

# 土壤水分和光照对西葫芦生长和生理特性的影响\*

杜社妮<sup>1,2</sup> 白岗栓<sup>1,2\*\*</sup> 梁银丽<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院-水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 以西葫芦“晶莹一号”为试材,采用盆栽和人工遮光的方法研究土壤水分和光照强度对西葫芦生长发育和生理特性的影响.结果表明:遮光30%条件下各处理的植株生长较好,其中遮光30%和土壤相对含水量为70%~80%的处理植株生长最好,产量最高.遮光70%条件下,各处理的植株生长受到严重抑制,只开花,不结果,没有经济产量形成.不同处理西葫芦的耗水趋势一致,日耗水量和总耗水量都随遮光程度的增加和土壤含水量的降低而减少.遮光30%和土壤相对含水量为70%~80%的处理水分利用效率和水分产出率最高,分别为2.36和1.57 kg·mm<sup>-1</sup>·hm<sup>-2</sup>.西葫芦叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及叶片叶绿素含量随着遮光程度的增加而减小,胞间CO<sub>2</sub>浓度随着遮光程度的增加而增加.叶片保护酶活性和脯氨酸含量随着遮光程度的增加而降低,丙二醛含量为遮光70%>自然光照>遮光30%.3种光照条件下,随着土壤含水量的增加,西葫芦叶片的光合特性、保护酶活性及脯氨酸和丙二醛含量的变化不同.

**关键词** 西葫芦 土壤水分 遮光 生理特性

文章编号 1001-9332(2011)04-1101-06 中图分类号 S642.6 文献标识码 A

**Effects of soil moisture content and light intensity on the plant growth and leaf physiological characteristics of squash.** DU She-ni<sup>1,2</sup>, BAI Gang-shuan<sup>1,2</sup>, LIANG Yin-li<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(4): 1101-1106.

**Abstract:** A pot experiment with artificial shading was conducted to study the effects of soil moisture content and light intensity on the plant growth and leaf physiological characteristics of squash variety “Jingyingyihao”. Under all test soil moisture conditions, 30% shading promoted the growth of “Jingyingyihao”, with the highest yield at 70%–80% soil relative moisture contents. 70% shading inhibited plant growth severely, only flowering and not bearing fruits, no economic yield produced. In all treatments, there was a similar water consumption trend, *i. e.*, both the daily and the total water consumption decreased with increasing shading and decreasing soil moisture content. Among all treatments, 30% shading and 70%–80% soil relative moisture contents had the highest water use efficiency (2.36 kg·mm<sup>-1</sup>·hm<sup>-2</sup>) and water output rate (1.57 kg·mm<sup>-1</sup>·hm<sup>-2</sup>). The net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, and chlorophyll content of squash leaves decreased with increasing shading, whereas the intercellular CO<sub>2</sub> concentration was in adverse. The leaf protective enzyme activity and proline content decreased with increasing shading, and the leaf MAD content decreased in the order of 70% shading, natural radiation, and 30% shading. Under the three light intensities, the change characteristics of squash leaf photosynthesis, protective enzyme activity, and proline and MAD contents differed with the increase of soil relative moisture content.

**Key words:** squash; soil moisture; shading; physiological characteristics.

\* 国家“十一五”科技攻关项目(2006BAD09B07)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn

2010-09-10 收稿, 2011-01-18 接受.

