

# 三色堇花期光合日变化特性研究

杜晓华, 刘会超, 袁少寒

(河南科技学院 园林学院, 河南 新乡 453003)

**摘要:** 以三色堇 4 个不同来源的品种 229-18(酒泉)、EP1(上海)、ZMY2-1(郑州)、08-H2(荷兰)为试材, 5 月份在华北地区, 利用 LI-6400 便携式光合作用系统对花期叶片光合日变化特性进行了比较研究。结果表明, 4 个三色堇品种的叶片净光合速率( $P_n$ )的日变化均呈双峰曲线, 且最高峰均出现在 10:00; 中午时段出现午休现象, EP1 和 08-H2 在 12:00, 而 ZMY2-1 在 13:00, 229-18 在 14:00。 $P_n$  是多种因子综合作用的结果, 其中光合有效辐射(PAR)、气温( $T_a$ )和相对湿度(RH)分别通过影响气孔导度(Cond)和蒸腾速率( $T_r$ )而影响  $P_n$ 。08-H2 品种的  $P_n$ 、 $T_r$  和光能利用率(SUE)都显著高于其他品种, 显示出较高的光合能力和需水特点。

**关键词:** 三色堇; 净光合速率; 蒸腾速率

中图分类号: S681.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-3268(2011)04-0120-07

## Study on the Diurnal Variation Characteristics of Photosynthesis in Florescence of Pansy

DU Xiao-hua, LIU Hui-chao, YUAN Shao-han

(School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** The diurnal variation characteristics of photosynthesis of 4 *Viola tricolor* L. cultivars (229-18, EP1, ZMY2-1 and 08-H2), which were introduced from Jiuquan, Shanghai, Zhengzhou and Dutch respectively, were investigated by LI-6400 portable photosynthesis tester in north China region in May. The main results were as following: the curves of diurnal variation of net photosynthesis rate of leaves from 4 *Viola tricolor* L. cultivars had two peaks and the higher peaks occurred at 10:00, and the value values of net photosynthesis rate( $P_n$ ) of EP1 and 08-H2 appeared at 12:00, but ZMY2-1 and 229-18 at 13:00 and 14:00 respectively; the  $P_n$  of *Viola tricolor* L. was affected by many factors including the photosynthetically active radiation(PAR), temperature( $T_a$ ) and relative humidity(RH) which could affect  $P_n$  through the stomata conductance(Cond) and transpiration rate( $T_r$ ); the  $P_n$ ,  $T_r$  and sunlight use efficiency(SUE) of 08-H2 were significantly higher than those of other cultivars, and 08-H2 showed higher photosynthetic capability and water demand characteristics.

**Key words:** *Viola tricolor* L.; Net photosynthesis rate; Transpiration rate

三色堇(*Viola tricolor* L.)是堇菜科堇菜属多年生草本花卉, 常作 2a 生栽培, 别名蝴蝶花、鬼脸花、猫儿脸、人面花等<sup>[1]</sup>。具有花色丰富、花期长、耐

低温等特点, 是世界著名早春花卉<sup>[2]</sup>。近年来我国各地广泛引种栽培, 其在城市绿化美化中应用广泛。然而由于我国三色堇的引进和研究较晚, 目前有关

收稿日期: 2010-10-10

基金项目: 河南科技学院博士科研启动金(7027)

作者简介: 杜晓华(1972-), 男, 陕西岐山人, 讲师, 博士, 主要从事园林植物种质资源研究。E-mail: duxiaohua0124@sina.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

三色堇的研究较少,且主要集中在育苗技术<sup>[3-4]</sup>、遗传育种<sup>[5-7]</sup>、适应性研究<sup>[8-9]</sup>等方面。而有关三色堇光合特性的研究目前很少见报道。光合作用是植物生长发育的物质基础,三色堇花期较长,花期的叶片光合作用不但影响花期长短和花数等观赏价值,而且对结实率也会产生影响。因此,对三色堇花期光合特性的研究具有重要意义。为此,利用 LI-6400 光合作用系统,对4个品种三色堇的光合日变化特性及其影响因子进行研究,以期对三色堇的栽培提供指导,并为品种选育提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 自然概况

试验设在新乡市河南科技院校内试验地进行,地处北纬 $35^{\circ}18'$ ,东经 $113^{\circ}54'$ ,海拔70 m。气候属暖温带大陆性季风型气候,年均气温 $14.4^{\circ}\text{C}$ ;7月最热,平均 $27.3^{\circ}\text{C}$ ;1月最冷,平均 $0.2^{\circ}\text{C}$ ;极端最高气温 $42.7^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-21.3^{\circ}\text{C}$ 。年均降雨656.3 mm,最大降雨量1168.4 mm,最小降雨量241.8 mm,年蒸发量1748.4 mm。6—9月份降水量最多,为409.7 mm,占全年降水的72%,冬春季风力强盛而频繁,全年最多风向为东北风,年均风速为 $2.45\text{ m/s}$ <sup>[10]</sup>。

