 月 19 日~7 月 20 日期间晴天 8:00~18:00 自然条件下进行。观测过程中为了保持其他环境因子相对稳定,将叶温设置为 30 $^{\circ}\text{C}$ ~35 $^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度(RH)设定在 60%左右,参比室内 CO_2 浓度稳定在 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,测量指标包括净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等。每 2 h 测定 1 次,每次固定测量标记的叶片,重复 3 次,求各观测值平均值。

1.2.5 数据分析 采用 Excel 2003 和 SPSS 10.0 软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同产地藿香叶片结构的特征比较

不同产地藿香叶片均有明显的栅栏组织和海绵组织,上表皮细胞下均为 1 列长柱形栅栏组织细胞,且排列紧密;下表皮细胞之上均为海绵组织细胞,各产地藿香叶片海绵组织细胞在 4~6 层之间,细胞形状不规则且排列疏松。不同产地藿香叶片均表现为下表皮气孔、非腺毛数较多,腺毛数较少。叶片气孔多为卵圆形(图 1)。表 2 显示,不同产地藿香叶片之间的的气孔直径、密度差异显著。气孔直径大小表现为成都藿香>邯郸藿香>商丘藿香>安国藿香>长春藿香;气孔密度则以成都藿香最大,商丘藿香最小。各产地藿香叶片非腺毛的长度在 70~200 μm 左右,非腺毛细胞数目为 1~4 个之间。其中,长春产地的非腺毛最短且细胞个数最少(1~2 个),成都产地的非腺毛最长,细胞个数 2~4 个。此外,在藿香叶片的解剖结构中,部分产地叶肉细胞间隙之间可见浅黄色的油滴。

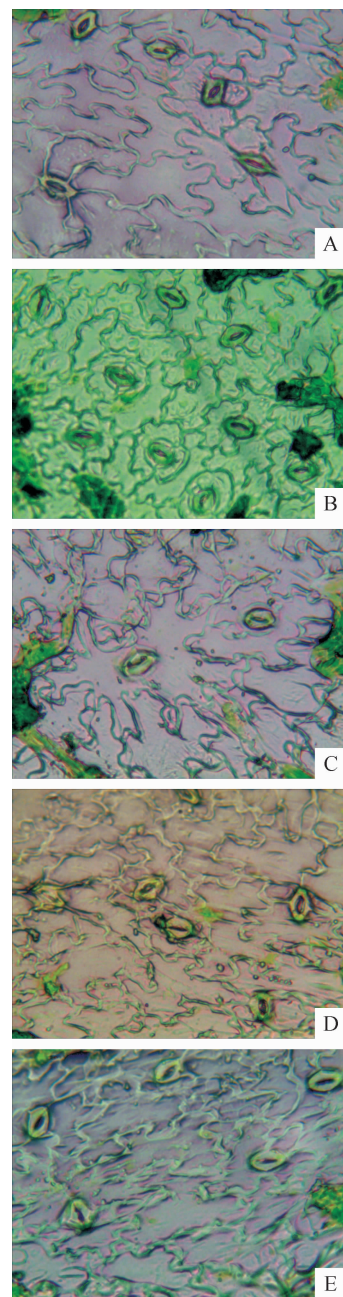
2.2 不同产地藿香叶片光合色素含量比较

叶绿素在光合作用的光吸收中起核心作用,在一定的范围内,植物叶绿素含量越高,其光合作用能力也较强。由表 3 可以看出,不同产地藿香叶片中叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)的含量差异显著,均表现为:成都藿香>邯郸藿香>商丘藿香>安国

藿香>长春藿香;藿香叶片类胡萝卜素(Car)含量及叶绿素 a/b(Chl a/b)值在不同产地间也存在显著差异,而均表现为安国藿香最大,长春藿香最小。

2.3 不同产地藿香叶片光响应曲线及其特征参数比较

2.3.1 光响应曲线 5 个产地藿香光响应拟合曲线的变化趋势基本一致(图 2)。其中,当光合有效



A. 商丘;B. 成都;C. 长春;D. 安国;E. 邯郸

图 1 不同产地藿香叶片气孔显微结构, $\times 40$

A. Shangqiu; B. Chengdu; C. Changchun;

D. Anguo; E. Handan

Fig. 1 Leaf stomatal microstructure of *A. rugosa* from different areas, $\times 40$