西葫芦 (*Cucurbita pepo*) 在我国栽培普遍. 随着节能日光温室的引进和发展, 冬春季日光温室西葫芦栽培面积迅速扩大, 但西葫芦的水分和光照管理仍沿袭露地模式, 化瓜和病害发生严重, 品质差, 产量低, 经济效益差, 严重影响了菜农的积极性. 目前, 国内外的相关研究大多局限于单一因子对植株生长发育和生理生态等方面的影响, 如光照<sup>[1-3]</sup>、温度<sup>[4-5]</sup>、土壤水分<sup>[6]</sup>, 或者是土壤水分和光照<sup>[7-9]</sup>、土壤水分和温度<sup>[10]</sup>、温度和光照<sup>[11-12]</sup> 共同作用对作物某一个生育时期的影响, 关于土壤水分和光照强度交互作用对西葫芦整个生长期的生长发育和生理生态特性影响的研究还未见报道. 本文采用盆栽试验和人工遮光的方法研究了土壤水分和光照强度共同作用对西葫芦生长、光合特性及叶片保护酶活性的影响, 以期对西葫芦的水分和光照管理提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

盆栽试验于 2005 年 4—7 月在西北农林科技大学水土保持研究所内进行. 以西葫芦晶莹一号为试材. 盆上口径 35 cm, 下口径 25 cm, 高 35 cm, 每盆装干土 11 kg, 土壤类型为黄绵土, 土壤有机质 9.39 g · kg<sup>-1</sup>, 全 N 0.52 g · kg<sup>-1</sup>, 速效 N 35.84 mg · kg<sup>-1</sup>, 全 P 2.01 g · kg<sup>-1</sup>, 速效 P 95.69 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效 K 233.16 mg · kg<sup>-1</sup>.

### 1.2 试验设计

试验设 3 个光照处理: 自然光照 ( $L_1$ ); 遮光 30% ( $L_2$ ), 用塑料薄膜遮光; 遮光 70% ( $L_3$ ), 用单层遮阳网遮光, 每个光照处理下设 3 个水分处理:  $W_1$ , 土壤水分为田间持水量的 60% ~ 70%;  $W_2$ , 土壤水分为田间持水量的 70% ~ 80%;  $W_3$ , 土壤水分为田间持水量的 80% ~ 90%, 共 9 个处理组合 ( $L_1W_1$ 、 $L_1W_2$ 、 $L_1W_3$ 、 $L_2W_1$ 、 $L_2W_2$ 、 $L_2W_3$ 、 $L_3W_1$ 、 $L_3W_2$ 、 $L_3W_3$ ), 每个处理 8 个重复, 每盆 1 株. 2005 年 3 月 20 日于温室营养钵播种育苗, 植株三叶一心时 (4 月 25 日) 定植, 5 月 5 日进行不同水分和光照处理, 7 月 10 日试验结束. 试验过程中用称量法控制土壤含水量. 当土壤含水量低于试验设置含水量的下限时补充水分. 其他管理同常规.

### 1.3 测定项目与方法

在西葫芦生长期, 于 5 月 10 日开始约每 10 d 采用常规方法测定不同处理植株的生长性状 (株高、茎粗、叶数), 结瓜期采用称量法测定西葫芦产

量, 试验结束时测定西葫芦的生物量 (全株). 在西葫芦的盛瓜期, 选择晴天 10:00 用美国产 Li-6400 便携式光合测定仪测定叶片的光合指标, 用日本产叶绿素计 SPAD-502 测定叶片的叶绿素含量.

于西葫芦盛瓜期测定叶片过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性, CAT 活性采用紫外吸收法, SOD 活性采用愈创木酚法, POD 活性采用氮蓝四唑光化还原法测定, 丙二醛 (MDA) 含量采用硫代巴比妥酸比色法测定, 游离脯氨酸 (Pro) 含量采用磺基水杨酸提取法测定<sup>[13]</sup>. 植株耗水量采用以下公式计算:

$$ET = P + \Delta h + I \quad (1)$$

式中:  $ET$  为田间耗水量 (mm);  $P$  为生育期间的有效降水量 (mm);  $\Delta h$  为生育期间土壤含水量的变化 (mm);  $I$  为生育期间的灌溉量 (mm). 试验期间用遮雨棚遮雨, 因此  $P=0$ , 则公式可以简化为:

$$ET = \Delta h + I \quad (2)$$

水分利用效率 ( $WUE$ , kg · mm<sup>-1</sup> · hm<sup>-2</sup>) 和水分生产率 ( $A$ , kg · mm<sup>-1</sup> · hm<sup>-2</sup>) 的计算公式为:

$$WUE = B/ET \quad (3)$$

$$A = Y/ET \quad (4)$$

式中:  $B$  为生物总量 (kg · hm<sup>-2</sup>);  $Y$  为西葫芦产量 (kg · hm<sup>-2</sup>).