### 1.2 材料

试验材料为229-18、EP1、ZMY2-1和08-H2 4个三色堇品种,分别引自我国的酒泉、上海、郑州和荷兰的阿姆斯特丹,由河南科技学院园林学院园林植物种质资源与生物技术实验室提供。

### 1.3 方法

2010年5月中旬,对处于盛花期的4个三色堇品种各选择3株长势一致、开花的正常植株,每株选取叶位和叶龄相对一致且无病虫害的功能叶,采用 LI-6400 便携式光合系统,开放气路,选晴天的8:00—18:00,测定叶片净光合速率(net photosynthesis rate,  $P_n$ )、蒸腾速率(transpiration rate,  $Tr$ )、气孔导度(stoma conductivity,  $Cond$ )、细胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $\text{intercellular CO}_2$  concentration,  $C_i$ )、叶温(leaf temperature,  $T_l$ )、气温(air temperature,  $T_a$ )、光合有效辐射(photosynthetically active radiation,  $PAR$ )、空气相对湿度(relative humidity of atmosphere,  $RH$ )等环境参数。每1 h测定1次,测定在不离体、不损害叶片生理功能的情况下进行。

### 1.4 数据处理

参考文献[11]的方法计算以下3个指标:①气孔限制值, $L_s = (1 - C_i/C_a) \times 100\%$ ;②光能利用效

率(sunlight use efficiency,  $SUE$ ) ( $\text{mol/mol}$ ) =  $P_n/PAR$ ;③水分利用效率(water use efficiency,  $WUE$ ) ( $\mu\text{mol/mol}$ ) =  $P_n/Tr$ 。

参照罗树伟等<sup>[12]</sup>的方法,分别以三色堇  $Cond$  ( $X_1$ )、 $C_i$  ( $X_2$ )、 $Tr$  ( $X_3$ )、 $T_a$  ( $X_4$ )、 $T_l$  ( $X_5$ )、 $Ca$  ( $X_6$ )、 $RH$  ( $X_7$ )和  $PAR$  ( $X_8$ ) 8个因子为自变量,进行逐步回归与通径分析,并建立因变量为净光合速率  $P_n$  ( $Y$ ) 的多元线性回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 三色堇净光合速率日变化

由图1可见,三色堇4个品种在晴天的 $P_n$ 日变化均呈双峰型曲线。早晨与下午的日变化过程与光照强度的变化规律基本一致。上午随着光照强度的逐渐增强,三色堇叶片 $P_n$ 均逐渐升高,均于10:00出现光合最高峰;然后回落出现“午休”现象,其中EP1和08-H2在12:00时回落到最低谷,而ZMY2-1最低谷出现在13:00,229-18最低谷出现在14:00;EP1和08-H2分别在14:00出现次高峰,而ZMY2-1和229-18分别在15:00出现次高峰;08-H2在15:00以后 $P_n$ 迅速下降,17:00已降到早晨光合水平以下,其他品种则在次高峰之后, $P_n$ 缓慢下降,直至17:00以后才迅速下降,于18:00降至早晨光合水平以下。比较而言,1d内08-H2品种的 $P_n$ 值显著高于其他品种(图1、表1),说明08-H2的光合能力较强,其余3个品种的 $P_n$ 之间则无显著差异。

### 2.2 三色堇叶片生理生态因子的日变化

从图2可以看出,三色堇叶片 $Cond$ 日变化也呈双峰曲线。早晨随着光照的增强,各品种的 $Cond$ 增大,在上午9:00达到最高峰。但随着光照强度的进一步增强和气温的逐步上升, $Cond$ 开始出现下降趋势,08-H2在12:00—13:00时到达低谷,在15:00出现次高峰。其他品种则滞后一些,229-18、ZMY2-1和EP1的低谷分别出现在14:00和16:00,16:00,而次高峰出现在17:00。次高峰后,随着光照的进一步减弱,三色堇各品种的 $Cond$ 迅速下降。在早晨和下午适宜的光照、温度范围内,三色堇 $Cond$ 与光照强度的变化相对应,即随着光照的增强或减弱,气孔导度相应增加或减弱。而中午的强光照和高温会导致气孔导度的下降。比较而言,08-H2的 $Cond$ 对光照的变化更加敏感,而其他品种的 $Cond$ 除受光强影响外,也受到了温度的影响,使其低谷与次高峰延后。 $Tr$ 日变化趋势与 $Cond$ 呈现一定的对应关系,早晨 $Cond$ 增加, $Tr$ 逐渐