表 2 不同产地藿香叶片气孔及纵切面显微结构差异

Table 2 Differences of leaf stomatal characters and microscopical longitudinal sections of *A. rugosa* from different areas

产地 Area	气孔 Stomata		非腺毛 Non glandular hair		纵切面特征 Characteristic of longitudinal section		备注 Remark
	直径 Diameter / μm	密度 Density /(个/ mm^2)	长度 Length / μm	细胞数 Cell number	海绵组织层数 Layers of spongy tissue	栅栏组织层数 Layers of palisade tissue	
商丘 Shangqiu	23.88±2.93b	62.16±3.06c	101.56±29.97bc	1~4	5~6	1	部分产地藿香叶肉细胞间隙之间可见浅黄色的油滴 Pale yellow oil drops can be found in intercellular space of <i>A. rugosa</i> from some areas
成都 Chengdu	27.24±1.25a	88.82±0.88a	205.22±13.26a	2~4	5~6	1	
长春 Changchun	18.91±1.35d	63.24±1.47c	77.73±12.17d	1~2	4~5	1	
安国 Anguo	21.75±1.64c	80.39±4.75b	115.63±28.50b	2~3	4~5	1	
邯郸 Handan	25.72±2.67ab	65.00±0.88c	91.15±13.49cd	2~3	4~5	1	

注:同列数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$);下同。
Note:The different letters followed with the data mean in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same as below.

表 3 不同产地藿香叶片光合色素含量比较

Table 3 Comparison of photosynthetic pigment contents of *A. rugosa* leaves from different areas/(mg/g)

产地 Area	叶绿素 Chlorophyll				类胡萝卜素 Car
	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 a+b Chl a+b	叶绿素 a/b Chl a/b	
商丘 Shangqiu	1.45±0.08ab	0.42±0.02a	1.87±0.09ab	3.45±0.15ab	0.27±0.03c
成都 Chengdu	1.62±0.14a	0.48±0.03a	2.10±0.17a	3.37±0.03b	0.31±0.02b
长春 Changchun	1.17±0.10c	0.35±0.05b	1.52±0.15c	3.34±0.21b	0.22±0.22d
安国 Anguo	1.37±0.05b	0.36±0.02b	1.73±0.07bc	3.81±0.11a	0.35±0.04a
邯郸 Handan	1.50±0.13ab	0.44±0.03a	1.94±0.16a	3.41±0.09ab	0.34±0.03a

辐射 PAR 在 $0\sim 500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,不同产地藿香的 P_n 随着光合有效辐射的增强均呈直线上升趋势;当光合有效辐射 PAR 增加到 $688\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,商丘藿香的 P_n 最先达到最大值(光饱和点),随后安国和邯郸藿香在 PAR 为 $810\sim 880\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间时也依次达到光饱和点,最后长春和成都藿香在 PAR 超过 $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时依次达到光饱和点;当 PAR 在 $1\ 500\sim 2\ 500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间时,不同产地藿香的光响应曲线走势平缓,均出现了光抑制现象。同时,随着 PAR 的增加,在相同的光强条件下,藿香累积的净光合产物基本表现为成都明显高于其它产地,其次为商丘藿香;安国藿香净光合产物累积量在 PAR 低于 $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时高于邯郸藿香,而当 PAR 高于 $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时反而低于邯郸藿香;5 个产地藿香当中,长春藿香累积的净光合产物最少。

2.3.2 光响应特征参数 LCP 和 LSP 均可作为判断植物对光能利用能力大小的指标。LCP 值越小表示植物对弱光的利用能力越高,而 LSP 值越大表示对强光利用能力越高。由表 4 可以看出:成都产地的藿香光饱和点 LSP 值最大且光补偿点 LCP 值最小,说明成都产地藿香对光的生态适应能力强于

其它产地藿香;相对而言,邯郸产地藿香 LSP 值较小,LCP 值较大,说明该产地对光的利用范围较其他产地窄。表观量子效率(AQY)是光合作用中光能转化最大效率的一种度量,可以正确地反映光合机构机能的变化,也可以反映叶片对弱光的利用能力^[10],其值越大,表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体越多,利用弱光的能力越强。表 4 显示:藿香 AQY 值以商丘产地最大,成都产地次之,长春产地最小,说明商丘、成都两个产地较其他 3 个产地藿香对弱光利用能力较强。另外,不同产地藿