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 SAS V8 软件对试验数据进行处理和统计分析, 采用 Duncan 法进行差异显著性检验.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对西葫芦生长的影响

不同土壤水分和光照对西葫芦的株高、叶数、茎粗有显著影响 (图 1). 在 3 种光照条件下, 随着土壤含水量的增加, 西葫芦的株高、叶数和茎粗变化不同. 自然光照条件下 ( $L_1$ ), 西葫芦的株高、叶数变化趋势一致, 随着土壤含水量的增加, 株高增加, 叶数增多, 茎粗的变化为  $W_1 > W_3 > W_2$ . 遮光 30% 条件下 ( $L_2$ ), 西葫芦的株高、叶数和茎粗的变化趋势一致, 随着土壤含水量的增加, 株高、叶数和茎粗的变化为  $W_2 > W_3 > W_1$ . 遮光 70% 条件下, 西葫芦的株高、叶数和茎粗的变化趋势一致, 均随土壤含水量的增加而减少. 3 种光照处理中, 遮光 30% 处理的西葫芦生长期长, 生长发育良好; 自然光照处理的西葫芦前期生长较好, 随着生育进程的延长, 生长状况变差, 最明显的表现是叶片衰老快, 生长期缩短; 遮光 70%

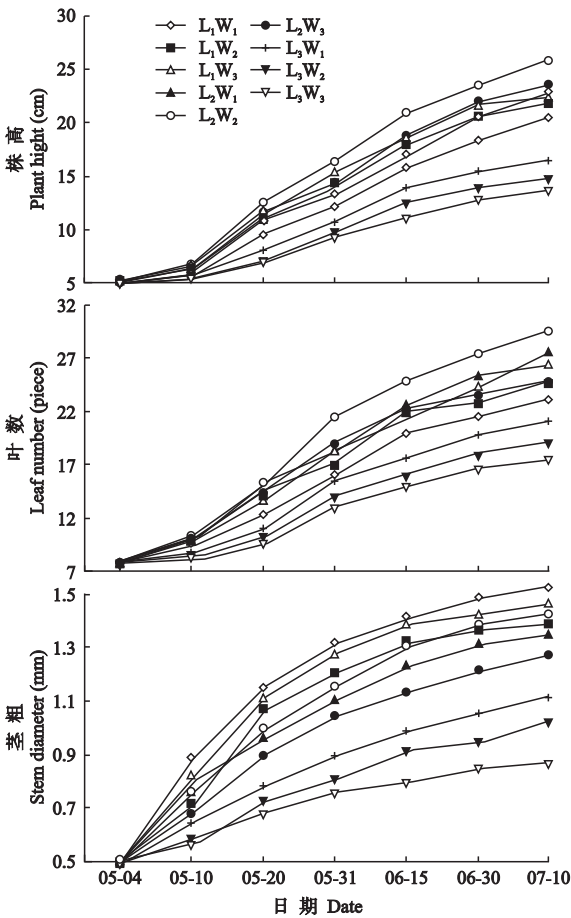


图 1 不同处理西葫芦的生长动态

Fig. 1 Growth dynamic of squash of different treatments.

$L_1$ : 自然光照 Natural illumination;  $L_2$ : 遮光 30% Shading 30%;  $L_3$ : 遮光 70% Shading 70%;  $W_1$ : 相对含水量 60% ~ 70% Relative moisture content 60% ~ 70%;  $W_2$ : 相对含水量 70% ~ 80% Relative moisture content 70% ~ 80%;  $W_3$ : 相对含水量 80% ~ 90% Relative moisture content 80% ~ 90%. 下同 The same below.