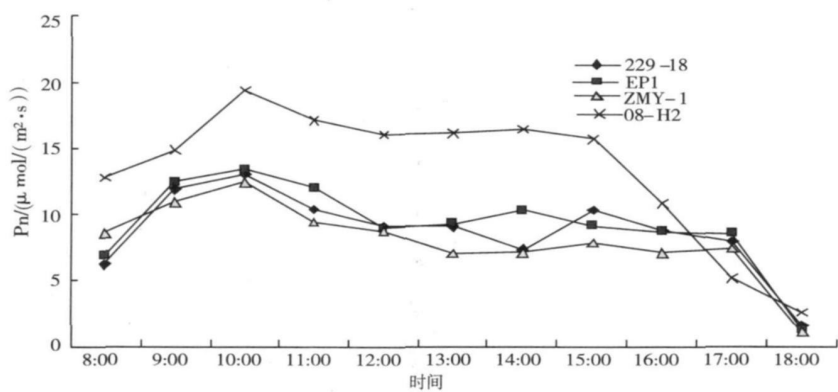


图 1 三色堇叶片净光合速率日变化

表 1 三色堇不同品种叶片的光合参数差异

光合参数	229-18	EP1	ZMY2-1	08-H2
Pn/( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )	$8.730\pm3.05\text{aA}$	$9.21\pm3.27\text{aA}$	$8.00\pm2.86\text{aA}$	$13.43\pm5.24\text{bB}$
Cond/( $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )	$0.08\pm0.03\text{aA}$	$0.08\pm0.02\text{aA}$	$0.08\pm0.01\text{aA}$	$0.18\pm0.04\text{bB}$
Tr/( $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )	$2.52\pm0.59\text{aA}$	$2.67\pm0.57\text{aA}$	$2.59\pm0.54\text{aA}$	$4.88\pm1.30\text{bB}$
Ci/( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	$175.23\pm66.21\text{aA}$	$173.81\pm75.27\text{aA}$	$205.26\pm52.43\text{abAB}$	$233.24\pm43.36\text{bB}$
Ls/%	$55.45\pm17.32\text{aA}$	$56.01\pm19.35\text{aA}$	$47.92\pm13.90\text{abAB}$	$40.80\pm11.48\text{bB}$
SUE/( $\text{mol}/\text{mol}$ )	$0.008\pm0.003\text{aA}$	$0.008\pm0.002\text{aA}$	$0.009\pm0.003\text{aA}$	$0.013\pm0.003\text{bB}$
WUE/( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	$3.36\pm0.75\text{aA}$	$3.35\pm1.06\text{aA}$	$3.08\pm1.08\text{abAB}$	$2.71\pm0.95\text{bB}$

注: 同行数据后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( $P<0.05$ )

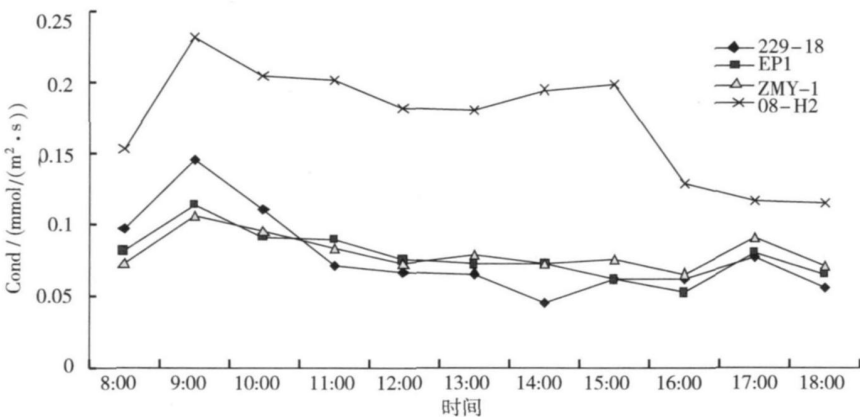


图 2 三色堇叶片气孔导度日变化

增大, 下午 Cond 下降, Tr 减少(图 3)。比较而言, 08-H2 的 Cond 和 Tr 均极显著高于其他品种(表 1)。

三色堇叶片 Ci 和 Ls 的日变化曲线分别呈 U 型和倒 U 型(图 4、图 5), 且呈现相反的对对应关系, 即 Ci 的高峰期对应于 Ls 的最低值, 而 Ci 的低谷期对应于 Ls 的高峰期。三色堇早晨 Ci 较高, 可能是因为夜间呼吸积累所致, 因此也就导致了 Ls 处于较低水平; 中午 Ci 的下降, 则与中午强光和高温下植物光合能力较高而部分气孔关闭有关; 而下午 Ci 较高, 与下午光照减弱 Rubisco 羧化酶活性下降, 同时 Cond 降低有关。此外, 下午大气 CO<sub>2</sub> 浓度下降, 使 Ls 处于较低水平。从表 1 可以看出, 品种 08-H2 的 Ci 显著高于品种 229-18 和 EP1, 而其 Ls 明显低