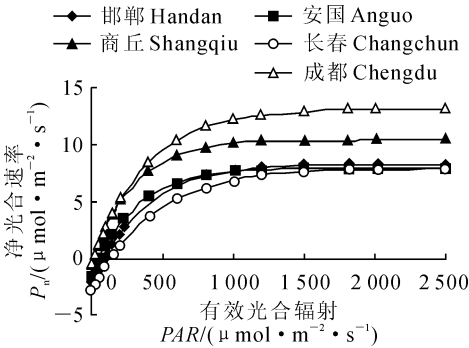


图 2 不同产地藿香光响应曲线
Fig. 2 Light-response curves of photosynthesis of *A. rugosa* from different areas

香暗呼吸速率(R_d)大小排列顺序为:长春藿香>邯郸藿香>安国藿香>商丘藿香>成都藿香,说明长春藿香的暗呼吸作用最强,成都藿香暗呼吸作用最弱。可见,成都藿香对光环境的生态适应性强,光能利用率高,而呼吸消耗少,净光合产物累积多,而长春藿香则表现相反。

2.4 不同产地藿香叶片光合气体交换参数日变化特征比较

2.4.1 净光合速率 由图 3,A 可以看出:5 个产地藿香的净光合速率(P_n)日变化均呈现出了明显的‘双峰型’。两个峰值点分别出现在 10:00 和 16:00 左右,且均表现出第一个峰值高于第二个峰值;同时,5 个产地藿香均在 14:00 左右出现‘午休’现象。其中,在整个日变化过程中,在上午 8:00~12:00 期间,各产地藿香 P_n 均表现出成都产地最大,长春产地最小,而其它 3 个产地间差异不显著,说明成都产

地藿香可以较其它产地藿香更好地利用上午光能进行光合作用。在下午 14:00~18:00,邯郸产地藿香 P_n 均比其它 4 个产地小,说明其经过‘午休’后的光合效能最低,而其他产地藿香可以较快地从‘午休’中恢复过来,从而利用下午时间继续进行相对较强的光合作用^[11]。

2.4.2 气孔导度 气孔导度(G_s)指植物气孔传导 CO_2 和水分的能力,其通过调控 CO_2 和水分的交换来影响植物的净光合速率和蒸腾速率^[12]。不同产地藿香 G_s 日变化曲线趋势为基本一致‘双峰型’(图 3,B)。其中,各产地藿香 G_s 先在 10:00 出现第一个峰高值,后在 10:00~14:00 均呈下降趋势;由于正午过后,温度升高,叶片气孔趋于关闭,各产地藿香 G_s 至 14:00 左右出现全天最低值;在 14:00~18:00 之间,5 个产地藿香 G_s 表现出先升高后降低的趋势,并在 16:00 出现第二个峰高值。

表 4 不同产地藿香光响应参数比较

Table 4 Comparison of light-response parameters of *A. rugosa* from different areas

产地 Area	光饱和点 LSP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 LCP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 R_d /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 ΔQY /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
商丘 Shangqiu	688.67±20.00d	28.19±0.86d	0.88±0.20d	0.040±0.005a
成都 Chengdu	1244.56±49.48a	19.42±0.30e	0.59±0.06e	0.037±0.004b
长春 Changchun	1023.95±38.66b	73.62±1.74a	2.77±0.27a	0.024±0.004d
安国 Anguo	814.03±58.31c	39.13±0.75c	1.53±0.22c	0.031±0.003c
邯郸 Handan	876.11±23.68c	68.00±0.06b	2.63±0.57b	0.031±0.006c