条件下西葫芦的生长最差。

## 2.2 不同处理对西葫芦产量和生物量的影响

表 1 不同处理对西葫芦产量和生物量的影响

Table 1 Effects of different treatments on yield and biomass of squash

处理 Treatment	产量 Yield (g)	瓜数 Fruit number	单瓜质量 Single fruit mass (g)	生物量 Biomass (g)		根冠比 Root/shoot ratio
				鲜质量 Fresh mass	干质量 Dry mass	
$L_1W_1$	1960d	14	140b	73.5c	0.32b	1189.2c
$L_1W_2$	2672b	17	157ab	80.4bc	0.28b	1297.4c
$L_1W_3$	2432c	16	136b	87.8b	0.24c	1414.2b
$L_2W_1$	2235c	17	139b	82.0b	0.18d	1323.4b
$L_2W_2$	3360a	21	160a	104.9a	0.16de	1683.8a
$L_2W_3$	2755b	19	145b	84.7b	0.15d	1365.0b
$L_3W_1$	-	-	-	42.6d	0.40a	862.9d
$L_3W_2$	-	-	-	38.2d	0.36ab	799.8d
$L_3W_3$	-	-	-	36.2e	0.34ab	680.5e

$L_1$ : 自然光照 Natural illumination;  $L_2$ : 遮光 30% Shading 30%;  $L_3$ : 遮光 70% Shading 70%;  $W_1$ : 相对含水量 60% ~ 70% Relative moisture content 60% ~ 70%;  $W_2$ : 相对含水量 70% ~ 80% Relative moisture content 70% ~ 80%;  $W_3$ : 相对含水量 80% ~ 90% Relative moisture content 80% ~ 90%. 同列不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

从表 1 可以看出, 自然光照 ( $L_1$ ) 条件下, 西葫芦的产量表现为  $W_2 > W_3 > W_1$ , 遮光 30% ( $L_2$ ) 条件下, 西葫芦的产量表现为  $W_2 > W_3 > W_1$ , 遮光 70% ( $L_3$ ) 条件下, 由于光照弱,  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  的营养生长和生殖生长受到严重抑制, 叶片变薄变小, 植株只开花不结果, 因此, 没有经济产量形成。  $L_2W_2$  处理植株干、鲜质量显著高于其他处理, 遮光 70% ( $L_3$ ) 条件下, 各处理干、鲜质量显著低于其他处理, 而根冠比高于其他处理, 说明遮光 70% ( $L_3$ ) 条件下植株的地上部生长受到严重抑制。 遮光 30% 条件下西葫芦的产量较高, 其中  $L_2W_2$  处理产量最高。

## 2.3 不同处理对西葫芦耗水量和水分利用效率的影响

西葫芦的耗水量受天气的影响较大, 不同处理的耗水变化趋势一致 (图 2)。 总耗水量的大小顺序为  $L_1W_3$  (433.74 mm)  $>$   $L_1W_2$  (368.77 mm)  $>$   $L_1W_1$  (324.76 mm)  $>$   $L_2W_3$  (249.97 mm)  $>$   $L_2W_2$  (213.61 mm)  $>$   $L_2W_1$  (177.28 mm)  $>$   $L_3W_3$  (125.83 mm)  $>$   $L_3W_2$  (103.15 mm)  $>$   $L_3W_1$  (77.0 mm), 不同光照处理日耗水量的大小顺序为自然光照处理 ( $L_1$ )  $>$  遮光 30% 处理 ( $L_2$ )  $>$  遮光 70% 处理 ( $L_3$ ), 在同一光照条件下, 西葫芦的日耗水量大小顺序为  $W_3 > W_2 > W_1$ 。 西葫芦的日耗水强度极值出现在 6 月 2 日, 最大耗水强度为  $10.52 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $L_1W_3$ ), 不同处理在该时期的平均耗水强度为  $5.32 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。 水分利用效率从大到小的顺序为:  $L_2W_2 > L_2W_1 > L_2W_3 > L_1W_2 > L_1W_1 > L_1W_3 > L_3W_1 > L_3W_2 > L_3W_3$ , 除了  $L_1W_1$ 、 $L_1W_3$  和  $L_3W_1$  三者之间无显著差异外, 不同处理水分利用效率差异均显著 ( $P < 0.05$ )。 水分产出率的大小顺序为:  $L_2W_2 > L_2W_1 > L_2W_3 > L_1W_2 > L_1W_1 > L_1W_3 > L_3W_1 = L_3W_2 =$