于 229-18 和 EP1。

光能利用效率体现植物对光强变化做出的及时反应。从图 6 可以看出, 三色堇叶片 SUE 整体在早晨和下午晚些时候较高, 午间较低。各品种 Pn 分别在中午 12:00、13:00、14:00 处于午休低谷时, SUE 也基本都处于较低水平。16:00—17:00 以后华北高纬度地区光照迅速减弱, SUE 反而迅速上扬, 说明三色堇对低光、弱光有较高的利用能力。08-H2 品种与其他 3 个品种 SUE 存在极显著差异(表 1)。

水分利用效率(WUE)变化趋势较为复杂(图 7), 08-H2 的 WUE 与 ZMY2-21 无显著差异, 但极显著低于 229-18 和 EP1(表 1)。WUE 主要表现出

光合与蒸腾的竞争能力。总体上三色堇早晨 WUE 较高,下午较低。从公式③可以看出,光合作用胜于蒸腾作用。随温度由高到低,光照由强到弱,蒸腾速率变化幅度逐渐大于光合变化幅度,故 WUE 整体呈下降趋势。

2.3 叶片 Pn 与影响因子的相关性分析

从表 2 可以看出,三色堇 4 个品种的叶片 Pn 与 PAR、Cond、Tr、Ca 呈正相关,且除品种 ZMY2-1 的 Tr 和 229-1 与 EP1 的 Cond 外,均达到显著或极显

著正相关;而 Pn 与 Ci、RH 呈负相关,与 Ci 的负相关性达到显著水平,说明三色堇叶片 Pn 变化是多因子作用的结果。各影响因子间的相关分析显示,PAR 与 Tr 呈极显著正相关,说明三色堇 PAR 与 Tr 存在对应关系。Ta、Tl 与 RH 呈极显著负相关,RH 与 Tr 呈显著负相关,说明温度与 Tr 存在一定的对应关系。从相关性大小来看,总体上 PAR 与 Pn 相关性较高,其次为 Ci 和 Ca,具体到各品种之间又存在一定的差异,例如对于 08-H2 品种来说,