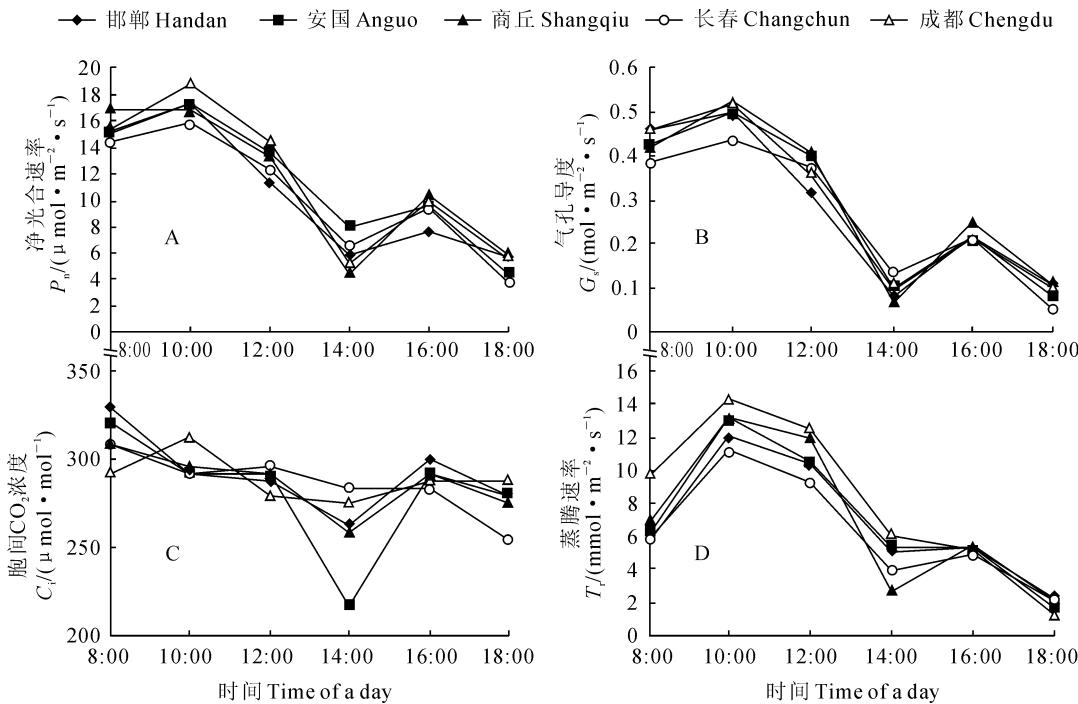


图 3 不同产地藿香叶片光合气体交换参数日变化特征

Fig. 3 The diurnal variation of gas exchange parameters for *A. rugosa* from different areas

2.4.3 胞间 CO_2 浓度 由图 3,C 可以看出,各产地藿香胞间 CO_2 浓度(C_i)整体上市间变化幅度较小而比较接近。在上午 8:00~12:00,各产地藿香 C_i 除成都产地表现为先升高后降低状态外,其他产地整体表现为下降趋势。同时,只有成都藿香表现出明显的‘双峰型’变化趋势。在 14:00 时,部分产地藿香 C_i 均出现最低值,并以安国藿香 C_i 值最小。

2.4.4 蒸腾速率 不同产地藿香的蒸腾速率(T_r)日变化曲线表现出与 P_n 一致的‘双峰’型(图 3,D),并分别在 10:00 和 16:00 左右出现两个峰值点;在 8:00~10:00,成都产地藿香 T_r 明显高于其他产地,其他 4 个产地之间差异不显著,说明此阶段成都藿香对水分运输和调节的能力高于其他产地藿香,同时也说明了此阶段成都藿香需水量更大;5 个产地藿香 T_r 均在 14:00 出现低谷点,可能是通过中午的部分气孔关闭来避免水分的过度散失和光合器官的过分破坏,也可能是对叶肉光合活性(如 RUBP 羧化酶活性)降低或光、暗呼吸增高引起胞间 CO_2 浓度升高的响应^[13]。

3 讨 论

3.1 不同产地藿香叶片结构与光响应特性的关系

叶是植物进行同化和蒸腾作用的主要器官,与周围环境有着密切的关系,它在适应环境条件的过程中,其形态结构及生理方面均发生相应的变化,以叶的结构变化最为明显^[14]。本研究发现部分产地藿香叶片形态结构与光响应特性存在一定的相关性。主要表现为:成都藿香的气孔直径最大、净光合速率最高,而长春藿香气孔直径最小、净光合速率最低,说明藿香净光合速率可能与气孔大小有关。同时,商丘藿香的气孔密度最小,其光饱和点、光补偿点均低于其他 4 个产地藿香,说明气孔密度也可能对光合参数的变化有一定的影响。此外,长春藿香的气孔直径较小,其气孔导度在上午 8:00~10:00 均低于其他 4 个产地藿香,说明藿香的气孔导度可能与气孔的直径、密度相关。