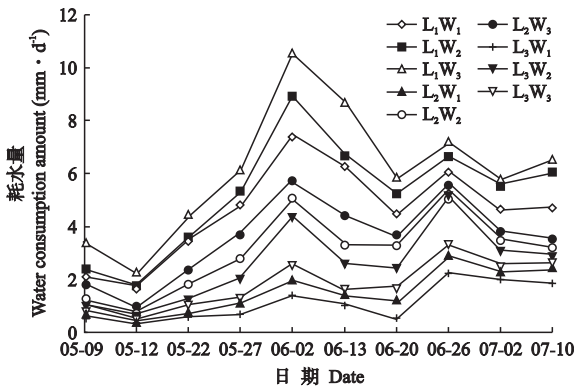


图2 不同处理西葫芦的耗水量

Fig. 2 Water consumption amount of squash of different treatments.

$L_3W_3$ , 处理  $L_1W_1$  和  $L_1W_3$  的水分产出率差异不显著, 其他处理之间的水分产出率差异均显著 ( $P < 0.05$ ) (表2).

#### 2.4 不同处理对西葫芦光合特性的影响

由表3可知, 处理  $L_1W_3$  和  $L_1W_2$  的光合速率显著高于其他处理,  $L_3W_1$ 、 $L_3W_2$  和  $L_3W_3$  显著低于其他处理. 随着光照强度的减弱, 西葫芦叶片的光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶绿素含量降低, 而胞间  $CO_2$  浓度增加. 自然光照 ( $L_1$ ) 和遮光 30% ( $L_2$ ) 条件下, 光合速率随着土壤含水量的增加而增加. 遮光 70% 条件下, 不同处理的光合速率、蒸腾速率、气孔导度随着土壤含水量的增加而减小, 但差异不显著. 同一水分处理不同光照条件下, 西葫芦的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间  $CO_2$  浓度都有显著性差异.

表3 不同处理西葫芦的光合特性

Table 3 Photosynthesis characteristics of squash under different treatments

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率 Transpiration rate ( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气孔导度 Stomatal conductance ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	胞间 $CO_2$ 浓度 Intercellular $CO_2$ concentration ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	叶绿素含量 Chlorophyll content ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ )
$L_1W_1$	19.70b	5.71c	0.34b	170.8d	4.78a
$L_1W_2$	23.2a	6.47b	0.39a	183.4d	4.58ab
$L_1W_3$	24.76a	7.21a	0.36ab	173.2d	4.26b
$L_2W_1$	13.58d	4.40e	0.26c	210.4c	4.0bc
$L_2W_2$	14.36d	5.15d	0.21d	216.3c	3.69c
$L_2W_3$	15.85c	4.10e	0.17e	220.8bc	3.97bc
$L_3W_1$	12.26e	3.64f	0.12f	240.2b	3.66c
$L_3W_2$	12.11e	3.35f	0.11f	252.3ab	3.65c
$L_3W_3$	11.33e	3.22f	0.10g	268.5a	3.84c

表2 不同处理西葫芦的水分利用效率和水分产出率

Table 2 Water use efficiency and water output rate of squash under different treatments