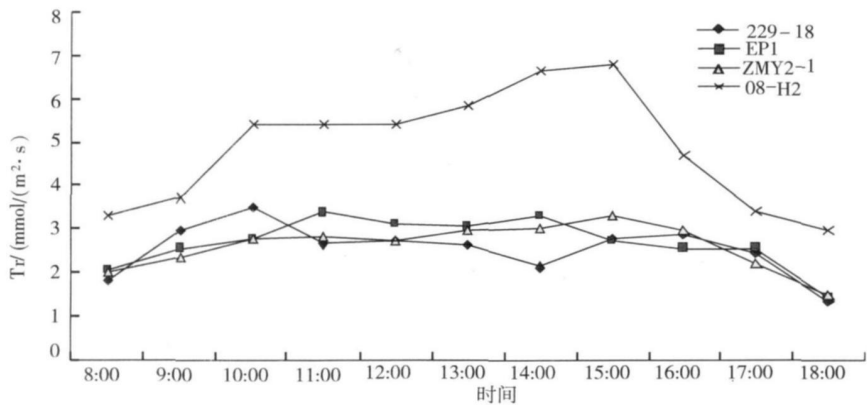


图 3 三色堇叶片蒸腾速率日变化

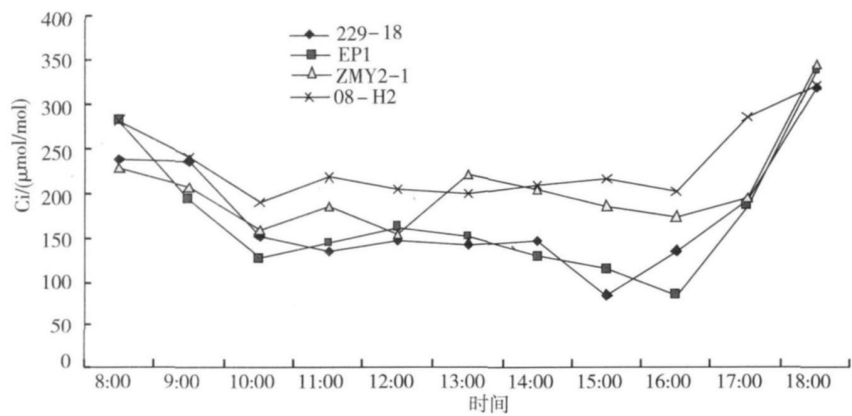


图 4 三色堇叶片胞间 CO₂ 浓度日变化

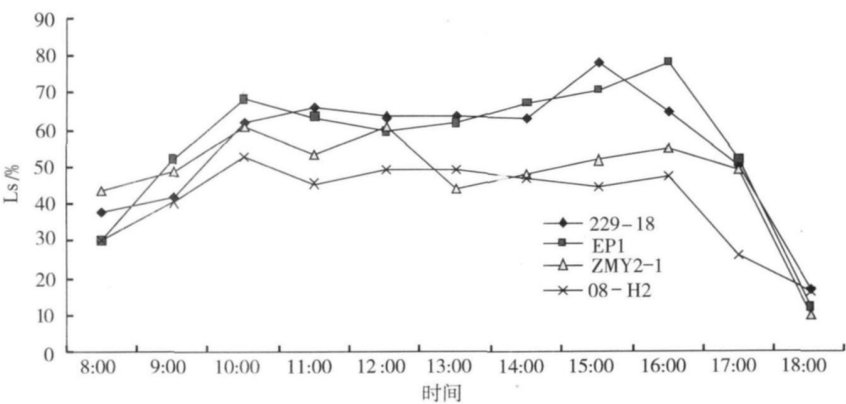


图 5 三色堇叶片气孔限制值日变化

与 Pn 相关性大小依次为 PAR> Ci> Cond> Tr> Tr> PAR> Ca> Ci> Cond, 说明各影响因子在不同品种中对 Pn 的影响程度不一。