单位质量的叶片中较高的总叶绿素含量和较低的叶绿素 a/b 值表明样品叶绿体中光系统 II 捕光复合体(LCH II)含量较多,这有利于植株吸收其生长环境中的有限光能,是植物对弱光环境的生态适应^[15]。本研究结果表明,成都产地藿香叶绿素含量最高、而叶绿素 a/b 值相对最小,说明成都产地的藿香较其它产地利用弱光能力更强,出现这一现象可

能与原产地气候对其影响有关,由于成都与现栽培地(南京)均属于亚热带季风气候,因而表现出较强的适应能力。同时,不同产地藿香叶片光合特性的差异可能与藿香种子引种的原产地的经纬度(表 1)有关,如长春产地的经纬度与现栽培地经纬度($118^{\circ}50'45.6''$, $32^{\circ}2'15.7''$)相差较远,即现栽培地的生长环境与原产地差异较大,这也可能是导致长春产地藿香较其它产地藿香光合能力低的原因之一。

3.2 不同产地藿香光合日变化规律

本研究中不同产地藿香的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率日变化曲线均呈明显的‘双峰型’,两个峰值点分别在 10:00 和 16:00 点左右,14:00 左右均出现光合‘午休’现象。一般引起植物光合午休的外界原因是高光强、高温和低湿^[16],可分为气孔限制型和非气孔限制型 2 类。前者主要是由于叶片气孔关闭,光合作用气体交换受到限制,导致胞间 CO_2 浓度不足,植物没有充足的碳源进行光合作用,表现为气孔限制值升高和胞间 CO_2 浓度降低。后者主要是叶肉细胞光合能力下降造成的,表现为气孔限制值下降和胞间 CO_2 浓度升高^[17]。本研究发现,5 个产地藿香表现出‘午休’的同时,伴随着蒸腾速率 T_r 、气孔导度 G_s 、胞间 CO_2 浓度 C_i 值均降低,说明 5 个产地的藿香出现光合‘午休’的可能是由气孔限制因素引起的。

3.3 不同产地藿香对光照强度的生态适应性

植物光合作用的本质是将光能转化为化学能贮存于有机体中,对光能的利用率反映了其光合能力的大小。光补偿点(LCP)、表观量子效率(AQY)和光饱和点(LSP)是植物利用光能的重要参数,LCP 反映了植物克服自身同化作用所需的最低光照强度,AQY 反映了其对弱光的利用能力,LSP 反映了其对强光的利用能力^[18]。LCP 较低、LSP 较高的植物对光环境的适应性强,而 LCP 高、LSP 低的植物对光强的适应范围较窄^[19]。本研究表明,成都产地藿香的 LCP 最低、LSP 最高,较其它产地藿香对光环境的适应性更强。鉴于其对光照强度的生态适应规律,在现栽培地选择引种时,可优先考虑选择成都产地藿香进行栽培。此外,5 个产地藿香的 LSP 和 LCP 分别在 $688.67 \sim 1\,244.56$ 和 $19.42 \sim 73.62 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,说明藿香对光照具有较广的适应能力,生产中可选择在较强的光环境下栽培,以增加其光合产物积累,从而获得高产。

参考文献:

- [1] 刘存芳. 芳香植物藿香的开发与应用现状[J]. 内江科技, 2010, **31**(2): 29-29.
LIU C F. The development and application status of aromatic plants[J]. *Neijiang Keji*, 2010, **31**(2): 29-29.
- [2] 白卫东, 李晓珺, 曹龙辉. 我国藿香油的研究状况与发展思考[J]. 中国调味品, 2015, **40**(1): 119-122.
BAI W D, LI X J, CAO L X. Research status and development consideration of patchouli oil in China[J]. *China Condiment*, 2015, **40**(1): 119-122.
- [3] 王冬梅, 杨彼得, 王发松, 等. 藿香挥发油化学成分分析及其化学生态型的探讨[J]. 中草药杂志, 2005, **36**(9): 1 302-1 303.
WANG D M, YANG B D, WANG F S, *et al.* Analysis of chemical composition of volatile oil and ecological chemistry discussion[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2005, **36**(9): 1 302-1 303.
- [4] 崔国文, 马春平. 紫花苜蓿叶片形态结构及其与抗寒性的关系[J]. 草地学报, 2007, **15**(1): 70-75.
CUI G W, MA C H P. Research on leaf morphology and cold resistance of Alfalfa[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2007, **15**(1): 70-75.
- [5] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学通讯, 2005, **22**(S1): 118-127.
LI F L, BAO W K. Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2005, **22**(S1): 118-127.
- [6] 陈严平, 何晓燕, 杨 芳, 等. 云南 10 个居群岩白菜叶片的比较解剖研究[J]. 云南大学学报, 2009, **31**(S1): 430-435.
CHEN Y P, HE X Y, YANG F, *et al.* Comparative study on leaf anatomy of 10 *Bergenia purpurascens*'s populations from Yunnan[J]. *Journal of Yunnan University*, 2009, **31**(S1): 430-435.
- [7] 王康才, 王立会, 汤兴利, 等. 江苏地区 3 个居群细柱五加叶片显微结构及光合特性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2011, **38**(5): 651-655.
WANG K C, WANG L H, TANG X L, *et al.* Leaf morphology and photosynthetic characteristics of different populations of *Acanthopanax gracilistylus* in Jiangsu Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2011, **38**(5): 651-655.
- [8] 杨江山, 常永义, 种培芳. 樱桃不同节位叶片光合特性与解剖特征比较研究[J]. 果树学报, 2005, **22**(4): 323-326.
YANG J SH, CHANG Y Y, ZHONG P F. Studies on the photosynthetic characteristics of leaves at different node positions and their comparative anatomy of sweet cherry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2005, **22**(4): 323-326.
- [9] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134.
- [10] 张永霞, 李国旗, 张琦. 不同遮荫条件下罗布麻光合特性的初步研究[J]. 西北植物学报, 2007, **27**(12): 2 555-2 558.
ZHANG Y X, LI G Q, ZHANG Q. The preliminary research on photosynthetic characteristics of *Apocynum venetum* under different Shading [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2007, **27**(12): 2 555-2 558.
- [11] 邱佳妹, 王康才, 段云晶, 等. 麦冬、山麦冬叶片解剖结构与光合特性研究[J]. 西北植物学报, 2014, **34**(4): 727-732.
QIU J M, WANG K C, DUAN Y J, *et al.* Study on leaf morphology and photosynthesis characteristics of *Ophiopogon japonicus* and *Liriope spicata*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2014, **34**(4): 727-732.
- [12] 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): 1 468-1 477.
LIU Y H, JIA ZH K, SHI J A, *et al.* Daily dynamics of photosynthesis in alfalfa varieties under dry farming conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, **26**(5): 1 468-1 477.
- [13] 许大全. 光合作用研究进展: 从分子机理到绿色革命[J]. 植物生理学报, 2001, **22**(2): 97-108.
XU D Q. Progress in photosynthesis research: from molecular mechanisms to green revolution[J]. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 2001, **22**(2): 97-108.
- [14] 苏印泉, 张军侠. 10 种茶树叶片比较解剖学及与抗性关系的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, **13**(4): 1-8.
SU Y Q, ZHANG J X. Study on comparative anatomy and relationship with resistance of tea blades of 10 species[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1997, **13**(4): 1-8.
- [15] 张力文, 钟国成, 张 利, 等. 5 种鼠尾草属植物光合作用-光响应特性研究[J]. 草业学报, 2012, **21**(2): 70-76.
ZHANG L W, ZHONG G CH, ZHANG L, *et al.* A study on photosynthesis and photo-response characteristics of three *Salvia* species[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, **21**(2): 70-76.
- [16] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [17] 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.
XU D Q. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis[J]. *Plant Physiology Communications*, 1997, **33**(4): 241-244.
- [18] 钟国成, 张力文, 张 利, 等. 不同叶型丹参光合特性研究[J]. 草业学报, 2011, **20**(4): 116-122.
ZHONG G C, ZHANG L W, ZHANG L, *et al.* A study on photosynthetic characteristics of different *Salvia miltiorrhiza* varieties [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, **20**(4): 116-122.
- [19] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 168-170.

(编辑: 裴阿卫)