处理 Treatment	水分利用效率 Water use efficiency ( $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	水分产出率 Water output rate ( $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
$L_1W_1$	0.97e	0.60e
$L_1W_2$	1.08d	0.72d
$L_1W_3$	0.89e	0.56e
$L_2W_1$	2.01b	1.26b
$L_2W_2$	2.36a	1.57a
$L_2W_3$	1.65c	1.10c
$L_3W_1$	0.87e	-
$L_3W_2$	0.78f	-
$L_3W_3$	0.54g	-

#### 2.5 不同处理对西葫芦叶片抗氧化酶活性、丙二醛和脯氨酸含量的影响

从表4可以看出, 在同一水分条件下, 丙二醛 (MAD) 含量的大小顺序为遮光 70% > 自然光照 > 遮光 30%; SOD、CAT 活性和游离脯氨酸含量的变化趋势一致, 均随光强的减弱呈下降趋势;  $W_1$  和  $W_2$  条件下, POD 活性的变化趋势一致, 表现为自然光照 > 遮光 30% > 遮光 70%,  $W_3$  条件下, POD 活性表现为遮光 30% > 遮光 70% > 自然光照. 自然光照条件下, CAT、POD 活性、MAD 和游离脯氨酸含量表现为  $W_1 > W_3 > W_2$ , SOD 活性随着土壤含水量的增加呈下降趋势. 遮光 30% 条件下, CAT、SOD 活性、MAD 和游离脯氨酸含量表现为  $W_1 > W_3 > W_2$ , POD 活性表现为  $W_3 > W_1 > W_2$ . 遮光 70% 条件下, CAT 和 SOD 活性随着土壤含水量的增加而降低, POD 活性呈现相反趋势, 随着土壤含水量的增加而增加, MAD 和游离脯氨酸含量的变化为  $W_1 > W_3 > W_2$ .



表 4 不同处理对西葫芦叶片 CAT、SOD、POD 活性及丙二醛和脯氨酸含量的影响

Table 4 Effects of different treatments on CAT, SOD, POD activities, and MAD and proline contents of squash leaves

处理 Treatment	CAT 活性 CAT activity ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM} \cdot \text{min}^{-1}$ )	SOD 活性 SOD activity ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM} \cdot \text{h}^{-1}$ )	POD 活性 POD activity ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM}$ )	丙二醛含量 MAD content ( $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM}$ )	游离脯氨酸含量 Proline content ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{DM}$ )
L <sub>1</sub> W <sub>1</sub>	353.5a	206.0a	57.9a	1.88cd	190.8a
L <sub>1</sub> W <sub>2</sub>	262.2b	159.7c	36.9c	1.73d	123.4c
L <sub>1</sub> W <sub>3</sub>	350.6a	155.5cd	42.4b	1.85cd	150.5b
L <sub>2</sub> W <sub>1</sub>	327.2a	179.3b	43.5b	1.63de	183.5a
L <sub>2</sub> W <sub>2</sub>	252.8b	138.5d	33.7cd	1.43f	121.4c
L <sub>2</sub> W <sub>3</sub>	283.1b	142.2d	45.5b	1.58e	149.0b
L <sub>3</sub> W <sub>1</sub>	201.4c	95.5e	29.8d	2.44a	104.3d
L <sub>3</sub> W <sub>2</sub>	170.8d	83.5f	32.7d	1.91c	53.9e
L <sub>3</sub> W <sub>3</sub>	140.4e	77.2f	44.0b	2.15b	61.5e

### 3 讨 论

光照和水分是作物生长发育必不可少的环境因子,适宜的光照和水分条件可促进植株的生长发育,光照过强或过弱及水分的过多或过少都不利于作物的生长发育.本试验中,遮光 70% 条件下,光照强度太弱,光合作用总产物少,呼吸消耗多,营养物质积累过少,使西葫芦植株不能进行正常的生理活动,导致茎、叶营养生长受阻,叶面积和叶绿素含量下降,从而造成植株只开花不结果,没有经济产量形成. Allard 等<sup>[14]</sup> 研究表明,长期处于荫蔽条件下,植株的生长状况会发生明显改变.遮光 30% 处理西葫芦的形态特征都不同程度优于对照和遮光 70% 处理,说明适度降低光照强度有利于西葫芦的生长,使植株具有较高的相对生长率,增强了植株的生理活性,其经济产量和生物量都较其他两种光照条件高.