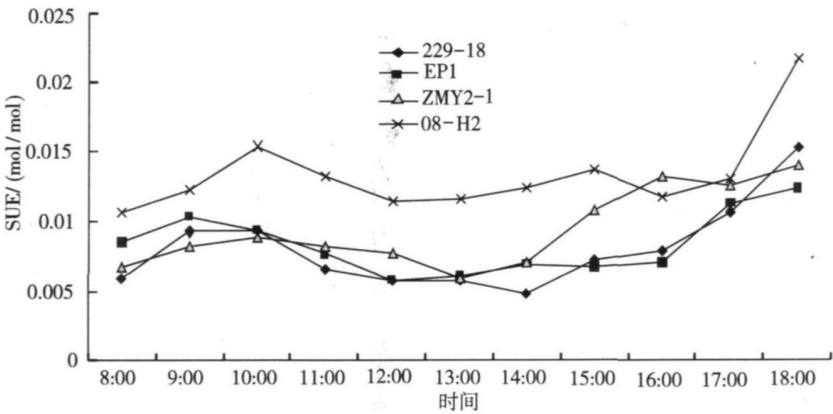


图 6 三色堇叶片光能利用率日变化

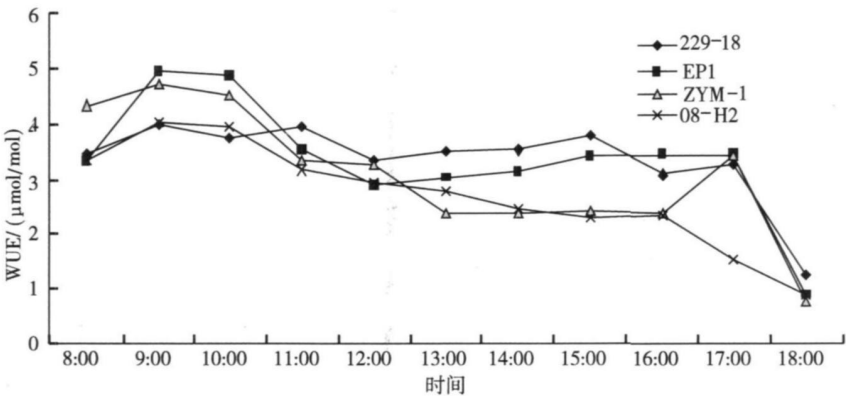


图 7 三色堇叶片水分利用效率日变化

表 2 三色堇叶片 Pn 与主要影响因子的相关系数

影响因子	Cond	Ci	Tr	Ta	Tl	Ca	RH	PAR	Pn
Cond	1①	0.28	0.44	-0.74**	-0.68*	0.38	0.34	0.07	0.54
	1②	0.33	-0.03	-0.83**	-0.72**	0.74**	0.4	-0.01	0.38
	1③	-0.12	-0.11	-0.75**	-0.64*	0.82**	0.23	0.72*	0.66*
	1④	-0.43	0.48	-0.49	-0.32	0.85**	-0.05	0.83*	0.83**
Ci	1	1	-0.64*	-0.73**	-0.83**	-0.39	0.90**	-0.81**	-0.62*
	1	1	-0.78**	-0.73**	-0.82**	-0.1	0.94*	-0.85**	-0.73**
	1	1	-0.74**	-0.39	-0.53	-0.38	0.81**	-0.59*	-0.81**
	1	1	-0.77**	-0.28	-0.49	-0.3	0.79**	-0.80**	-0.85**
Tr	1	1	1	0.22	0.34	0.70*	-0.62*	0.65*	0.96**
	1	1	1	0.54	0.69*	0.36	-0.85**	0.93*	0.75**
	1	1	1	0.72**	0.83**	0.13	-0.96**	0.36	0.45
	1	1	1	0.51	0.67*	0.08	-0.85**	0.69*	0.72**
Ta	1	1	1	1	0.98**	0.08	-0.80**	0.34	0.07
	1	1	1	1	0.98**	-0.45	-0.80**	0.48	0.12
	1	1	1	1	0.98**	-0.53	-0.77**	-0.29	-0.16
	1	1	1	1	0.97**	-0.79**	-0.78**	-0.18	-0.15
Tl	1	1	1	1	1	0.21	-0.89**	0.51	0.21
	1	1	1	1	1	-0.28	-0.89**	0.65*	0.29
	1	1	1	1	1	-0.37	-0.87**	-0.12	0
	1	1	1	1	1	-0.62*	-0.90**	0.06	0.09
Ca	1	1	1	1	1	1	-0.59*	0.72*	0.71**
	1	1	1	1	1	1	-0.15	0.51	0.60*
	1	1	1	1	1	1	-0.1	0.93*	0.74**
	1	1	1	1	1	1	0.27	0.73*	0.70*
RH	1	1	1	1	1	1	1	-0.79*	-0.54
	1	1	1	1	1	1	1	-0.89**	-0.62*
	1	1	1	1	1	1	1	-0.36	-0.45
	1	1	1	1	1	1	1	-0.41	-0.48
PAR	1	1	1	1	1	1	1	1	0.72**
	1	1	1	1	1	1	1	1	0.82**
	1	1	1	1	1	1	1	1	0.86**
	1	1	1	1	1	1	1	1	0.95**

注: \*, \*\* 分别表示达 0.05、0.01 显著水平; ①、②、③、④ 分别代表品种 229-18、EP1、ZMY2-1、08-H2

由表 3—6 可以看出, 三色堇不同品种叶片  $P_n$  的影响因子略有差异, 其效应也不尽相同, 反映出不同基因型的光合特性存在着一定的差异<sup>[13]</sup>。对于 229-18 而言, Cond、Tr、Ca、RH 作用为直接正效应, Ci、Tl、PAR 为直接负效应。其中 RH、Tl、PAR 与

Ci 互相的间接作用对  $P_n$  的影响较为明显。在相关分析中, PAR 与  $P_n$  呈极显著正相关, 但在通径分析中对  $P_n$  的影响为负作用, 这主要是由于 Ca、Tr、Tl 等多因子的负向贡献的间接作用所致。除 Tl 外, 其他影响因子间接作用于 Cond 的影响均为正效应。

表 3 三色堇 229-18 叶片  $P_n$  与主要影响因子的通径分析

影响因子	直接通径系数	间接通径系数						
		Cond	Ci	Tr	Tl	Ca	RH	PAR
Cond	0.316		-0.282	0.1488	0.1452	0.1415	0.0954	-0.0197
Ci	-0.994	0.0896		-0.2186	0.179	-0.1441	0.2536	0.2117
Tr	0.342	0.1375	0.636		-0.0727	0.2577	-0.1732	-0.1696
Tl	-0.215	-0.2134	0.8285	0.1157		0.0786	-0.2493	-0.1331
Ca	0.370	0.1207	0.3869	0.2378	-0.0456		-0.1649	-0.1901
RH	0.281	0.1071	-0.8964	-0.2104	0.1903	-0.217		0.2072
PAR	-0.263	0.0236	0.8005	0.2204	-0.1087	0.2677	-0.2217	

对 EP1 叶片  $P_n$  而言, Tr、PAR 作用为直接正效应, Ci、Tl、Ca、RH 为直接负效应。其中 RH、Tr 与 Tl 互相的间接作用对  $P_n$  的影响较为明显。在相关分析中, Ca 与  $P_n$  呈显著正相关, 但在通径分析中