作物的耗水量由作物蒸腾和土壤蒸发两部分构成,其中土壤蒸发量在耗水量中占有很大比例.王润元等<sup>[15]</sup> 研究表明,土壤的蒸发速度随土壤含水量的增加而增加.本试验中,西葫芦的耗水量随着光照强度的减弱而减小,在同一光照处理中,西葫芦的耗水量随着土壤含水量的增加而增加,这与王润元等的研究结果相一致.

随着光照强度的减弱,西葫芦叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度降低,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度增加,表明西葫芦叶片光合作用主要是由非气孔因素限制所致.这与前人的研究结果相一致.西葫芦叶片叶绿素含量随着光照强度的减弱而下降,与徐惠风等<sup>[16]</sup>、艾希珍等<sup>[17]</sup> 在乌拉苔草、黄瓜上的研究结果相一致,而与崔淑芬等<sup>[18]</sup> 在辣椒上的研究结果相反.这可能与作物种类不同有关.

POD 和 CAT 主要起酶促降解 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的作用,避

免因 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的过量积累对细胞膜产生伤害. SOD 的作用是清除超氧自由基 O<sub>2</sub><sup>-</sup>, 同时产生歧化产物 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 避免超氧自由基对细胞膜的伤害.遮光能够减缓干旱胁迫, 同时也能减缓强光造成的脂质过氧化作用<sup>[19]</sup>. 随着光照强度的减弱,西葫芦叶片保护酶活性下降,特别在遮光 70% 条件下, CAT 和 SOD 活性急剧下降. MAD 作为衡量膜脂过氧化程度的指标,能反映植物对逆境条件的适应性,而脯氨酸对处于逆境的植物具有一定的保护作用,能提高植物的抗性<sup>[20]</sup>. 遮光 30% 条件下, MAD 含量维持在一个较低的水平,而脯氨酸含量则维持在一个较高的水平. 遮光 70% 条件下, MAD 含量维持在一个较高的水平,而脯氨酸含量则维持在一个较低的水平,并与自然光照和遮光 30% 处理间差异显著. 当植物处于逆境时, MAD 和脯氨酸含量之间是否存在相关性,相关程度如何,有待于进一步研究.

综上,遮光 30%、土壤相对含水量在 70% ~ 80% 条件下,植株的生长状况良好,产量高,水分利用效率和水分产出率高.

### 参考文献

- [1] Qin S-H (秦舒浩), Li L-L (李玲玲). Effects of shading on squash seedlings morphological and photosynthetic physiological characteristics. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, 17(4): 653-656 (in Chinese)
- [2] Liu X-Z (刘贤赵), Kang S-Z (康绍忠). Effects of shading on photosynthesis, dry matter partitioning and N, P, K concentrations in leaves of tomato plants at different growth stages. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, 22(12): 2264-2271 (in Chinese)
- [3] Liu X-Z (刘贤赵), Kang S-Z (康绍忠), Li Q-Z (李庆志), et al. Allocation effects of mineral nitrogen in

- tomato plants under shading conditions at different growth stages. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2003, **19** (2): 199–202 (in Chinese)
- [4] Chen G-L (陈贵林), Nie L-C (乜兰春), Li J-W (李建文), *et al.* Effect of low temperature stress on photosynthetic characteristics of grafted squash seedlings. *Acta Agriculturae Shanghai* (上海农业学报), 2000, **16**(1): 42–45 (in Chinese)
- [5] Ai X-Z (艾希珍), Ma X-Z (马兴庄), Yu L-M (于立明), *et al.* Effect of long term suboptimal temperature and short term low temperature under low light density on cucumber growth and its photosynthesis. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15** (11): 2091–2094 (in Chinese)
- [6] Zhang X-F (张宪法), Yu X-C (于贤昌), Zhang Z-X (张振贤). Effect of soil water on the growth and physiological characteristics of grafted and non-grafted cucumber in greenhouse. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13** (11): 1399–1402 (in Chinese)
- [7] Mao W-G (毛炜光), Wu Z (吴震), Huang J (黄俊), *et al.* Effects of moisture and light intensity on ecophysiological characteristics of muskmelon seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(11): 2475–2479 (in Chinese)
- [8] Liu X-Z (刘贤赵), Kang S-Z (康绍忠), Shao M-A (邵明安), *et al.* Effects of soil moisture and shading levels on photosynthetic characteristics of cotton leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(3): 377–381 (in Chinese)
- [9] Xu K (徐坤), Zou Q (邹琦), Zhao Y (赵燕). Effects of soil water stress and shading on growth characteristics of ginger. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14** (10): 1645–1648 (in Chinese)
- [10] Tang D-C (唐道城), Zeng L (曾丽), Ma J-S (马进寿). Effect of temperature and soil moisture on leaf area and fruit setting of squash. *Northern Horticulture* (北方园艺), 2002(1): 40–41 (in Chinese)
- [11] Rylski I, Spigelman M. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae*, 1986, **29**: 31–35
- [12] Liu H-Y (刘慧英), Wang H-L (王洪礼), Lü G-H (吕国华), *et al.* Effect of different light-temperature environment in sunlight greenhouse on diurnal variations of pumpkin photosynthetic rate. *Journal of Shihezi University* (Natural Science) (石河子大学学报·自然科学版), 2001, **5**(3): 201–204 (in Chinese)
- [13] Gao J-F (高俊凤). *Experimental Technique of Plant Physiology*. Xi'an: Xi'an World Publishing Corporation, 2000 (in Chinese)
- [14] Allard G, Nelson CJ, Pallardy SG. Shade effects on growth of tall fescue. I. Leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop Science*, 1991, **31**: 163–167
- [15] Wang R-Y (王润元), Yang X-G (杨兴国), Zhang J-L (张九林), *et al.* A study of soil water and land surface evaporation and climate on Loess Plateau in the eastern Gansu Province. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), 2007, **22**(6): 625–635 (in Chinese)
- [16] Xu H-F (徐惠凤), Liu X-T (刘兴土), Sha L (沙箴), *et al.* Study on the correlation between proline, chlorophyll and stoma block under shadings. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (农业系统科学与综合研究), 2004, **20** (3): 232–234 (in Chinese)
- [17] Ai X-Z (艾希珍), Guo Y-K (郭延奎), Ma X-Z (马兴庄), *et al.* Photosynthetic characteristics and ultrastructure of chloroplast of cucumber under low light intensity in solar greenhouse. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2004, **37** (2): 268–273 (in Chinese)
- [18] Cui S-F (崔淑芬), Zhang Z-H (张中鹤). Differences of shading disposal effect on crop and chlorophylls change in pepper. *Tianjin Agricultural Sciences* (天津农业科学), 2003, **9**(2): 28–30 (in Chinese)
- [19] Boardman NK. Comparative photosynthesis of sun and shade plants: A review. *Plant Physiology*, 1997, **28**: 355–377
- [20] Zhou Y-H (周艳虹), Yu J-Q (喻景权), Qian Q-Q (钱琼秋), *et al.* Effects of chilling and low light on cucumber seedlings growth and their antioxidative enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(6): 921–924 (in Chinese)

---

作者简介 杜社妮,女,1966年生,硕士,助理研究员.主要从事蔬菜栽培与生理生态研究,发表论文40余篇. E-mail: sнду@nwsuaf.edu.cn

责任编辑 张凤丽

---