对  $P_n$  的影响为负作用, 这主要是由于 PAR 和 Tr 的负向贡献的间接作用所致。除 RH 外, 其他影响因子间接作用于 Ci 的影响均为正效应。

表 4 三色堇 EP1 叶片  $P_n$  与主要影响因子的通径分析

影响因子	直接通径系数	间接通径系数					
		Ci	Tr	Tl	Ca	RH	PAR
Ci	-1.026		-0.5146	1.3386	0.0399	-0.3326	-0.238
Tr	0.657	0.8039		-1.1262	-0.1424	0.301	0.2606
Tl	-1.623	0.8463	0.4558		0.1115	0.3153	0.1824
Ca	-0.396	0.1033	0.2359	0.4564		0.0548	0.1439
RH	-0.354	-0.9645	-0.5587	1.446	0.0614		-0.2496
PAR	0.281	0.8706	0.6103	-1.0555	-0.2034	0.3149	

对 ZMY2-1 叶片  $P_n$  而言, Cond、PAR 作用为直接正效应, Ci、Ta、Tl、Ca、RH 为直接负效应。其中 RH 与 Ci 互相的间接作用对  $P_n$  的影响较为明显。在相关分析中, Ca 与  $P_n$  呈显著或极显著正相关, 但

在通径分析中对  $P_n$  的影响为负作用, 这主要是由于 PAR 和 Cond 的负向贡献的间接作用所致。除 RH 外, 其他影响因子间接作用于 Ci 的影响均为正效应。

表 5 三色堇 ZMY2-1 叶片  $P_n$  与主要影响因子的通径分析

影响因子	直接通径系数	间接通径系数						
		Cond	Ci	Ta	Tl	Ca	RH	PAR
Cond	0.393		0.081	0.2681	0.3089	-0.4471	-0.1517	0.2114
Ci	-0.659	-0.0483		0.1386	0.2546	0.2038	-0.5273	-0.1751
Ta	-0.358	-0.294	0.2547		-0.4735	0.2892	0.5039	-0.0854
Tl	-0.483	-0.2512	0.3469	-0.3511		0.2014	0.5696	-0.0358
Ca	-0.543	0.3238	0.2474	0.191	0.1794		0.0654	0.2744
RH	-0.653	0.0913	-0.5319	0.2765	0.4215	0.0543		-0.1047
PAR	0.295	0.2818	0.3912	0.1038	0.0587	-0.5052	0.2321	

对 08-H2 叶片  $P_n$  而言, Tr、Tl、PAR 作用为直接正效应, Cond、Ci、Ta、Ca、RH 为直接负效应。其中 PAR、Tl 等与 Tr 互相的间接作用对  $P_n$  的影响较为明显。在相关分析中, Ca 与  $P_n$  呈显著正相关, 但

在通径分析中对  $P_n$  的影响为负作用, 这主要是由于 PAR 和 Cond 的负向贡献的间接作用所致。除 RH 和 Ci 外, 其他影响因子间接作用于 Tr 的影响均为正效应。

表 6 三色堇 08 H2 叶片 Pn 与主要影响因子的通径分析

影响因子	直接通径系数	间接通径系数							
		Cond	Ci	Tr	Ta	Tl	Ca	RH	PAR
Cond	-0.232		0.0316	0.3405	0.8903	-0.0954	-0.2854	0.0374	0.1433
Ci	-0.073	0.1006		-0.5449	0.4964	-0.1481	0.1006	-0.644	-0.1378
Tr	0.705	-0.1121	0.0564		-0.9135	0.2012	-0.0273	0.6917	0.1189
Ta	-1.802	0.1146	0.0201	0.3573		0.29	0.2646	0.6357	-0.0303
Tl	0.300	0.0739	0.036	0.4735	-1.7447		0.2085	0.7327	0.0103
Ca	-0.334	-0.1983	0.022	0.0576	1.428	-0.1871		-0.2187	0.126
RH	-0.815	0.0107	-0.0576	-0.5982	1.4055	-0.2693	-0.0896		-0.0712
PAR	0.172	-0.1931	0.0583	0.4868	0.3172	0.0179	-0.2444	0.3371	

通过不断挑选和剔除因子的显著水平获得的各品种的多元线性回归方程为:

$$Y_{229-18} = -54.186 + 34.158 X_1 - 0.0467 X_2 + 1.797 X_3 - 0.166 X_5 + 0.168 X_6 + 0.227 X_7 - 0.002 X_8 (R^2 = 0.998 F = 120.368 P < 0.01);$$
$$Y_{EP1} = 124.481 - 0.045 X_2 + 3.733 X_3 - 1.210 X_5 - 0.191 X_6 - 0.294 X_7 + 0.002 X_8 (R^2 = 0.9953, F = 70.369 P < 0.01);$$
$$Y_{ZMY2-1} = 123.780 + 89.110 X_1 - 0.036 X_2 - 0.262 X_4 - 0.350 X_5 - 0.224 X_6 - 0.481 X_7 + 0.002 X_8 (R^2 = 0.9998 F = 1022.30 P < 0.01);$$
$$Y_{08-H2} = 212.417 - 30.9917 X_1 - 0.009 X_2 + 2.834 X_3 - 2.706 X_4 + 0.455 X_5 - 0.253 X_6 - 1.8186 X_7 + 0.002 X_8 (R^2 = 1, F = 7817.936, P < 0.01)$$

3 讨论

三色堇原产欧洲,气候凉爽、温暖湿润等因素,造就了三色堇喜凉爽、不耐高温干旱,喜光但不耐强光的特点。本试验结果表明,三色堇叶片 Pn 日变化和峰值高低,是叶片光合的生理生态因子与环境条件日变化综合作用的结果<sup>[14]</sup>。从影响因子间的关联性来看,随着 PAR 的日变化,Cond 与 Pn 几乎同步变化。其中,处于光合“午休”时,Cond 显著降低,这时叶肉 Ci 处于降低阶段,而 Ls 值升高, Pn 相应回落,这些都说明气孔限制因素占据了主导地位<sup>[11, 14-15]</sup>。RH 主要通过 Tr 等因子的间接作用对 Pn 产生负影响,即 Pn 随空气湿度的降低而降低,由此推断三色堇在较为湿润环境中光合作用较强。从通径分析来看,温度主要通过影响 Cond、RH 对 Pn 产生负作用,可见持续的高温也不利于三色堇的光合作用,这与长柄扁桃的光合特性相似<sup>[12]</sup>。本研究结果发现,三色堇各品种叶片 Pn 的日变化呈双峰型曲线,有明显“午休”现象,说明华北地区 5 月中旬中午的强光和高温对三色堇叶片的光合作用产生了一定的抑制作用。其中 08-H2 叶片 Pn 主要受到了强光的抑制,而其他 3 个品种 Pn 受到光抑制的同时,也受到了高温的影响。因此,建议此期及以后强光高温季节三色堇的栽植和养护,在中午时段可考虑采用遮阳网或栽植、摆放在树下进行适当遮阴。中午 RH 降低也是三色堇“午休”的一个重要因子,所以三色堇养护中建议采用中午喷雾(水)的办法,也能起到增强三色堇光合作用的目的,为花期延长提供保障。研究也发现,08-H2 是一个高光效(Pn 和 SUE)的品种,非常适宜在华北地区应用

或作为杂交育种的优良亲本。该品种的高光效为其生长发育提供了充足的物质基础,其不但生长旺盛,而且花朵繁多,花期颇长<sup>[9]</sup>。当然也看到 08-H2 品种的高 Pn 伴随着高蒸腾速率(Tr)以及较低的水分利用率(WUE),所以 08-H2 的养护需要充足的水肥供应。

参考文献:

[1] 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书(观赏园艺卷)[M]. 北京: 农业出版社, 1996: 366-367.

[2] 王晓磊, 胡宝忠. 三色堇(*Viola tricolor* L.)生物学特性及栽培管理[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(6): 132-135.

[3] 张帆. 三色堇夏季育苗技术[J]. 中国花卉园艺, 2008(6): 30-32.

[4] 詹瑞琪. 三色堇新品系列种植指南[J]. 中国花卉园艺, 2008(9): 40-41.

[5] 王健, 包满珠. 三色堇主要观赏数量性状的遗传效应研究[J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 449-454.

[6] Yoshioka Y, Iwata H, Hase N, *et al.* Genetic combining ability of petal shape in garden pansy (*Viola* × *wittrockiana* Gams) based on image analysis[J]. Euphytica, 2006, 151(3): 311-319.

[7] 杜晓华, 刘会超, 刘孟刚, 等. 33 个三色堇品种遗传变异的初步分析[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 78-82.

[8] 王慧刚. 进口与国产三色堇品种适应性的比较[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(11): 2037-2069.

[9] 刘会超, 杜晓华, 姚连芳. 荷兰 5 个三色堇品种在华北地区的引种试验[J]. 中国园林, 2010(4): 42-44.

[10] 新乡市人民政府. 新乡概况—自然条件[EB/OL]. [2010-09-30]. <http://www.xinxiang.gov.cn>.

[11] 付为国, 李萍萍, 王纪章, 等. 镇江河漫滩草地藜草光合特性研究[J]. 草地学报, 2007, 15(4): 381-385.

[12] 罗树伟, 郭春会, 张国庆, 等. 沙地植物长柄扁桃光合特性研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 125-132.

[13] Taiz L, Zeiger E. 植物生理学[M]. 4 版. 宋纯鹏, 译. 北京: 科学出版社, 2009.

[14] 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.

[15] 许大全. 光合作用测定及研究中一些值得注意的问题[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(6): 1163-1167.